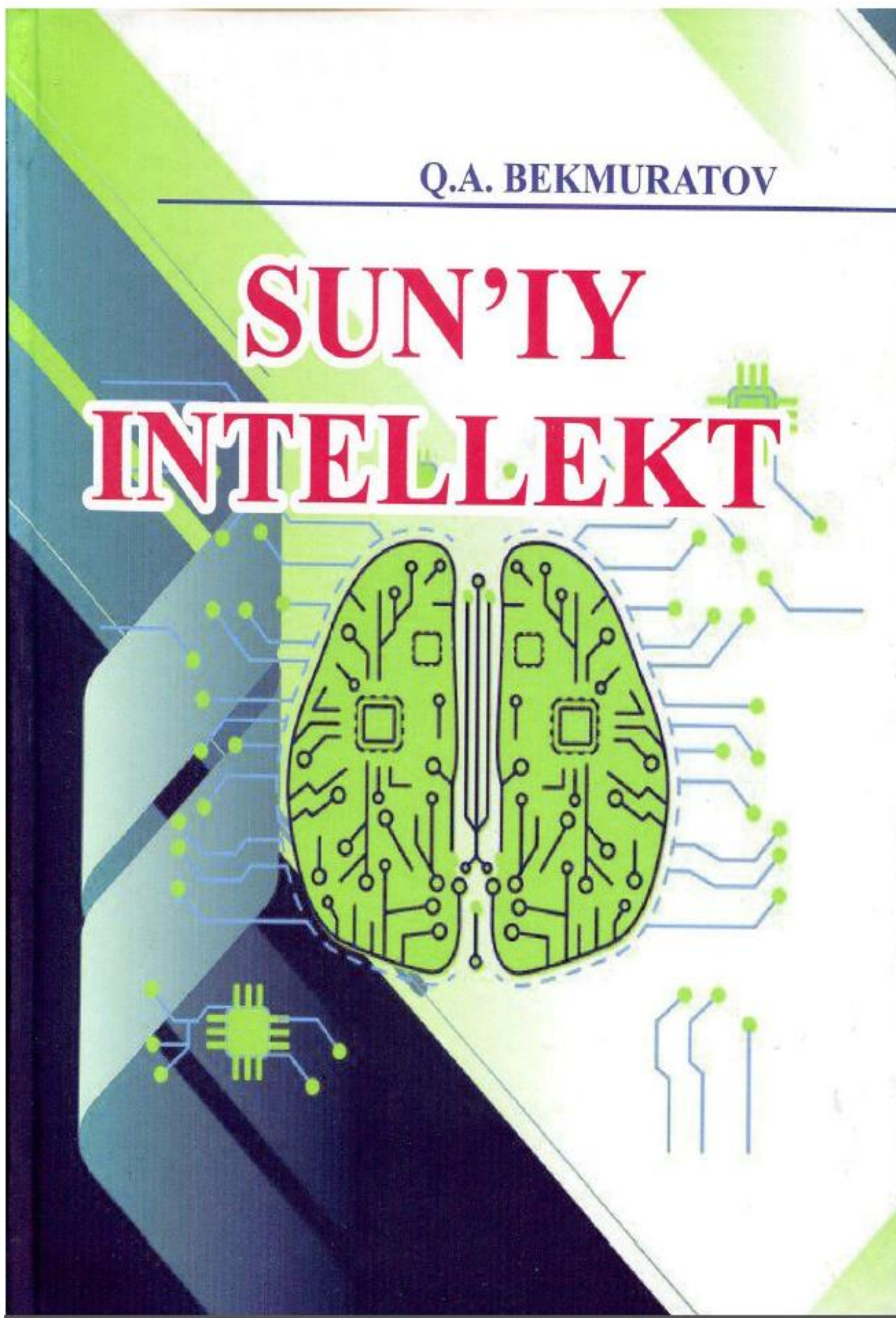


Q.A. BEKMURATOV

SUN'IY INTELLEKT





MUALLIF TO'G'RISIDA MA'LUMOT

Bekmuratov Qosim Allaberdiyevich
Muhammad al-Xorazmiy nomidagi
Toshkent axborot texnologiyalari
universiteti Samarqand filiali "Kompyuter
tizimlari" kafedrası mudiri. Texnika fanlari
nomzodi, dotsent. 180 dan ortiq ilmiy va
o'quv-uslubiy ishlar muallifi. Ilmiy qiziqish
sohalari: timsollarni anglovchi tizimlar,
sun'iy intellekt.

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI AXBOROT
TEXNOLOGIYALARI VA KOMMUNIKATSIYALARINI
RIVOJLANTIRISH VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI
TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

Q.A. BEKMURATOV

SUN'IY INTELLEKT

(Oliy ta'lim muassasasi talabalari uchun o'quv qo'llanma)

TOSHKENT – 2019

Bekmuratov Q.A.: Sun'iy intellekt: oliy ta'lim muassasasi talabalari uchun o'quv qo'llanma. – Samarqand: TATU Samarqand filiali, 2019. - 312 bet.

O'quv qo'llanmada fanning mazmuni, tasnifi, maqsadi, vazifalari, sun'iy intellektning asosiy tushunchalari va rivojlanish bosqichlari, sinflari va arxitekturasi, Tyuring testlari, intellektual agentlar, mulohazalar mantiqi hamda predikatlar mantiqi asosida mantiqiy modellashtirish va xulosalash, noaniqlikni modellashtirish va noravshan mantiqiy xulosalash, qidiruv yordamida muammolarni echish, qaror qabul qilish va o'yinlar nazariyasi, Bayesli yondahuv, Bayesli to'rlar, klasterlash, neyronli to'rlar, rivojlanish istiqbollari va yo'nalishlari qaralgan. Nazariy materiallar amaliy misollar bilan yoritilgan, har bir bobning oxirida mustaqil ishlash uchun nazorat savollari, nazorat testlari, masala va topshiriqlar berilgan.

O'quv qo'llanma oliy ta'lim muassasalarida “5350500-Kompyuter injiniringi” va “5330600-Dasturiy injiniring” bakalavr ta'lim yo'nalishlari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalarga mo'ljallangan. Bundan sun'iy intellekt sohasi bo'yicha shug'ullanuvchi tadqiqotchilar ham foydalanishi mumkin.

Taqrizchilar:

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU qoshidagi axborot kommunikatsiya texnologiyalari ilmiy-innovatsion markazi “Ma'lumotlarni qayta ishlash” laboratoriyasi mudiri, t.f.d., professor Sh.X.Fazilov.

Muxammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Samarqand filiali Kompyuter injiniringi fakulteti dekani, Kompyuter tizimlari kafedrasida dotsenti, t.f.n. Z.Qarshiyev.

TATU Samarqand filiali o'quv-uslubiy kengashining 2018 yil 21-dekabrdagi №4 sonli va ilmiy kengashining 2018 yil 26-dekabrdagi №4 sonli majlis bayonlari bilan oliy ta'lim muassasalarining “5350500-Kompyuter injiniringi” va “5330600-Dasturiy injiniring” bakalavr yo'nalishlari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan.

© TATU Samarqand filiali – 2019

So`z boshi

Axborot texnologiya(AT)lar va tizimlar evolyutsiyasi ular intellektuallashuvining yuqoriroq darajasi bilan aniqlanadi.

Intellektual ATlar – informatikaning kelajagi porloq va tez sur'atlar bilan rivojlanayotgan ilmiy va amaliy sohasi hisoblanadi. U kompyuterlardan foydalanish bilan bog'liq barcha ilmiy va texnologik yo'nalishlarga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi, u jamiyatga ilmdan nima kutilayotgan bo'lsa o'shani bugunning o'zidayoq bermoqda, amaliy ahamiyatga ega bo'lgan natijalar, ularning ko'pchiligi ularni qo'llash mumkin bo'lgan sohalarida tubdan o'zgarishlar qilishga qodir.

Intellektual ATlarning maqsadlari, birinchidan, kompyuterlar yordamida yechiladigan masalalar ko'lamini kengaytirish, ayniqsa sust strukturalangan predmet sohalarida va ikkinchidan, zamonaviy mutaxassisning intellektual axborotni qo'llab-quvvatlash darajasini oshirishdan iborat.

Intellektual ATlarning ilmiy fundamentidagi kalit komponent sun'iy intellekt(SI) hisoblanadi.

SI haqidagi tasavvur va bu sohadagi izlanishlar - «Aqliy mashinalar» ishlab chiqarishga ilmiy yondoshish birinchi bo'lib Stanford universitetining (AQSh) professori Djon Makkarti tashabbusi asosida 1956 yili tashkil topgan ilmiy to'garakda paydo bo'ldi.

Bu to'garak tarkibiga Massachuset (AQSh) texnologiya oliygohi «Elektronika va hisoblash texnikasi» fakultetining faxriy professori Marvin Minskiy, «Umumiy masala yechuvchi» va «Mantiqchi-nazariyotchi» intellektual dasturlar bunyodkorlari – kibernetik Allen Nyuell va Karnegi-Mellen, dorilfununning mashhur psixologi Gerbert Saymon, hisoblash texnikasining ko'zga ko'ringan mutaxassislari Artur Samuel, Oliver Selfridj, Klod Shennon va boshqalar kirar edilar. Aynan shu to'garakda «Sun'iy intellekt» tushunchasi paydo bo'ldi.

Sining ilmiy yo'nalish sifatida yaratilishi va rivojlanishi uchun chet elda N.Viner, U.Makkallox, U.Pitts, D.Makkarti (birinchi bo'lib «Artificial intelligence» terminini kiritdi), F. Rozenblatt, Sazerlend, M. Minskiy, S. Peypert, A. Nyuell, G. Saymon, Dj. Shou, E. Feygenbaum, A. Kolmeroe, N. Xomskiy, T. Vinograd, M. Kuillian, R. Shenk, I. Kilson, P. Uinston, L. Zade, R. Reddi, D. Lenat, Dj. Xinton, Dj. Anderson, J.-L. Lorer va boshqalar o'z xissasini qo'shgan. Sobiq ittifoqda, keyinchalik esa

Rossiyada SI shakllanishi va rivojlanishini A.A. Lyapunov, A.I. Berg, G.S. Pospelov, M.M. Bongard, A.V. Gavrilov, V.F.Xoroshevskiy, A.P. Yershov, L.T. Kuzin, A.S. Narinyani, A.I. Polovinkin, V.V. Chavchanidze, V.K. Finn, E.V. Popov, E.X. Tiugu, O.I. Larichev, A.I. Galushkin, A.V.Chechkin, D.A.Pospelov va boshqalarning nomlari bilan bog`lashadi. Shuningdek, O`zbekistonda M.M.Kamilov, T.F.Bekmuratov, SH.X.Fazilov, R.Xamdamov, K.Ignatyev, A.X. Nishanov va boshqa olimlar SI sohasida ilmiy natijalarga erishgan va hozirgi vaqtda ham ilmiy-tadqiqotlarni shogirdlari bilan birga davom ettirmoqda.

Zamonaviy ATlarning asosiy yo`nalishlardan biri insonga talluqli bo`lgan vazifalarni bajaruvchi sun`iy intellekt tizimlarni yaratishdir.

O`quv qo`llanmada qo`yilgan asosiy maqsad – SIning asosiy tushunchalari va rivojlanish bosqichlari, SIning tasnifi, sinflari va arxitekturasi, SIda bilimlarni tasvirlashning mantiqiy modelidan foydalanib mulohazalar mantiqi va predikatlar mantiqi asosida mantiqiy xulosalashlarni hosil qilish, noaniqlikni modellashtirish va noravshan mantiqiy xulosa chiqarish, qidiruv yordamida SI muammolarni echish, tasodifiy jarayonlarda qaror qabul qilish va o`yinlar nazariyasi, mashinali o`qitish va ma`lumotlarning intellektual tahlilida Bayesli yondahuv va klasterlash masalasi, neyronli to`r(NT)lar, SIni rivojlanish istiqbollari va yo`nalishlari bilan tanishish, shuningdek, sun`iy intellekt tizim(SIT)larning o`ziga xos xususiyatlari va imkoniyatlarini o`rganish, SITlarni inson faoliyatining turli sohalarida qo`llanilish asoslarini o`rganish, turli SITlarida kechayotgan axborot jarayonlarining roli va xarakteri to`g`risida umumiy tasavvur hosil qilishdan iboratdir.

O`quv qo`llanmaning asosi sifatida Toshkent axborot texnologiyalar universiteti va uning Samarqand filialida muallif tomonidan o`quv jarayonida talabalarga o`qilayotgan materiallar olingan. Uning strukturasi va mazmunini to`ldirishda SIning rivojlanishiga o`z hissasini qo`shgan yuqorida keltirilgan olimlar va mutaxassislar tomonidan yaratilgan monografiya, darslik, o`quv qo`llanma va ilmiy maqolalarda keltirilgan ma`lumotlardan foydalanilgan.

O`quv qo`llanmaga O`zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi fan va texnologiyalarni rivojlantirishni muvofiqlashtirish qo`mitasining 2012-2014 yillar uchun e`lon qilingan A5-ΦK-0-18644-A5-049: «Informatika va axborot texnologiyalari hamda kasb ta`limi (Informatika va axborot texnologiyalari) ta`lim yo`nalishlaridagi Intellektuai tizimlar fanidan o`quv-uslubiy majmualar yaratish» amaliy grantida olingan yakuniy natijalar hamda 2015-2017 yillar uchun e`lon

qilingan A5-038 – «Qo'lyozma matnlarni (harf, raqam, yordamchi belgilar, so'zlar) va shaxs imzolarini anglovchi, ularning qaysi shaxsga tegishli ekanligini aniqlovchi algoritmlar va dasturiy vositalarni yaratish» amaliy grantida olingan dastlabki natijalar ham kiritilgan.

“Sun'iy intellekt” fani bo'yicha dasturni amalga oshirish o'quv rejasida rejalashtirilgan “Diskret matematika”, “Informatika”, “Dasturlash asoslari”, “Dasturlash texnologiyasi”, “Ma'lumotlar banki va bazalari”, “Timsollarni anglash nazariyasi”, “Ma'lumotlarning intellektual tahlili” fanlari bilan uzviy bog'liq va shu fanlardan olingan bilimlarga asoslanadi.

O'quvchilarga tavsiya etilayotgan ushbu kitob “Sun'iy intellekt” ixtisoslik fani bo'yicha namunaviy va ishchi dasturlarga javob beradi.

Kitob universitet va institutlarda “5350500-Kompyuter injiniringi” va “5330600-Dasturiy injiniring” bakalavr yo'nalishlari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalarga mo'ljallangan. Bu o'quv qo'llanmadan SI sohasi bo'yicha shug'ullanuvchi tadqiqotchilar va mutaxassislar ham foydalanishi mumkin.

O'quv qo'llanma kirish, sakkizta bob, xotima, qisqartma so'zlar, o'zbekcha hamda inglizcha atamalardan iborat.

Kirish qismida o'quv qo'llanmadagi masalalar, SIning asosiy masalasi, SIning bazaviy funksiyalari, SI sohasidagi tadqiqotlarning bazaviy yo'nalishlari taqdim etilgan.

Birinchi bobda SI haqida umumiy ma'lumotlar keltirilgan bo'lib, fanning mazmunu, maqsadi va vazifalari, asosiy tushunchalari va ta'riflari, rivojlanish bosqichlari, SI ni modellashtirishning asosiy yo'nalishlari va sinflari, Tyuring testlari, intellektual agentlar, asosiy tarkibiy qismlari va arxitekturasi, asosiy xususiyatlari hamda SI masalalarini yechish va qo'llanilish sohalari tavsiflangan.

Ikkinchi bob SI da bilimlarni tasvirlashning mantiqiy modeliga bag'ishlangan bo'lib, unda mulohazalar mantiqi va predikatlar mantiqining asosiy tushunchalari va ta'riflari, mulohazalar mantiqida isbotlashning sintaktik va semantik usullari, birinchi tartibli predikatlar, SI da deduktiv, induktiv va abduktiv mantiqiy xulosalashlar keltirilgan.

Uchinchi bob mantiq cheklovlari va noaniqlikni modellashtirishga bag'ishlangan bo'lib, unda ma'lumot va bilimlarning noaniqligi, xususiyatlari, noravshan bilimlar va ular ustida amallar, noravshan munosabatlar, noravshan mantiqiy xulosa chiqarish qoidalari va lingvistik o'zgaruvchilar tavsiflangan.

To'rtinchi bobda SI masalalarini qidiruv yordamida muammolarni echish keltirilgan bo'lib, unda holatlar fazosida yechimni qidiruvning chuqurligi, kengligi va evristikli qidiruv strategiyalari bayon etilgan.

Beshinchi bob qaror qabul qilishning markov jarayonlari va o'yinlar nazariyasiga bag'ishlangan bo'lib, unda Markov modeli va Markov tasodifiy jarayonlari, Monte-Karlo usuli yordamida statistik, ommaviy xizmat ko'rsatish va imitatsion modellash, o'yinlar nazariyasining asosiy tushunchalari, matritsaviy o'yin, alfa-beta parchalanish, noaniqlik sharoitida qaror qabul qilish tavsiflangan.

Oltinchi bobda mashinali o'qitish va ma'lumotlarning intellektual tahlili qaralgan bo'lib, unda Bayesli yondashuv va Bayes to'rlari, Data Mining – ma'lumotlarning intellektual tahlili, obyektlarni klasterlash usullari va algoritmlari, klasterlashning amaliy paketlari tavsiflangan.

Ettinchi bob NTlarning asosiy tushunchalari va elementlari, arxitekturasi, obyektlarni anglab olishga o'rgatishning umumiy sxemasi va uslubiy jihatlari, ular yordamida yechiladigan asosiy masalalar, NTlarni tavsifi va ularning turlari, yutuqlari va kamchiliklari bayon etilgan.

Sakkizinchi bob SIni rivojlantirish istiqbollari va yo'nalishlariga bag'ishlangan.

O'quv qo'llanmada asosiy g'oya yanada tushunarli bo'lishi uchun har bir bobning bo'limlarida misollar keltirilgan. Shuningdek, har bir bobning oxirida nazorat savollari, mustaqil ishlash va amaliy ko'nikmani mustaxkamlash uchun nazorat testlari, masala va topshiriqlar berilgan.

O'quv qo'llanma kamchiliklardan holi bo'lmaganligi tufayli, muallif o'quv qo'llanma haqidagi tanqidiy fikr va mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qiladi va o'z tashakkurini izhor etadi.

O'quv qo'llanmaning qo'lyozmasi bilan mufassal tanishib, uning sifatini yaxshilash yo'lida foydali ko'rsatma va maslahatlar bergan taqrizchilar texnika fanlari doktori, professor Sh.X.Fazilov va texnika fanlari nomzodi Z.A.Qarshiyevlarga muallif o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Muallif

Kirish

Hozirgi vaqtda dunyo mamlakatlari o'rtasidagi ustunlik mamlakatlarning maydoni va tabiiy resurslari bilan aniqlanmaydi. Endi barcha sohalardagi ustunlikni ta'lim saviyasi va jamiyatda to'plangan bilimlar hajmi belgilaydi. Kelajakda qaysi mamlakat yangi bilimlarni yaratishda va o'zlashtirishda oldingi o'ringa chiqsa, o'sha mamlakat gullab-yashnaydi. Bunda asosiy ro'lni yangi ATlari, unda esa-SIning usullari va vositalari egallaydi. SIning asosiy texnologiyalari haqida tasavvur hosil qilish uchun SIning muhim konsepsiyalari qanday tarzda dasturiy yechimlarga tadbqiq etilganligini o'rganish zarur. Dasturlar turli jarayonlar tavsifini aniq qurishga imkoniyat yaratadi. Ularning strukturasi yechiladigan masalalar strukturasi o'zida aks ettiradi.

Sun'iy intellekt deganda – maqsadli yo'nalishdagi harakatni o'zida namoyon qilish qobiliyatiga ega ixtiyoriy biologik, sun'iy yoki formal tizimlar tushuniladi. Sun'iy yoki formal tizimlar muloqot, bilimlarni yig'ish, idrok etish, o'rgatish, anglab olish, moslashish va h.k. larni o'z ichiga oladi.

SI – hisoblash mashina(HM)larining insonlarga aqlli bo'lib ko'rinadigan tomonlarini bajarishga imkon beradigan konsepsiyalar haqidagi fan. Inson aqli o'zi nima? U fikrlash qobiliyatiga egami? U bilimlarni o'zlashtirish va qo'llash qobiliyatiga egami? U g'oyalarni almashish va ular bilan ishlash qobiliyatiga egami? Shubhasiz, bu barcha qobiliyatlar aqlning qismini tashkil etadi. Lekin bu so'zga oddiy ma'noda ta'rif berib bo'lmaydi. Chunki aql – bu ma'lumotlarni qayta ishlash va namoyish etish sohasidagi bilimlarning qorishmasidir [1, 6].

SIning asosiy masalasi HMLarini foydaliroq qilish va aql asosida yotadigan prinsiplarni tushunishdan iborat. Modomiki asosiy masalalardan biri HMLarini foydaliroq qilish ekan, hisoblash texnikasi sohasidagi olim va injenerlar SI qiyin masalalarni hal qilishda ularga qanday yordam berishi mumkinligini bilishlari kerak.

SIT sohasidagi tadqiqotlarning *boshlanishini* (50-yillar oxiri) Nyuell, Saymon va Shoularning turli xil masalalarni yechish jarayonlarini tadqiq qilish ishlari bilan bog'lashadi. Ular ishining natijasi mulohazalar hisobidagi teoremlarni isbotlashga mo'ljallangan «Mantiqchi-nazariyotchi» va «Umumiy masala yechuvchi» dasturlari bo'ldi. Bu ishlar

SIT sohasidagi tadqiqotlarning birinchi bosqichini boshlab berdi. Shuningdek, ushbu bosqich davomida turli xil o`yinlar, boshqotirmalar va matematik masalalar tadqiqot maydoni hisoblangan.

O`zlarining dasturlarini tavsiflashda Nyuell va Sayman dalil sifatida shuni ta`kidlashdiki, ularning dasturlari inson fikrlashini (tafakkurini) modellashtirar ekan. 70-yillar boshida ular bunga o`xshash ko`plab ma`lumotlarni chop etishdi va fikrlashni (tafakkurni) modellashtiradigan dastur tuzishning umumiy usulini taklif etishdi. Nyuell va Saymanning ishlari ko`pchilikni jalb qilgan bir paytda Massachusetts texnologiya instituti, Stenford universiteti va Stenford tadqiqotlar institutida tadqiqotchilar guruhi tomonidan SIT sohasidagi tadqiqotlarda masalani yechish yo`li matematik va belgilar mantiqi asosida rivojlandi.

SIT sohasini tadqiq etishda Robinsonning rezolyutsiyalar usuli katta ta`sir etdi. Bu usul predikatlar mantiqidagi teoremlarni isbotlashga asoslangan va isbotlashning mukammal usuli hisoblangan. 60-yillar oxiriga kelib turli xil o`yinlar, boshqotirmalar va matematik masalalar kabi tadqiqotlarni sun`iy muhitlarda emas, balki real muammoli muhitlarda qo`llashga harakatlar qilindi. SITning real muhitlarda ishlashini tadqiq qilish integral robotlarni yaratish masalasiga olib keldi. Bunday ishlarning o`tkazilishini SIT ustidagi tadqiqotlarning *ikkinchi bosqichi* deyish mumkin.

70-yillar o`rtalarida Stenford universiteti, Stenford tadqiqotlar instituti va boshqa bir qancha joylarda laboratoriya sharoitida ishlaydigan robotlar yaratildi. Bunday tajribalarning o`tkazilishi bir qancha muammolarni hal qilishni talab qildi. Bunday muammolarga bilimlarni namoyish etish, ko`rish orqali idrok etish, robotlar bilan tabiiy tilda muloqot qilish kabilar kiradi. Bu muammolar tadqiqotchilar oldiga yanada aniqroq ifodalangan vazifalarni qo`ydi. Bu davr SITni tadqiq etishning *uchinchi bosqichi* edi. Uning xarakterli tomoni tadqiqotchilardan oldiga qo`yilgan masalani real muhitda o`zi yechadigan muqobil ishlaydigan tizimni emas, balki inson intellektini va EHMning imkoniyatlarini birlashtiradigan inson-mashina tizimlarini yaratish masalasidan iborat edi.

Hozirgi vaqtda raqobat kurashidagi ustunlik mamlakatning o`lchovlari bilan ham, uning tabiiy resurslari bilan ham aniqlanmaydi. Endilikda buni jamiyat to`plagan ta`lim darajasi va bilimlar hajmi hal qiladi. Kelajakda boshqa mamlakatlarga qaraganda yangi bilimlarni yarata olgan va egallagan mamlakatlargina gullab yashnaydi. Bunda asosiy ro`lni yangi ATlar o`ynasa, ularda esa SI usullari va vositalari o`ynaydi.

SIT deganda fe'l – atvori maqsadga yo'naltirilgan qobiliyatni o'zida aks ettiruvchi ixtiyoriy biologik, sun'iy yoki formal tizimlar tushuniladi[6].

Oxirgisi o'zida aloqa, bilimlarni jamlash, qarorlar qabul qilish, o'rganish, moslashish va boshqa xususiyatlarni o'zida namoyon etadi. Hozirgi vaqtda kompyuterlarni intellektuallashtirishning turg'un yo'nalishi va uning dasturiy ta'minoti (DT) mavjud. Kelajakdagi kompyuterlarning asosiy funksiyalari – ko'proq hisoblashga oid bo'lmagan xarakterdagi masalalarni, ya'ni mantiqiy xulosa chiqarish, BBni boshqarish, intellektual interfeys ta'minoti va boshqa masalalarni yechishga qaratilgan. Kompyuterlarni intellektuallashtirish maxsus apparaturalarni (masalan, neyrokompyuterlar) va DTlarni (Ekspert tizim (ET)lar, bilimlar bazasi (BB), masala yechuvchilar va h.k.) yaratish hisobiga amalga oshiriladi,

“Sun'iy intellekt tizim” tushunchasining ishchi ta'rifi [1]da keltirilgan. Tizim intellektual hisoblanadi, agar unda uchta bazaviy funksiyalar amalga oshirilgan bo'lsa:

1. *Bilimlarni taqdim etish va qayta ishlash funksiyasi.* SIT o'zida tevarak atrof to'g'risidagi bilimlarni to'plashga qodir bo'lishi, ularni pragmatika va ziddiyatsizliklar nuqtai nazaridan sinflashi va baholashi, yangi bilimlarni qabul qilish jarayonlarini aniqlaydi, ma'lumotlar bazasi(MB)da saqlanayotgan bilimlar bilan yangi bilimlar o'rtasidagi bog'lanishlarni aniqlashi lozim.

2. *Mulohaza funksiyasi.* SIT mantiqiy xulosa yordamida yangi bilimlarni vujudga keltirishi va to'plangan bilimlarda qonuniylik mexanizmini namoyon qilishi, alohida (shaxsiy) bilimlar asosida umumlashgan bilimlarni olishi va o'z faoliyatini mantiqiy rejalashtirishi kerak.

3. *Aloqa funksiyasi.* SIT inson bilan unga yaqin bo'lgan tilda aloqa qilishi va insonning tevarak-atrofni qabul qilishiga (avvalo, ko'rish va ovoqli) analogik bo'lgan kanallardan ma'lumot qabul qilish, “o'zi uchun” yoki biror kishining iltimosiga ko'ra shaxsiy faoliyatni tushuntirishni shakllantirishni bilishi (ya'ni, “Buni qanday amalga oshirdim?” kabi savollarga javob berishi), insonga uning xotirasida saqlanayotgan bilimlar hamda mulohaza qilishning mantiqiy vositasi hisobiga yordamlashishi kiradi.

SITning asosiy texnologiyalari haqidagi tasavvurni shakllantirish uchun, uning dasturiy yechimlarda muhim konsepsiyalarining mujassamlanishini o'rganishimiz lozim.

SIT sohasida tadqiqot strukturasini aniqlashdagi urinishlar takror-takror amalga oshirilgan. Bu savol borasidagi barchasidan ko'ra mashhur

nuqtai nazarlar [1]da ifoda etilgan. Unga muvofiq SIT sohasidagi tadqiqotlar ikkita bazaviy yo`nalishlarni o`z ichiga oladi:

- *Bionik*, inson ongi uchun xarakterli va inson tomonidan yechiladigan masalalar asosida yotuvchi strukturalar va jarayonlarni sun'iy qaytadan tiklash muammolari bilan shug`ullanadi;

- *Dasturli-pragmatik*, inson intellektini (qidirish, sinflash, o`qitish, qaror qabul qilish, timsollarni anglash, mulohaza va boshqalar) alohida huquq deb hisoblaydigan masalalarni yechish uchun dasturlar tuzish bilan shug`ullanadi.

Birinchi yo`nalish bo`yicha sun'iy NTlar modellarini qo`llaydigan DT yaratish muammolari qarab chiqiladi.

Bionik yo`nalishning maqsadlari va masalalari qiyinligi tufayli oxirgi vaqtgacha SITda dasturli-pragmatik yo`nalish ustunlik qiluvchi hisoblanadi, garchi kelajakda baribir bionik yo`nalish ehtimol aniqlovchi bo`ladi.

Dasturli-pragmatik yo`nalishda uchta yondashuv ajratiladi:

- *lokal* yoki *maqsadli* – insonning intellektual faoliyatiga xos, inson erishishi mumkin bo`lgan natijalardan kam bo`lmaydigan har bir masala uchun (masalan, shaxmat o`yini uchun o`yin dasturi) yaratish;

- *tizimli* yoki *bilimlarga asoslangan* – hozirgi vaqtda bu yondashuv ustunlik qilmoqda, bilimlar asosida intellektual masalalarni yechish uchun dastur tuzishda avtomatlashtirish vositalarini yaratish;

- dasturlashtirishning metaprotseduralarini qo`llovchi intellektual dasturlar tuzish uchun tabiiy tilda masalalarni tavsiflash.

SITlari teoremlarni isbotlash, komp'yuter o`yinlari, timsollarni anglash, qaror qabul qilish, adaptiv dasturlash, mashinada musiqalarini bastalash, tabiiy tilda ma'lumotlarni qayta ishlash, o`qituvchi to`rlar va boshqa yo`nalishlarda keng qo`llanilmoqda.

80-yillarning boshlarida SI sohasida «Ekspert tizimlar» mustaqil yo`nalish sifatida shakllandi. Sining amaliy tizimlarini yaratilishida ETlar birinchi qadam bo`lib hisoblanadi [6, 24, 20].

ETlar SI tizimlarni bir qismi bo`lib, u nazariy jihatdan bu sohani rivojlantirishda muhim ro`l o`ynadi. ETlar SI g`oyalari va usullariga asos bo`lib, unda bilimlar, ma'lumotlar yig`indisi va ular yordamidagi boshqaruv tizimlari hamda mantiqiy qidiruv, assotsiativ, hisoblash amallari va bilimlar manbai aniq bir ko`rinishda ishlatiladi.

Hozirgi vaqtda ETlar *tibbiyotda* - ichak, sil va gipertonik kasalliklarning turli shakllariga tashxis qo`yishda; *harbiy sohada* – samolyot yerga qo`nishida uchuvchiga yordam berishda, analitikka

tutuvchi signalni jo`natgan radar turini aniqlashda, xaritada o`zgarish kiritish bo`yicha kartografik ishlarni amalga oshirishda, raqiblarning buyruq beruvchi markazlari, boshqaruvi va aloqalarining razvedka qilinganida olingan natijalarni qayta ishlashga yordamlashishda, raqibning radioalmashish razvedkasi sohasida vaziyatni baholashni amalga oshirishda va razvedkadagi analitiklarga keyingi qurolli to`qnashuv qachon va qayerda bo`lishini bashorat qilishda; *informatikada* – MBni ishlab chiquvchi va MBning konseptual sxemasini aniqlovchi mutaxassislariga yordamlashishda; *kompyuter tizimlarida* - lokal tizimlarni loyihalashda va katta EHMdagi katta razryadli MVT operatsion tizimlarni boshqarishda; *elektronikada* – telefon tarmog`idagi nosozliklarni aniqlashda, uni sozlash va tiklash chora-tadbirlari bo`yicha tavsiyalar berishda; *energetikada* – energetik tizimlarda ishdan chiqish holatlarini aniqlash va tuzatishda; *geologiyada* – foydali qazilmalarni topishda va holatini aniqlashda; *qishloq xo`jaligida* – mevali bog`larga qarashga maslahat berishda; *matematikada* – teoremlarni isbotlashda va algebraik ifodalarni soddalashtirishda; *kimyoda* – murakkab organik molekulalar strukturalarini anglashda; *biologiyada* – DNK strukturasini aniqlashda keng va samarali tadbiq etilmoqda.

Soʻz boshi

Axborot texnologiya(AT)lar va tizimlar evolyutsiyasi ular intellektuallashuvining yuqoriroq darajasi bilan aniqlanadi.

Intellektual ATlar – informatikaning kelajagi porloq va tez surʼatlar bilan rivojlanayotgan ilmiy va amaliy sohasi hisoblanadi. U kompyuterlardan foydalanish bilan bogʻliq barcha ilmiy va texnologik yoʻnalishlarga sezilarli darajada taʼsir koʻrsatadi, u jamiyatga ilmdan nima kutilayotgan boʻlsa oʻshani bugunning oʻzidayoq bermoqda, amaliy ahamiyatga ega boʻlgan natijalar, ularning koʻpchiligi ularni qoʻllash mumkin boʻlgan sohalarida tubdan oʻzgarishlar qilishga qodir.

Intellektual ATlarning maqsadlari, birinchidan, kompyuterlar yordamida yechiladigan masalalar koʻlamini kengaytirish, ayniqsa sust strukturalangan predmet sohalarida va ikkinchidan, zamonaviy mutaxassisning intellektual axborotni qoʻllab-quvvatlash darajasini oshirishdan iborat.

Intellektual ATlarning ilmiy fundamentidagi kalit komponent sunʼiy intellekt(SI) hisoblanadi.

SI haqidagi tasavvur va bu sohadagi izlanishlar - «Aqliy mashinalar» ishlab chiqarishga ilmiy yondoshish birinchi boʻlib Stanford universitetining (AQSh) professori Djon Makkarti tashabbusi asosida 1956 yili tashkil topgan ilmiy toʻgarakda paydo boʻldi.

Bu toʻgarak tarkibiga Massachuset (AQSh) texnologiya oliygohi «Elektronika va hisoblash texnikasi» fakultetining faxriy professori Marvin Minskiy, «Umumiy masala yechuvchi» va «Mantiqchi-nazariyotchi» intellektual dasturlar bunyodkorlari – kibernetik Allen Nyuell va Karnegi-Mellen, dorilfununning mashhur psixologi Gerbert Saymon, hisoblash texnikasining koʻzga koʻringan mutaxassislari Artur Samuel, Oliver Selfridj, Klod Shennon va boshqalar kirar edilar. Aynan shu toʻgarakda «Sunʼiy intellekt» tushunchasi paydo boʻldi.

Sining ilmiy yoʻnalish sifatida yaratilishi va rivojlanishi uchun chet elda N.Viner, U.Makkallox, U.Pitts, D.Makkarti (birinchi boʻlib «Artificial intelligence» terminini kiritdi), F. Rozenblatt, Sazerlend, M. Minskiy, S. Peypert, A. Nyuell, G. Saymon, Dj. Shou, E. Feygenbaum, A. Kolmeroe, N. Xomskiy, T. Vinograd, M. Kuillian, R. Shenk, I. Kilson, P. Uinston, L. Zade, R. Reddi, D. Lenat, Dj. Xinton, Dj. Anderson, J.-L. Lorer va boshqalar oʻz xissasini qoʻshgan. Sobiq ittifoqda, keyinchalik esa

Rossiyada SI shakllanishi va rivojlanishini A.A. Lyapunov, A.I. Berg, G.S. Pospelov, M.M. Bongard, A.V. Gavrilov, V.F.Xoroshevskiy, A.P. Yershov, L.T. Kuzin, A.S. Narinyani, A.I. Polovinkin, V.V. Chavchanidze, V.K. Finn, E.V. Popov, E.X. Tiugu, O.I. Larichev, A.I. Galushkin, A.V.Chechkin, D.A.Pospelov va boshqalarning nomlari bilan bog'lashadi. Shuningdek, O'zbekistonda M.M.Kamilov, T.F.Bekmuratov, SH.X.Fazilov, R.Xamdamov, K.Ignatyev, A.X. Nishanov va boshqa olimlar SI sohasida ilmiy natijalarga erishgan va hozirgi vaqtda ham ilmiy-tadqiqotlarni shogirdlari bilan birga davom ettirmoqda.

Zamonaviy ATlarning asosiy yo'nalishlardan biri insonga talluqli bo'lgan vazifalarni bajaruvchi sun'iy intellekt tizimlarni yaratishdir.

O'quv qo'llanmada qo'yilgan asosiy maqsad – SIning asosiy tushunchalari va rivojlanish bosqichlari, SIning tasnifi, sinflari va arxitekturasi, SIda bilimlarni tasvirlashning mantiqiy modelidan foydalanib mulohazalar mantiqi va predikatlar mantiqi asosida mantiqiy xulosalashlarni hosil qilish, noaniqlikni modellashtirish va noravshan mantiqiy xulosa chiqarish, qidiruv yordamida SI muammolarni echish, tasodifiy jarayonlarda qaror qabul qilish va o'yinlar nazariyasi, mashinali o'qitish va ma'lumotlarning intellektual tahlilida Bayesli yondahuv va klasterlash masalasi, neyronli to'r(NT)lar, SIni rivojlanish istiqbollari va yo'nalishlari bilan tanishish, shuningdek, sun'iy intellekt tizim(SIT)larning o'ziga xos xususiyatlari va imkoniyatlarini o'rganish, SITlarni inson faoliyatining turli sohalarida qo'llanilish asoslarini o'rganish, turli SITlarida kechayotgan axborot jarayonlarining roli va xarakteri to'g'risida umumiy tasavvur hosil qilishdan iboratdir.

O'quv qo'llanmaning asosi sifatida Toshkent axborot texnologiyalar universiteti va uning Samarqand filialida muallif tomonidan o'quv jarayonida talabalarga o'qilayotgan materiallar olingan. Uning strukturasi va mazmunini to'ldirishda SIning rivojlanishiga o'z hissasini qo'shgan yuqorida keltirilgan olimlar va mutaxassislar tomonidan yaratilgan monografiya, darslik, o'quv qo'llanma va ilmiy maqolalarda keltirilgan ma'lumotlardan foydalanilgan.

O'quv qo'llanmaga O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi fan va texnologiyalarni rivojlantirishni muvofiqlashtirish qo'mitasining 2012-2014 yillar uchun e'lon qilingan A5-ΦK-0-18644-A5-049: «Informatika va axborot texnologiyalari hamda kasb ta'limi (Informatika va axborot texnologiyalari) ta'lim yo'nalishlaridagi Intellektuai tizimlar fanidan o'quv-uslubiy majmualar yaratish» amaliy grantida olingan yakuniy natijalar hamda 2015-2017 yillar uchun e'lon

qilingan A5-038 – «Qo'lyozma matnlarni (harf, raqam, yordamchi belgilar, so'zlar) va shaxs imzolarini anglovchi, ularning qaysi shaxsga tegishli ekanligini aniqlovchi algoritmlar va dasturiy vositalarni yaratish» amaliy grantida olingan dastlabki natijalar ham kiritilgan.

“Sun'iy intellekt” fani bo'yicha dasturni amalga oshirish o'quv rejasida rejalashtirilgan “Diskret matematika”, “Informatika”, “Dasturlash asoslari”, “Dasturlash texnologiyasi”, “Ma'lumotlar banki va bazalari”, “Timsollarni anglash nazariyasi”, “Ma'lumotlarning intellektual tahlili” fanlari bilan uzviy bog'liq va shu fanlardan olingan bilimlarga asoslanadi.

O'quvchilarga tavsiya etilayotgan ushbu kitob “Sun'iy intellekt” ixtisoslik fani bo'yicha namunaviy va ishchi dasturlarga javob beradi.

Kitob universitet va institutlarda “5350500-Kompyuter injiniringi” va “5330600-Dasturiy injiniring” bakalavr yo'nalishlari bo'yicha ta'lim olayotgan talabalarga mo'ljallangan. Bu o'quv qo'llanmadan SI sohasi bo'yicha shug'ullanuvchi tadqiqotchilar va mutaxassislar ham foydalanishi mumkin.

O'quv qo'llanma kirish, sakkizta bob, xotima, qisqartma so'zlar, o'zbekcha hamda inglizcha atamalardan iborat.

Kirish qismida o'quv qo'llanmadagi masalalar, SIning asosiy masalasi, SIning bazaviy funksiyalari, SI sohasidagi tadqiqotlarning bazaviy yo'nalishlari taqdim etilgan.

Birinchi bobda SI haqida umumiy ma'lumotlar keltirilgan bo'lib, fanning mazmunu, maqsadi va vazifalari, asosiy tushunchalari va ta'riflari, rivojlanish bosqichlari, SI ni modellashtirishning asosiy yo'nalishlari va sinflari, Tyuring testlari, intellektual agentlar, asosiy tarkibiy qismlari va arxitekturasi, asosiy xususiyatlari hamda SI masalalarini yechish va qo'llanilish sohalari tavsiflangan.

Ikkinchi bob SI da bilimlarni tasvirlashning mantiqiy modeliga bag'ishlangan bo'lib, unda mulohazalar mantiqi va predikatlar mantiqining asosiy tushunchalari va ta'riflari, mulohazalar mantiqida isbotlashning sintaktik va semantik usullari, birinchi tartibli predikatlar, SI da deduktiv, induktiv va abduktiv mantiqiy xulosalashlar keltirilgan.

Uchinchi bob mantiq cheklovlari va noaniqlikni modellashtirishga bag'ishlangan bo'lib, unda ma'lumot va bilimlarning noaniqligi, xususiyatlari, noravshan bilimlar va ular ustida amallar, noravshan munosabatlar, noravshan mantiqiy xulosa chiqarish qoidalari va lingvistik o'zgaruvchilar tavsiflangan.

To'rtinchi bobda SI masalalarini qidiruv yordamida muammolarni echish keltirilgan bo'lib, unda holatlar fazosida yechimni qidiruvning chuqurligi, kengligi va evristikli qidiruv strategiyalari bayon etilgan.

Beshinchi bob qaror qabul qilishning markov jarayonlari va o'yinlar nazariyasiga bag'ishlangan bo'lib, unda Markov modeli va Markov tasodifiy jarayonlari, Monte-Karlo usuli yordamida statistik, ommaviy xizmat ko'rsatish va imitatsion modellash, o'yinlar nazariyasining asosiy tushunchalari, matritsaviy o'yin, alfa-betta parchalanish, noaniqlik sharoitida qaror qabul qilish tavsiflangan.

Oltinchi bobda mashinali o'qitish va ma'lumotlarning intellektual tahlili qaralgan bo'lib, unda Bayesli yondashuv va Bayes to'rlari, Data Mining – ma'lumotlarning intellektual tahlili, obyektlarni klasterlash usullari va algoritmlari, klasterlashning amaliy paketlari tavsiflangan.

Ettinchi bob NTlarning asosiy tushunchalari va elementlari, arxitekturasi, obyektlarni anglab olishga o'rgatishning umumiy sxemasi va uslubiy jihatlari, ular yordamida yechiladigan asosiy masalalar, NTlarni tavsifi va ularning turlari, yutuqlari va kamchiliklari bayon etilgan.

Sakkizinchi bob SIni rivojlantirish istiqbollari va yo'nalishlariga bag'ishlangan.

O'quv qo'llanmada asosiy g'oya yanada tushunarli bo'lishi uchun har bir bobning bo'limlarida misollar keltirilgan. Shuningdek, har bir bobning oxirida nazorat savollari, mustaqil ishlash va amaliy ko'nikmani mustaxkamlash uchun nazorat testlari, masala va topshiriqlar berilgan.

O'quv qo'llanma kamchiliklardan holi bo'lmaganligi tufayli, muallif o'quv qo'llanma haqidagi tanqidiy fikr va mulohazalarni minnatdorchilik bilan qabul qiladi va o'z tashakkurini izhor etadi.

O'quv qo'llanmaning qo'lyozmasi bilan mufassal tanishib, uning sifatini yaxshilash yo'lida foydali ko'rsatma va maslahatlar bergan taqrizchilar texnika fanlari doktori, professor Sh.X.Fazilov va texnika fanlari nomzodi Z.A.Qarshiyevlarga muallif o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Muallif

Kirish

Hozirgi vaqtda dunyo mamlakatlari o'rtasidagi ustunlik mamlakatlarning maydoni va tabiiy resurslari bilan aniqlanmaydi. Endi barcha sohalardagi ustunlikni ta'lim saviyasi va jamiyatda to'plangan bilimlar hajmi belgilaydi. Kelajakda qaysi mamlakat yangi bilimlarni yaratishda va o'zlashtirishda oldingi o'ringa chiqsa, o'sha mamlakat gullab-yashnaydi. Bunda asosiy ro'lni yangi ATlari, unda esa-SIning usullari va vositalari egallaydi. SIning asosiy texnologiyalari haqida tasavvur hosil qilish uchun SIning muhim konsepsiyalari qanday tarzda dasturiy yechimlarga tadbiiq etilganligini o'rganish zarur. Dasturlar turli jarayonlar tavsifini aniq qurishga imkoniyat yaratadi. Ularning strukturasi yechiladigan masalalar strukturasi o'zida aks ettiradi.

Sun'iy intellekt deganda – maqsadli yo'nalishdagi harakatni o'zida namoyon qilish qobiliyatiga ega ixtiyoriy biologik, sun'iy yoki formal tizimlar tushuniladi. Sun'iy yoki formal tizimlar muloqot, bilimlarni yig'ish, idrok etish, o'rgatish, anglab olish, moslashish va h.k. larni o'z ichiga oladi.

SI – hisoblash mashina(HM)larining insonlarga aqlli bo'lib ko'rinadigan tomonlarini bajarishga imkon beradigan konsepsiyalar haqidagi fan. Inson aqli o'zi nima? U fikrlash qobiliyatiga egami? U bilimlarni o'zlashtirish va qo'llash qobiliyatiga egami? U g'oyalarni almashish va ular bilan ishlash qobiliyatiga egami? Shubhasiz, bu barcha qobiliyatlar aqlning qismini tashkil etadi. Lekin bu so'zga oddiy ma'noda ta'rif berib bo'lmaydi. Chunki aql – bu ma'lumotlarni qayta ishlash va namoyish etish sohasidagi bilimlarning qorishmasidir [1, 6].

SIning asosiy masalasi HMLarini foydaliroq qilish va aql asosida yotadigan prinsiplarni tushunishdan iborat. Modomiki asosiy masalalardan biri HMLarini foydaliroq qilish ekan, hisoblash texnikasi sohasidagi olim va injenerlar SI qiyin masalalarni hal qilishda ularga qanday yordam berishi mumkinligini bilishlari kerak.

SIT sohasidagi tadqiqotlarning *boshlanishini* (50-yillar oxiri) Nyuell, Saymon va Shoularning turli xil masalalarni yechish jarayonlarini tadqiq qilish ishlari bilan bog'lashadi. Ular ishining natijasi mulohazalar hisobidagi teoremlarni isbotlashga mo'ljallangan «Mantiqchi-nazariyotchi» va «Umumiy masala yechuvchi» dasturlari bo'ldi. Bu ishlar

SIT sohasidagi tadqiqotlarning birinchi bosqichini boshlab berdi. Shuningdek, ushbu bosqich davomida turli xil o`yinlar, boshqotirmalar va matematik masalalar tadqiqot maydoni hisoblangan.

O`zlarining dasturlarini tavsiflashda Nyuell va Sayman dalil sifatida shuni ta`kidlashdiki, ularning dasturlari inson fikrlashini (tafakkurini) modellashtirar ekan. 70-yillar boshida ular bunga o`xshash ko`plab ma`lumotlarni chop etishdi va fikrlashni (tafakkurni) modellashtiradigan dastur tuzishning umumiy usulini taklif etishdi. Nyuell va Saymanning ishlari ko`pchilikni jalb qilgan bir paytda Massachusets texnologiya instituti, Stenford universiteti va Stenford tadqiqotlar institutida tadqiqotchilar guruhi tomonidan SIT sohasidagi tadqiqotlarda masalani yechish yo`li matematik va belgilar mantiqi asosida rivojlandi.

SIT sohasini tadqiq etishda Robinsonning rezolyutsiyalar usuli katta ta`sir etdi. Bu usul predikatlar mantiqidagi teoremlarni isbotlashga asoslangan va isbotlashning mukammal usuli hisoblangan. 60-yillar oxiriga kelib turli xil o`yinlar, boshqotirmalar va matematik masalalar kabi tadqiqotlarni sun`iy muhitlarda emas, balki real muammoli muhitlarda qo`llashga harakatlar qilindi. SITning real muhitlarda ishlashini tadqiq qilish integral robotlarni yaratish masalasiga olib keldi. Bunday ishlarning o`tkazilishini SIT ustidagi tadqiqotlarning *ikkinchi bosqichi* deyish mumkin.

70-yillar o`rtalarida Stenford universiteti, Stenford tadqiqotlar instituti va boshqa bir qancha joylarda laboratoriya sharoitida ishlaydigan robotlar yaratildi. Bunday tajribalarning o`tkazilishi bir qancha muammolarni hal qilishni talab qildi. Bunday muammolarga bilimlarni namoyish etish, ko`rish orqali idrok etish, robotlar bilan tabiiy tilda muloqot qilish kabilar kiradi. Bu muammolar tadqiqotchilar oldiga yanada aniqroq ifodalangan vazifalarni qo`ydi. Bu davr SITni tadqiq etishning *uchinchi bosqichi* edi. Uning xarakterli tomoni tadqiqotchilardan oldiga qo`yilgan masalani real muhitda o`zi yechadigan muqobil ishlaydigan tizimni emas, balki inson intellektini va EHMning imkoniyatlarini birlashtiradigan inson-mashina tizimlarini yaratish masalasidan iborat edi.

Hozirgi vaqtda raqobat kurashidagi ustunlik mamlakatning o`lchovlari bilan ham, uning tabiiy resurslari bilan ham aniqlanmaydi. Endilikda buni jamiyat to`plagan ta`lim darajasi va bilimlar hajmi hal qiladi. Kelajakda boshqa mamlakatlarga qaraganda yangi bilimlarni yarata olgan va egallagan mamlakatlargina gullab yashnaydi. Bunda asosiy ro`lni yangi ATlar o`ynasa, ularda esa SI usullari va vositalari o`ynaydi.

SIT deganda fe'l – atvori maqsadga yo'naltirilgan qobiliyatni o'zida aks ettiruvchi ixtiyoriy biologik, sun'iy yoki formal tizimlar tushuniladi[6].

Oxirgisi o'zida aloqa, bilimlarni jamlash, qarorlar qabul qilish, o'rganish, moslashish va boshqa xususiyatlarni o'zida namoyon etadi. Hozirgi vaqtda kompyuterlarni intellektuallashtirishning turg'un yo'nalishi va uning dasturiy ta'minoti (DT) mavjud. Kelajakdagi kompyuterlarning asosiy funksiyalari – ko'proq hisoblashga oid bo'lmagan xarakterdagi masalalarni, ya'ni mantiqiy xulosa chiqarish, BBni boshqarish, intellektual interfeys ta'minoti va boshqa masalalarni yechishga qaratilgan. Kompyuterlarni intellektuallashtirish maxsus apparaturalarni (masalan, neyrokompyuterlar) va DTlarni (Ekspert tizim (ET)lar, bilimlar bazasi (BB), masala yechuvchilar va h.k.) yaratish hisobiga amalga oshiriladi,

“Sun'iy intellekt tizim” tushunchasining ishchi ta'rifi [1]da keltirilgan. Tizim intellektual hisoblanadi, agar unda uchta bazaviy funksiyalar amalga oshirilgan bo'lsa:

4. *Bilimlarni taqdim etish va qayta ishlash funksiyasi.* SIT o'zida tevarak atrof to'g'risidagi bilimlarni to'plashga qodir bo'lishi, ularni pragmatika va ziddiyatsizliklar nuqtai nazaridan sinflashi va baholashi, yangi bilimlarni qabul qilish jarayonlarini aniqlaydi, ma'lumotlar bazasi(MB)da saqlanayotgan bilimlar bilan yangi bilimlar o'rtasidagi bog'lanishlarni aniqlashi lozim.

5. *Mulohaza funksiyasi.* SIT mantiqiy xulosa yordamida yangi bilimlarni vujudga keltirishi va to'plangan bilimlarda qonuniylik mexanizmini namoyon qilishi, alohida (shaxsiy) bilimlar asosida umumlashgan bilimlarni olishi va o'z faoliyatini mantiqiy rejalashtirishi kerak.

6. *Aloqa funksiyasi.* SIT inson bilan unga yaqin bo'lgan tilda aloqa qilishi va insonning tevarak-atrofni qabul qilishiga (avvalo, ko'rish va ovoqli) analogik bo'lgan kanallardan ma'lumot qabul qilish, “o'zi uchun” yoki biror kishining iltimosiga ko'ra shaxsiy faoliyatni tushuntirishni shakllantirishni bilishi (ya'ni, “Buni qanday amalga oshirdim?” kabi savollarga javob berishi), insonga uning xotirasida saqlanayotgan bilimlar hamda mulohaza qilishning mantiqiy vositasi hisobiga yordamlashishi kiradi.

SITning asosiy texnologiyalari haqidagi tasavvurni shakllantirish uchun, uning dasturiy yechimlarda muhim konsepsiyalarining mujassamlanishini o'rganishimiz lozim.

SIT sohasida tadqiqot strukturasini aniqlashdagi urinishlar takror-takror amalga oshirilgan. Bu savol borasidagi barchasidan ko'ra mashhur

nuqtai nazarlar [1]da ifoda etilgan. Unga muvofiq SIT sohasidagi tadqiqotlar ikkita bazaviy yo`nalishlarni o`z ichiga oladi:

- *Bionik*, inson ongi uchun xarakterli va inson tomonidan yechiladigan masalalar asosida yotuvchi strukturalar va jarayonlarni sun'iy qaytadan tiklash muammolari bilan shug`ullanadi;

- *Dasturli-pragmatik*, inson intellektini (qidirish, sinflash, o`qitish, qaror qabul qilish, timsollarni anglash, mulohaza va boshqalar) alohida huquq deb hisoblaydigan masalalarni yechish uchun dasturlar tuzish bilan shug`ullanadi.

Birinchi yo`nalish bo`yicha sun'iy NTlar modellarini qo`llaydigan DT yaratish muammolari qarab chiqiladi.

Bionik yo`nalishning maqsadlari va masalalari qiyinligi tufayli oxirgi vaqtgacha SITda dasturli-pragmatik yo`nalish ustunlik qiluvchi hisoblanadi, garchi kelajakda baribir bionik yo`nalish ehtimol aniqlovchi bo`ladi.

Dasturli-pragmatik yo`nalishda uchta yondashuv ajratiladi:

- *lokal* yoki *maqsadli* – insonning intellektual faoliyatiga xos, inson erishishi mumkin bo`lgan natijalardan kam bo`lmaydigan har bir masala uchun (masalan, shaxmat o`yini uchun o`yin dasturi) yaratish;

- *tizimli* yoki *bilimlarga asoslangan* – hozirgi vaqtda bu yondashuv ustunlik qilmoqda, bilimlar asosida intellektual masalalarni yechish uchun dastur tuzishda avtomatlashtirish vositalarini yaratish;

- dasturlashtirishning metaprotseduralarini qo`llovchi intellektual dasturlar tuzish uchun tabiiy tilda masalalarni tavsiflash.

SITlari teoremlarni isbotlash, komp'yuter o`yinlari, timsollarni anglash, qaror qabul qilish, adaptiv dasturlash, mashinada musiqalarini bastalash, tabiiy tilda ma'lumotlarni qayta ishlash, o`qituvchi to`rlar va boshqa yo`nalishlarda keng qo`llanilmoqda.

80-yillarning boshlarida SI sohasida «Ekspert tizimlar» mustaqil yo`nalish sifatida shakllandi. Sining amaliy tizimlarini yaratilishida ETlar birinchi qadam bo`lib hisoblanadi [6, 24, 20].

ETlar SI tizimlarni bir qismi bo`lib, u nazariy jihatdan bu sohani rivojlantirishda muhim ro`l o`ynadi. ETlar SI g`oyalari va usullariga asos bo`lib, unda bilimlar, ma'lumotlar yig`indisi va ular yordamidagi boshqaruv tizimlari hamda mantiqiy qidiruv, assotsiativ, hisoblash amallari va bilimlar manbai aniq bir ko`rinishda ishlatiladi.

Hozirgi vaqtda ETlar *tibbiyotda* - ichak, sil va gipertonik kasalliklarning turli shakllariga tashxis qo`yishda; *harbiy sohada* – samolyot yerga qo`nishida uchuvchiga yordam berishda, analitikka

tutuvchi signalni jo`natgan radar turini aniqlashda, xaritada o`zgarish kiritish bo`yicha kartografik ishlarni amalga oshirishda, raqiblarning buyruq beruvchi markazlari, boshqaruvi va aloqalarining razvedka qilinganida olingan natijalarni qayta ishlashga yordamlashishda, raqibning radioalmashish razvedkasi sohasida vaziyatni baholashni amalga oshirishda va razvedkadagi analitiklarga keyingi qurolli to`qnashuv qachon va qayerda bo`lishini bashorat qilishda; *informatikada* – MBni ishlab chiquvchi va MBning konseptual sxemasini aniqlovchi mutaxassislariga yordamlashishda; *kompyuter tizimlarida* - lokal tizimlarni loyihalashda va katta EHMdagi katta razryadli MVT operatsion tizimlarni boshqarishda; *elektronikada* – telefon tarmog`idagi nosozliklarni aniqlashda, uni sozlash va tiklash chora-tadbirlari bo`yicha tavsiyalar berishda; *energetikada* – energetik tizimlarda ishdan chiqish holatlarini aniqlash va tuzatishda; *geologiyada* – foydali qazilmalarni topishda va holatini aniqlashda; *qishloq xo`jaligida* – mevali bog`larga qarashga maslahat berishda; *matematikada* – teoremlarni isbotlashda va algebraik ifodalarni soddalashtirishda; *kimyoda* – murakkab organik molekulalar strukturalarini anglashda; *biologiyada* – DNK strukturasini aniqlashda keng va samarali tadbiq etilmoqda.

2-BOB. MULOHAZALAR VA PREDIKATLAR MANTIQUI

1-§. Mulohaza. Mulohazalar ustida amallar

Sida bilimlarni turlicha tasvirlashda matematik mantiq asosni tashkil etadi [14,16,20]. Mantiqiy tasvirlash Sida ishlatiladigan boshqa («tarmoqli» va «obyektivli» kabilar) tasvirlashlar uchun tayanch hisoblanadi. Bu turdagi modellar asosida formal tizim yotadi.



Matematik mantiq(MM)ning mulohazalar algebrasida asosiy tekshirish obektlari bo‘lib gaplar xizmat qiladi. MM har bir gapning ma’nosiga qarab, uning chin, haqqoniy, to‘g‘ri yoki yolg‘on, noto‘g‘ri bo‘lishi bilangina qiziqadi.

Matematik mantiq: “Har bir gap chin yoki yolg‘on bo‘lish xossasiga ega” deb qabul qiladi. Mulohazalar sifatida faqat chin yoki yolg‘on qiymat qabul qila oladigan darak gaplar qaraladi. Demak, har bir mulohaza ma’lum holatda chin yoki yolg‘on qiymatga ega. Bundan keyin, chin qiymatni qisqacha “1” va yolg‘on qiymatni “0” bilan belgilaymiz.

Mulohazalarni belgilash uchun, asosan, lotin alfavitining kichik harflari $a, b, c, \dots, u, v, \dots, x, y, z$ foydalaniladi.

Ma’lum mulohazalar borki, hamma mumkin bo‘lgan holatlarda

(vaziyatlarda) 1 (0) qiymatni qabul qiladilar. Bunday mulohazalarga

absolyut chin (yolg‘on) mulohazalar deb aytiladi.

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ta o‘zgaruvchi mulohaza berilgan bo‘lsin. Bularning har qaysisi chin va yolg‘on qiymatlarni qabul qiladi. Shuning uchun quyidagi qiymatlar satrini tuzish mumkin:

0, 0, ..., 0,

1, 0, ..., 0,

0, 1, ..., 0,

.....

1, 1, ..., 1.

Demak, o‘zgaruvchilar soni n ta bo‘lsa, u vaqtda $C_n^0 + C_n^1 + C_n^2 + \dots + C_n^n = 2^n$ ta qiymatlar satriga ega bo‘lamiz.

$x_1, x_2 : 2^2 = 4$ ta qiymatlar satri.

$x_1, x_2, x_3 : 2^3 = 8$ ta qiymatlar satri.

MMda “emas”, “yoki”, “va”, “agar..., u holda”, “shunda va faqat shundagina..., qachon...” soʻzlar (bogʻlovchilar) elementar mulohazalar orasidagi mantiqiy amallar deyiladi. Mulohazalar ustida bu amallar bajariladi va buning natijasida yana mulohazalar hosil boʻladi. Bu amallarga mantiqiy amallar nomi berilgan. Bu amallar quyidagilardir.

Inkor amali. x mulohazaning inkori deb atalgan $\bar{x}$ mulohaza, x mulohaza “1” qiymatni qabul qilganda, $\bar{x}$ mulohaza “0” qiymatni qabul qiladi va aksincha. Inkor amali oddiy tildagi manfiy sifat dosh “emas” ga toʻgʻri keladi. Masalan “ x emas” - $\bar{x}$. **Konyunksiya (mantiqiy koʻpaytma) amali.** “Va” bogʻlovchisiga mos keluvchi mantiqiy amalga konyunksiya amali deb aytamiz. x va y mulohazalarning konyunksiyasi $x \wedge y$ mulohaza, x va y mulohazalar chin boʻlgandagina chin qiymatni qabul qilib, qolgan hollarda esa, yolgʻon qiymatni qabul qiladi.

Dizyunksiya (mantiqiy yigʻindi) amali. Rad etmaydigan maʼnoda ishlatiladigan “yoki” bogʻlovchisiga mos keladi. Ikki x va y mulohazaning dizyunksiyasi $x \vee y$ murakkab mulohaza boʻlib, u faqat x va y yolgʻon boʻlgandagina yolgʻon qiymat qabul qilib, qolgan hollarda chin qiymatni qabul qiladi.

Implikasiya amali. “Agar....., u holda.....” bogʻlovchisiga mos keladi. Ikki x va y mulohazalarning implikasiyasi $x \rightarrow y$ deb shunday mulohazaga aytiladiki, u faqat x chin va y yolgʻon boʻlgandagina yolgʻon boʻlib, qolgan hamma hollarda chindir.

Ekvivalensiya (tengkuchlilik) amali. “Shunda va faqat shundagina, qachonki” bogʻlovchisiga mos keladi. Ekvivalensiya $x \leftrightarrow y$ amali x va y mulohazalar bir xil qiymat qabul qilgandagina chin, boshqa hollarda u yolgʻon qiymat qabul qiladi.

Sheffer amali. Faqat x va y mulohazalar chin boʻlgandagina, $x|y$ mulohaza yolgʻon dir.

Pirs amali (strekasi). Faqat x va y mulohazalar yolgʻon boʻlgandagina $x \downarrow y$ mulohaza chindir.

Yuqorida keltirilgan mantiqiy amallar chinlik jadvali 2.1–jadval yordamida beriladi.

2.1 –jadval. Mantiqiy amallarning chinlik jadvali.

x	y	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$x \wedge y$	$x \vee y$	$x \rightarrow y$	$x \leftrightarrow y$	$x y$	$x \downarrow y$
1	1	0	0	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	0

0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	1	1	0

Bu amallar yordamida elementar mulohazalardan murakkab mulohaza quriladi.

2-§. Mulohazalar mantiqida isbotlash usullari

MMda isbotlash muammosi-bu agar $x_1, x_2, \dots, x_n$ boshlang'ich mulohazalar chin deb hisoblanganda, y xulosaning chin qiymatini topishdan iborat bo'ladi va $x_1, x_2, \dots, x_n \vdash A$ ko'rinishda belgilanadi. Isbotlarda va xulosalarda “ $\vdash$ ” belgi «chiqarish mumkin» kabi o'qiladi.

Mantiqda isbotlash muammosini yechishning ikkita asosiy usullari mavjud: *semantikli va sintaktikli*[16, 19].

1.Isbotlashning *semantikli usulda* $(x_1, x_2, \dots, x_n; A)$ formulaga kiruvchi barcha o'zgaruvchilarni hisobga olib, ushbu o'zgaruvchilar qiymatlarining mumkin bo'lgan barcha holatlari uchun chinlik jadvali tuziladi. Keyin ushbu jadvalning barcha qatorlarida $x_1, x_2, \dots, x_n$ o'zgaruvchilar chin qiymat qabul qilganda, y formulaning ham chin qiymat qabul qilishi tekshiriladi. Bu usul juda qulay, lekin juda ko'p hisoblashlarni bajarishni talab qiladi.

2.Isbotlashning *sintaktik usulida* avval mulohazalar yoziladi va ularga xulosalash qoidalarini qo'llab yangi chin formulalarni hosil qilishga harakat qilinadi. Ushbu hosil qilingan formulalardan va boshlang'ich mulohazalardan navbatdagi yangi formulalar hosil qilinadi va ushbu jarayon talab qilingan xulosani hosil qilguncha davom ettiriladi (ta'kidlaymizki, bu hamma vaqt ham amalga oshavermaydi). Bu jarayon mantiqiy xulosalash hisoblanadi va u ko'pincha matematikada teoremlarni isbotlashda qo'llaniladi. Bu usulni navbatdagi bo'limda keltiramiz.

2.1. Mulohazalar mantiqida isbotlashning semantik usuli

Mulohazalar mantiqi formulasini isbotlashning semantik usuli $(x_1, x_2, \dots, x_n; A)$ formulaga kiruvchi barcha o'zgaruvchilarni hisobga olib, ushbu o'zgaruvchilar qiymatlarining mumkin bo'lgan barcha holatlari (satrlari) uchun chinlik jadvali tuziladi va ushbu jadvalning barcha satrlarida $x_1, x_2, \dots, x_n$ o'zgaruvchilar chin qiymat qabul qilganda, A formulaning ham chin qiymat qabul qilishi tekshiriladi.

Oddiy mulohazalarni inkor, diz'yunktsiya, kon'yunktsiya, implikatsiya va ekvivalentsiya mantiqiy amallar vositasi bilan ma'lum tartibda birlashtirish natijasida hosil qilingan murakkab mulohazani formula deb aytamiz.

Masalan: $[x_1 \vee (x_2 \wedge x_3) \leftrightarrow (x_2 \vee x_3)] \rightarrow x_4$; $[x_1 \wedge (x_2 \leftrightarrow x_3)] \wedge (x_2 \rightarrow x_5)$;
 $(x \rightarrow y) \wedge (x \leftrightarrow y)$; $((x \rightarrow y) \leftrightarrow (y \rightarrow z)) \rightarrow (z \vee x)$ murakkab mulohazalar formulalar bo'ladilar. Qavslar mulohazalar ustida mantiqiy amallarning qay tartibda bajarilishini ko'rsatadi.

Mulohazalar mantiqida $x_1, x_2, \dots, x_n$ oddiy mulohazalarning har biri va bu formulalar ustida mantiqiy amallarni qo'llab hosil qilingan $(A \wedge B)$, $(A \vee B)$, $(A \rightarrow B)$, $(A \leftrightarrow B)$ va $\bar{A}$ lar ham formulalar bo'ladi.

A va B formulalarning qiymatlari elementar mulohazalarning har bir qiymatlari satrida bir xil bo'lsa, A va B formulalarga tengkuchli formulalar bo'ladi va bu $A = B$ tarzda belgilanadi.

A va B formulalarning tengkuchli bo'lish-bo'lmasligi ular uchun tuzilgan chinlik jadvallari yordamida aniqlanadi.

Misol. $A = \bar{x} \vee y \wedge z$ va $B = x \rightarrow y \wedge z$ formulalar berilgan bo'lsin. 2.2-chinlik jadvalidan foydalanib A va B formulalarning tengkuchliligini tekshiramiz:

2.2-jadval. A va B larning tengkuchliligini isbotlashning chinlik jadvali.

x	y	z	$\bar{x}$	$C = y \wedge z$	$A = \bar{x} \vee C$	$D = y \wedge z$	$B = x \rightarrow D$
0	0	0	1	0	1	0	1
0	0	1	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	1	1

Jadvaldan ko'rinib turibdiki, sakkista qiymatlar satri uchun A va B formulalarning mos qiymatlari bir xil. Demak, $A = B$.

Elementar mulohazalarning hamma qiymatlar satrlarida faqat chin qiymatni qabul qiluvchi formula tautologiya (aynan chin) deb ataladi. A formulaning tautologiya ekanligi yoki emasligini chinlik jadvali yordamida aniqlaymiz.

Tavtologiyaga misollar:

- 1) $A = x \wedge (1 \vee 0) \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y = 1$; 2) $A = \bar{y} \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow \bar{x} \wedge (\bar{x} \vee x) = 1$;
- 3) $A = (\bar{x} \wedge x) \vee ((x \rightarrow y) \rightarrow ((x \vee z) \rightarrow (y \vee z))) = 1$;

Chinlik jadvali yordamida $A = x \wedge (1 \vee 0) \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y = 1$ tavtologiyani isbotlaymiz.

2.3 –jadval. Tavtologiyani isbotlashning chinlik jadvali.

x	y	$A = 1 \vee 0$	$B = x \rightarrow y$	$C = x \wedge A$	$D = C \wedge B$	$F = D \rightarrow y$
0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1

Agar $(A \leftrightarrow B)$ va $(A \rightarrow B)$ tavtologiyalar bo'lsa, u holda mos ravishda A va B lar mantiqiy ekvivalent va B A ning mantiqiy xulosasi bo'ladi.

Chinlik jadvalini tuzishning dasturiy ta'minoti [3]. Dastur quyidagi modullardan iborat:

- 1) «Hisoblash» moduli - mantiqiy funksiya ifodasi kiritigach uning chinlik jadvali shiqarish maydonida hosil qilish vazifasini bajaradi;
- 2) «Tozalash» moduli - kiritish maydonidagi formulani o'chiradi;
- 3) «Ma'lumot» oynasi - funksilarni kiritish maydoniga klaviatura yordamida kiritishda yordamchi qo'llanma vazifasini bajaradi;
- 4) Funksiya ifodasini sichqoncha yordamida tez kiritish maxsus tugmalar orqali amalga oshiriladi.

Dasturni ishlash jarayoni foydalanuvchiga tushinarli bo'lishi uchun, quyida to'rtta o'zgaruvchiga bog'liq mantiqiy formulani chinlik jadvalini tuzish jarayonini ko'rib chiqamiz.

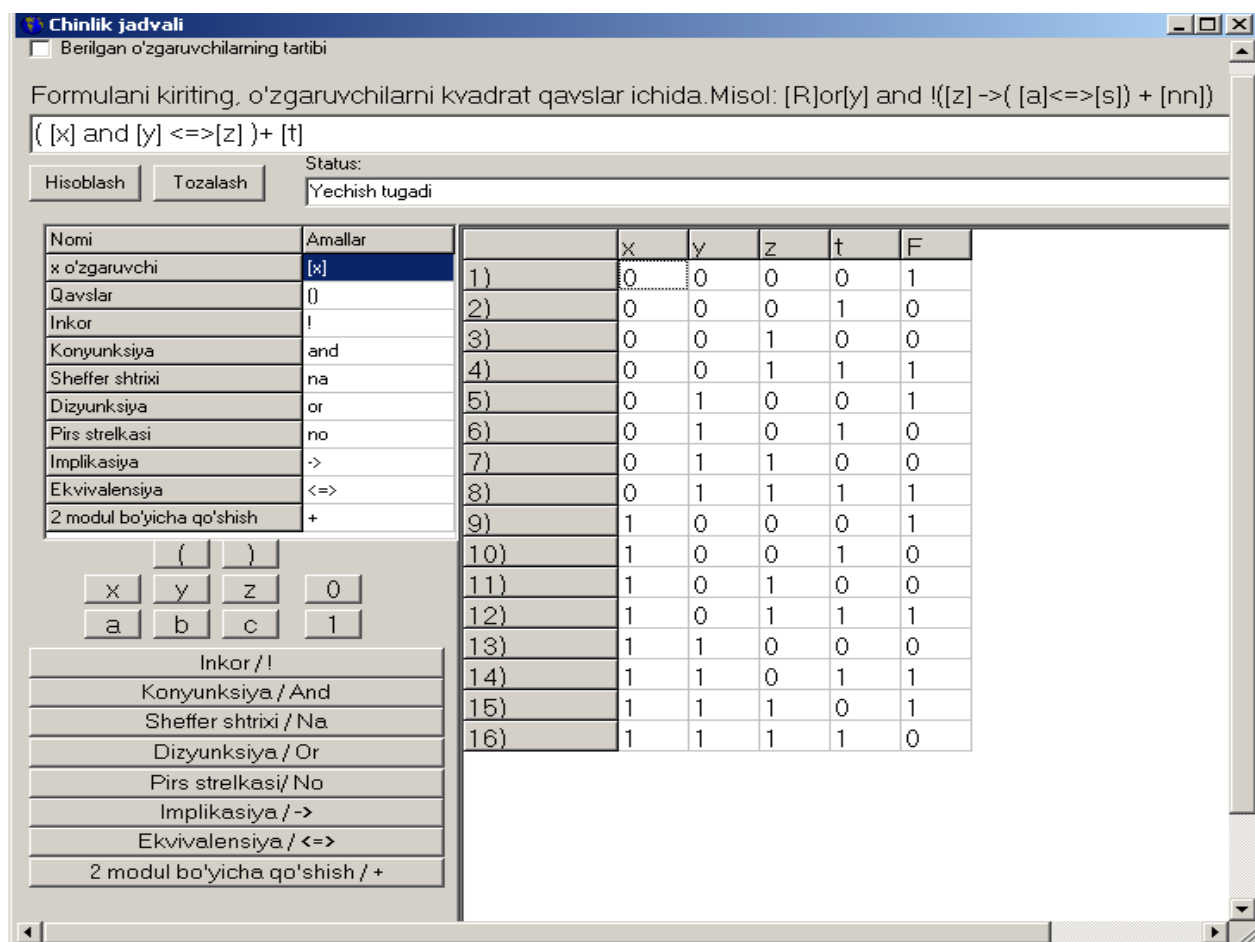
Bizga to'rtta o'zgaruvchiga bog'liq $F = (x \wedge y \leftrightarrow z) \oplus t$ berilgan bo'lsin. Kiritish maydonida formula $([x] \text{ and } [y] \leq [z]) + [t]$ ko'rinishida namoyon bo'ladi. «Hisoblash» moduli ishga tushirilgach, dastur oynasining chiqarish maydonida $2^4=16$ ta satrdan iborat chinlik jadvali hosil bo'ladi, ya'ni muloqot oynasi 2.1-rasmdagi ko'rinishda bo'ladi.

Dastur xulosasiga ko'ra $F = (x \wedge y \leftrightarrow z) \oplus t$ tavtologiya emas.

Demak n ta o'zgaruvchiga bog'liq formulaning chinlik jadvali 2^n ta satrdan iborat bo'ladi, o'zgaruvchilar soni ortib borishi bilan chinlik jadvali hajmi ham ortib boradi. Bu esa hisoblashlarda qiyinchilik keltirib chiqaradi. «Chinlik jadvali» dasturi o'zgaruvchilari soni 10 tagacha

bo'lgan formulalarning chinlik jadvalini aniq hisoblaydi va bu foydalanuvchilar uchun ancha qulaydir.

Tavtologiya formulalar katta ahamiyatga ega bo'lib, ular mantiq qonunlarini ifodalaydi. Shu munosabat bilan quyidagi masala tug'iladi: shunday usulni topish kerakki, u chekli miqdordagi amal yordamida mantiq algebrasining ixtiyoriy muayan formulasini aynan chin yoki aynan chin emasligini aniqlasin. Bunday usul yechiluvchi usul yoki algoritmi, yoki yechiluvchi protsedura deyiladi. Qo'yilgan masalaning o'zi esa "*echilish muammosi*" deyiladi. Bu muammo faqatgina mulohazalar algebrasi uchunгина emas, balki boshqa mantiqiy sistemalar uchun ham qo'yiladi. U mulohazalar algebrasi uchun ijobiy ravishda yechiladi. Bu yerda yechiluvchi protsedura sifatida chinlik jadvalini olishimiz mumkin, chunki bunday jadval har bir muayan formula uchun qo'yilgan savolga javob beradi. Agar berilgan formulaga mos keladigan jadvalning oxirgi ustunida faqat "chin" bo'lsa, u holda bu formula aynan "chin", agar oxirgi ustunda hech bo'lmaganda bitta "yolg'on" bo'lsa, u holda formula aynan chin emas bo'ladi. Tabiiyki, amalda bu usulni har doim bajarib bo'lmaydi (chunki formulada n ta o'zgaruvchi qatnashsa, bunday jadval 2^n ta satrga ega bo'ladi). Lekin har doim chekli miqdordagi amal bajarib, printsip jihatdan qo'yilgan savolga javob berish mumkin. Keyingi paragraflarda boshqa bir yechiluvchi protsedurani, ya'ni mulohazalar mantiqi sintaktikasi usulini keltiramiz, u berilgan formulani normal shaklga keltirishga asoslangan. Normal shakllar MMning boshqa masalalarida ham ishlatiladi.



2.1-rasm. To'rtta o'zgaruvchi uchun chinlik jadvalini hosil qilish.

2.2. Mulohazalar mantiqida isbotlashning sintaktik usuli

Mulohazalar mantiqi formulasini isbotlashning sintaktik usulida avval mulohazalar formula ko'rinishga keltiriladi va ularga xulosalash qoidalarini qo'llanilib yangi chin formulalarni (ta'kidlaymizki, bu hamma vaqt ham amalga oshavermaydi) hosil qilishga harakat qilinadi. Bu jarayon mantiqiy xulosalash hisoblanadi va u ko'pincha SIda maqsadli tasdiqlarni isbotlashda qo'llaniladi.

Ixtiyoriy mantiqiy ifodalarni normal (sodda) ko'rinishga keltirish uchun quyidagi asosiy tengkuchliliklardan foydalaniladi [12, 14, 19, 20]:

- 1) $x \wedge y = y \wedge x$; 2) $(x \wedge y) \wedge z = x \wedge (y \wedge z)$; 3) $x \vee y = y \vee x$;
- 4) $(x \vee y) \vee z = x \vee (y \vee z)$; 5) $x \wedge (y \vee z) = (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$;
- 6) $x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z)$; 7) $\overline{x \vee y} \equiv \overline{x} \wedge \overline{y}$;
- 8) $\overline{x \wedge y} \equiv \overline{x} \vee \overline{y}$; 9) $x \wedge \overline{x} \equiv 0$; 10) $x \vee \overline{x} \equiv 1$; 11) $x \wedge x \equiv x$;
- 12) $x \vee x \equiv x$; 13) $x \wedge (x \vee y) \equiv x$; 14) $x \vee x \wedge y \equiv x$; 15) $x \vee 0 \equiv x$;
- 16) $x \vee 1 \equiv 1$; 17) $x \wedge 1 \equiv x$; 18) $x \wedge 0 \equiv 0$; 19) $x \rightarrow y \equiv \overline{x} \vee y$;

$$20) x \leftrightarrow y = (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x); \quad 21) x \leftrightarrow y \equiv \bar{x} \wedge \bar{y} \vee x \wedge y.$$

Keltirilgan tengkuchliliklar formulalar uchun ham o'rinli bo'lib, ular ixtiyoriy mantiqiy ifodalarni normal ko'rinishga keltirishga imkon yaratadi.

Formulalarning normal shakllari. Tengkuchli almashtirishlar bajarib, mulohazalar algebrasining formulalarini har xil ko'rinishlarda yozish mumkin. Mantiqiy xulosalashda formulalarning normal shakllari katta ahamiyatga ega. Formulalarning normal shakllari sifatida dizyuntiv normal shakl(DNSH) va konyunktiv normal shakl(KNSH)lar qaraladi.

DNSH deb elementar konyunksiyalarning dizyunksiyasiga va KNSH deb elementar dizyunksiyalarning konyunksiyasiga aytiladi.

Misol. DNSHga $A = x \wedge y \vee \bar{x} \wedge z \vee x \wedge \bar{y} \wedge z$, KNSHga $B = (x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee z) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z)$ formulani keltirish mumkin.

Mantiq algebrasining bitta formulasi uchun bir nechta DNSH (KNSH) mavjud bo'lishi mumkin. Formulalarni bir qiymatli ravishda normal shaklda tasvirlash uchun takomil diz'yunktiv normal shakl (TDNSH) va takomil kon'yunktiv normal shakl (TKNSH) deb ataluvchi ko'rinishlari ishlatiladi.

Agar DNSH (KNSH) ifodasida bir xil elementar kon'yunktsiyalar (elementar diz'yunktsiyalar) bo'lmasa va hamma elementar kon'yunktsiyalar (elementar diz'yunktsiyalar) to'g'ri va to'liq bo'lsa, u holda bunday DNSH (KNSH) TDNSH (TKNSH) deb aytiladi.

Masalan, $A = x \wedge y \wedge z \vee x \wedge y \wedge \bar{z} \vee \bar{x} \wedge y \wedge z \vee x \wedge \bar{y} \wedge z$ DNSH x, y, z mulohazalarga nisbatan TDNSH bo'ladi. $B = (x \vee y) \wedge (x \vee \bar{y}) \wedge (\bar{x} \vee y)$ KNSH x, y mulohazalarga nisbatan TKNSH bo'ladi.

Endi mulohazalar mantiqi formulasini TDNSHga keltirish algoritmini keltiramiz.

1. A formulani konyunksiya, dizyunksiya va inkor mantiqiy amallar orqali ifodalaymiz (inkor amaldi faqatgina o'zgaruvchilar ustida bo'lishi kerak). So'ngra distributivlik qonunlaridan foydalanib, A formulani DNSHga keltiramiz va hamma lozim bo'lgan soddalashtirishlarni bajaramiz.

2. Agar DNSH ifodasida bir nechta bir xil elementar konyunksiyalar mavjud bo'lsa, u holda $x \vee x = x$ tengkuchlilik formulasidan foydalanib ulardan bittasini A ifodasida qoldiramiz.

3. Quyidagi ikki usul orqali hamma elementar konyunksiyalarni to'g'ri elementar konyunksiyalarga aylantiramiz:

a) agar biror elementar konyunktsiya ifodasida birorta o'zgaruvchi o'zining inkori bilan qatnashgan bo'lsa, u holda $x \wedge \bar{x} = 0$, $1 \wedge x = x$, $x \vee x = x$ tengkuchlilik formulalarga asosan biz bu elementar dizyunksiyani DNSH ifodasidan olib tashlaymiz;

b) agar birorta o'zgaruvchi elementar konyunksiya ifodasida bir necha marta qatnashgan bo'lsa (yoki hamma holda inkor ishorasi ostida emas, yoki hamma holda inkor ishorasi ostida), u vaqtda $x \wedge x = x$ formulasiga asosan biz ulardan faqatgina bittasini DNSH ifodasida qoldiramiz.

Natijada, hamma elementar konyunksiyalar to'g'ri elementar konyunksiyalarga aylanadi.

4. Agar ba'zi elementar konyunksiyalar to'liq elementar konyunksiyalar bo'lmasa, ya'ni konyunktiv hadlarda elementar mulohazalarning ba'zilari (yoki ularning inkorlari) mavjud bo'lmasa, u holda $x_i \vee \bar{x}_i = 1$ va $K \wedge 1 = K$ formulalardan foydalanib bunday elementar konyunksiyalarni to'liq elementar konyunksiyalar holatiga keltirish kerak.

Agarda elementar konyunksiya ifodasida bir nechta $y_1, y_2, \dots, y_m$ o'zgaruvchilar qatnashmayotgan bo'lsa, u holda uning ifodasiga $(y_i \vee \bar{y}_i)$ ($i = \overline{1, m}$) dizyunksiyalarni mantiqiy qo'shib, distributivlik qonunini qo'llaymiz. Natijada, bitta to'liq emas elementar konyunksiya o'rniga 2^m ta to'liq elementar konyunksiyalarga ega bo'lamiz.

5. To'rtinchi qadam bajarilishi natijasida DNSH ifodasida bir xil elementar konyunksiyalar paydo bo'ladi. Shuning uchun yana 2- qadamni ishlatamiz.

Demak, 1-5 - qadamlar natijasida DNSH ifodasida bir xil elementar konyunksiyalar mavjud bo'lmaydi va hamma elementar konyunksiyalar to'g'ri va to'liq bo'ladi. Natijada TDNSH hosil bo'ladi.

Misol. 1. $A = (x \leftrightarrow y) \rightarrow z$ formulani TDNSH keltiramiz.

$$\begin{aligned} A &= (x \leftrightarrow y) \rightarrow z = (\bar{x} \wedge \bar{y} \vee x \wedge y) \rightarrow z = \overline{\bar{x} \wedge \bar{y} \vee x \wedge y \vee z} = \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}} \wedge \overline{x \wedge y} \vee z = \\ &= (\bar{x} \vee \bar{y}) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y}) \vee z = (x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y}) \vee z = x \wedge \bar{x} \vee x \wedge \bar{y} \vee \bar{x} \wedge y \vee y \wedge \bar{y} \vee z = \\ &= 0 \vee x \wedge \bar{y} \vee \bar{x} \wedge y \vee 0 \vee z = x \wedge \bar{y} \vee \bar{x} \wedge y \vee z = x \wedge \bar{y} \wedge 1 \vee \bar{x} \wedge y \wedge 1 \vee 1 \wedge 1 \wedge z = \\ &= x \wedge \bar{y} \wedge (z \vee \bar{z}) \vee \bar{x} \wedge y \wedge (z \vee \bar{z}) \vee (x \vee \bar{x}) \wedge (y \vee \bar{y}) \wedge z = x \wedge \bar{y} \wedge z \vee x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z} \vee \\ &\vee \bar{x} \wedge y \wedge z \vee \bar{x} \wedge y \wedge \bar{z} \vee x \wedge y \wedge z \vee x \wedge y \wedge \bar{z} \vee \bar{x} \wedge y \wedge z \vee \bar{x} \wedge y \wedge \bar{z} = \\ &= x \wedge \bar{y} \wedge z \vee x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z} \vee \bar{x} \wedge y \wedge z \vee \bar{x} \wedge y \wedge \bar{z} \vee x \wedge y \wedge z \vee x \wedge y \wedge \bar{z} \vee \bar{x} \wedge y \wedge z \vee \bar{x} \wedge y \wedge \bar{z}. \end{aligned}$$

Agar hosil qilingan elementar konyunksiyalarni

$$K_1 = x \wedge \bar{y} \wedge z; \quad K_2 = x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z}; \quad K_3 = \bar{x} \wedge y \wedge z; \quad K_4 = \bar{x} \wedge y \wedge \bar{z};$$

$$K_5 = x \wedge y \wedge z; \quad K_6 = \bar{x} \wedge y \wedge z; \quad K_7 = \bar{x} \wedge \bar{y} \wedge z.$$

belgilasak, u holda TDNSHni $A = K_1 \vee K_2 \vee K_3 \vee K_4 \vee K_5 \vee K_6 \vee K_7$ ko'rinishda yozish mumkin.

Tavtologiyalarni sintaktik usul formulalari bilan isbotlash.

Tavtologiyalarni isbotlash uchun mulohazalar mantiqining asosiy tengkuchliliklaridan foydalanamiz va qavslarni ochib, formulaning aynan chin ekanligini aniqlaymiz. Masalan,

$$\begin{aligned} A &= x \wedge (1 \vee 0) \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y = x \wedge 1 \wedge (\bar{x} \vee y) \vee y = \bar{x} \vee 1 \vee \bar{x} \vee y \vee y = \bar{x} \vee 0 \vee \bar{x} \wedge \bar{y} \vee y = \\ &= \bar{x} \vee x \wedge \bar{y} \vee y = (\bar{x} \vee x) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y}) \vee y = 1 \wedge (\bar{x} \vee \bar{y}) \vee y = 1 \wedge \bar{x} \vee (\bar{x} \vee y) = \bar{x} \vee 1 = 1 \end{aligned}$$

Tavtologiya va almashtirishlardan foydalanib xulosa chiqarish uchun muhim vosita *ekvivalentlik* hisoblanadi. Bunda ekvivalent formulalarni o'zaro almashtirishni to'g'ri amalga oshirishni bilish kerak. Masalan, $x \vee y$ formula $y \vee x$ formula bilan almashtirish mumkin, chunki $x \vee y \leftrightarrow y \vee x$.

$x \leftrightarrow y$ ekvivavalentlikni ikki taraflama $x \leftrightarrow y = (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$ implikatsiya bilan almashtirish mumkin, chunki bu ifodalar chinlik jadvalida bir xil qiymatlar qabul qiladi. $x \leftrightarrow y$ ekvivavalentlikni konyunktiv normal shaklga ham keltirish mumkin. Buning uchun implikatsuyani dizyunksiya va inkor amallari yordamida $x \rightarrow y = \bar{x} \vee y$ almashtirishdan foydalanamiz. U holda $x \leftrightarrow y = (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x) = (\bar{x} \vee y) \wedge (\bar{y} \vee x)$ ekvivalentlikni hosil qilamiz. Bu ifodada qavslarni ochish bilan dizyunktiv normal shaklni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} x \leftrightarrow y &= (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x) = (\bar{x} \vee y) \wedge (\bar{y} \vee x) = (\bar{x} \wedge \bar{y}) \vee (\bar{x} \wedge x) \vee (y \vee \bar{y}) \vee (x \wedge y) = \\ &= (\bar{x} \wedge \bar{y}) \vee 0 \vee 0 \vee (x \wedge y) = (\bar{x} \wedge \bar{y}) \vee (x \wedge y). \end{aligned}$$

Boshqacha aytganda, agar x va y ekvivalent bo'lsa, u holda ularning ikkalasi ham chin yoki ikkalasi ham yolg'on bo'ladi.

Ekvivivalentlikga asoslangan tavtologiyalarga **misollar**:

- 1) $A = ((x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow z)) \rightarrow (x \rightarrow z) = 1$;
- 2) $A = (x \vee y) \leftrightarrow (y \vee x) = 1$;
- 3) $A = x \wedge (x \vee y) \leftrightarrow x = 1$;
- 4) $A = (x \rightarrow (x \rightarrow y)) \leftrightarrow (x \wedge y \rightarrow z) = 1$;

Mantiqiy xulosalash prodseduralarida ekvivivalentlikdan ikkita uslubda foydalanish mumkin:

- 1) Ikkita alohida implikatsiyalar shaklida ifodalash;
- 2) Almashtirishlardan foydalanish.

Mantiqda tautologiyalarga qarama-qarshi o'zgaruvchilarning mumkin bo'lgan barcha qiymatlari naborida faqat «yolg'on (0)» qiymat qabul qiluvchi formulalar ham mavjud. Masalan, x ning har qanday qiymatlarida $A = x \wedge \bar{x} = 0$; $A = (\bar{x} \vee y) \wedge \overline{(x \rightarrow y)} = 0$.

Mantiqiy formulalarni TDNSH va TKNSHlarga keltirish dasturiy ta'minoti [3]. Dastur quyidagi modullardan iborat:

- 1) «Hisoblash» moduli - mantiqiy funksiya ifodasi kiritilgach uning chinlik jadvalini, TKNSH va TDNSH ko'rinishlarini shiqarish maydonida hosil qilish vazifasini bajaradi;
- 2) «Tozalash» moduli - kiritish maydonidagi formulani o'chiradi;
- 3) Ma'lumot oynasi - funksilarni kiritish maydoniga klaviatura yordamida kiritishda yordamchi qo'llanma vazifasini bajaradi;
- 4) Funksiya ifodasini sichqoncha yordamida tez kiritish maxsus tugmalar orqali amalga oshiriladi;
- 5) TKNSH va TDNSH chiqarish maydonlarida formulalarning normal shakllari ko'rinishlari namoyon bo'ladi.

«Hisoblash» moduli ishga tushirilgach, dastur oynasining chiqarish maydonida $2^3=8$ ta satrdan iborat chinlik jadvali va formulalarning TDNSH va TKNSH ko'rinishlari hosil bo'ladi (2.2-rasm).

Chiqarish maydonida TDNSH va TKNSH larning ko'rinishlari quyidagicha:

- 1) $(x \text{ or } !y \text{ or } z) \text{ and } (x \text{ or } !y \text{ or } !z) \text{ and } (!x \text{ or } y \text{ or } !z) \text{ and } (!x \text{ or } !y \text{ or } !z)$.
- 2) $(!x \text{ and } !y \text{ and } !z) \text{ or } (!x \text{ and } !y \text{ and } z) \text{ or } (x \text{ and } !y \text{ and } !z) \text{ or } (x \text{ and } y \text{ and } !z)$.

Bu ifodalarning matematik ko'rinishi quyidagicha:

- 1) $(x \vee \bar{y} \vee z) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z}) \wedge (\bar{x} \vee y \vee \bar{z}) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z})$.
- 2) $(\bar{x} \wedge \bar{y} \wedge \bar{z}) \vee (\bar{x} \wedge \bar{y} \wedge z) \vee (x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z}) \vee (x \wedge y \wedge \bar{z}) = \bar{x}\bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}\bar{y}z \vee x\bar{y}\bar{z} \vee xy\bar{z}$.

Diskret matematika: TDNSH va TKNSH ni topish

Formulani kiriting, o'zgaruvchilarni kvadrat qavslar ichida. Misol: $[x] \text{ and } [y] \Leftrightarrow !([z] \rightarrow [yy])$

$[x] \text{ or } [y] \rightarrow !([z] \text{ and } [x])$

TKNSH: $(x \text{ or } !y \text{ or } z) \text{ and } (x \text{ or } !y \text{ or } !z) \text{ and } (!x \text{ or } y \text{ or } !z) \text{ and } (!x \text{ or } y \text{ or } z)$

TDNSH: $(!x \text{ and } !y \text{ and } !z) \text{ or } (!x \text{ and } !y \text{ and } z) \text{ or } (x \text{ and } !y \text{ and } !z) \text{ or } (x \text{ and } !y \text{ and } z)$

Nomi	Amallar		x	y	z	F
x o'zgaruvchi	[x]					
Qavslar	()	1)	0	0	0	1
Inkor	!	2)	0	0	1	1
Konyunksiya	and	3)	0	1	0	0
Sheffer shtrixi	na	4)	0	1	1	0
Dizyunksiya	or	5)	1	0	0	1
Pirs strelkasi	no	6)	1	0	1	0
Implikasiya	->	7)	1	1	0	1
Ekvivalensiya	<=>	8)	1	1	1	0
2 modul bo'yicha qo'shish	+					

Hisoblash Tozalash

0 1 ! ()

a b c x y z

Konyunksiya (and)
 Sheffer shtrixi (na)
 Dizyunksiya (or)
 Pirs strelkasi (no)
 Implikasiya (->)
 Ekvivalensiya (<=>)
 2 modul bo'yicha qo'sh (+)

Status:
 Yechish tugadi

☐ Berilgan o'zgaruvchilarning tartibi

2.2-rasm. TDNSH va TKNSH larni hosil qilish.

3-§. Predikatlar mantiqi

Predikatlar mantiqi(PM)da quyidagi **simvollardan** foydalanamiz [14, 20]:

1. $a, b, c, \dots, u, v, \dots, x, y, z$ simvollar – 1 (chin) va 0 (yolg'on) qiymatlar qabul qiluvchi o'zgaruvchi mulohazalar va qandaydir M to'plamdan qiymat oluvchi predmet o'zgaruvchilar;

3. $A(\cdot), B(\cdot) \dots$ - bir joyli va $A(\cdot, \cdot, \dots, \cdot), B(\cdot, \cdot, \dots, \cdot) \dots$ - n joyli o'zgaruvchi predikatlar.

4. $A^0(\cdot), B^0(\cdot, \cdot, \dots, \cdot) \dots$ - o'zgarmas predikatlar simvoli.

5. $\wedge, \vee, \neg, \rightarrow, \leftrightarrow$ - mantiqiy amallar simvollar.

6. $\forall, \exists$ - kvantorli amallar simvollar.

7. $(,)$ (qavs, vergul) – qo'shimcha simvollar.

Predikat tushunchasi. Mantiq algebrasida mulohazalar faqatgina chin yoki yolg'on qiymat olishi nuqtai nazaridan qaraladi. Bunda mulohazalarning strukturasi va mazmuni qaralmaydi. Ammo fanda va amaliyotda mulohazalarning strukturasi va mazmunidan kelib chiqadigan xulosalardan foydalaniladi.

Masalan, “Axmad-inson; demak, Axmad-sutemizuvchi». Asos (shart) va xulosa mulohazalar mantiqining elementar mulohazalari bo’ladi va ularni bu mantiq nuqtai nazaridan bo’linmas, bir butun deb va ularning ichki strukturasini hisobga olmasdan qaraladi. Shunday qilib, mantiq algebrasi mantiqning muhim qismi bo’lishiga qaramasdan, ko’pgina fikrlarni tahlil qilishga qodir (yetarli) emas.

Shuning uchun ham mulohazalar mantiqini kengaytirish masalasi vujudga keldi, ya’ni elementar mulohazalarning ichki strukturasini ham tadqiq eta oladigan mantiqiy sistemani yaratish muammosi paydo bo’ldi.

Bunday sistema mulohazalar mantiqini o’zining bir qismi sifatida butunlayiga o’z ichiga oladigan PMdir.

PM an’anaviy formal mantiq singari elementar mulohazani *subyekt* va *predikat* qismlarga bo’ladi.

Subyekt – bu mulohazada biror narsa haqida nimadir tasdiqlaydi; *predikat* – bu subyektni tasdiqlash.

Masalan, «Zarrux-talaba» mulohazasida «Zarrux» - subyekt, «talaba» - predikat. Bu mulohazada «Zarrux» «talaba bo’lish» xususiyatiga ega ekanligi tasdiqlanadi.

Agar keltirilgan mulohazada ma’lum Zarruxni odamlar to’plami S dagi x o’zgaruvchi bilan almashtirsak, u holda « x -talaba» ko’rinishidagi mulohazaga ega bo’lamiz. x o’zgaruvchining bir xil qiymatlari uchun bu shakl chin mulohazalar va x o’zgaruvchining boshqa qiymatlari uchun bu shakl yolg’on mulohazalar beradi.

Aniqki, bu shakl bir x argumentli funksiyani aniqlaydi. Bu funksiyaning aniqlanish sohasi odamlar to’plami S va qiymatlar sohasi $\{1, 0\}$ to’plam bo’ladi.

Biror M to’plamda aniqlangan va $\{1, 0\}$ to’plamdan qiymat qabul qiluvchi bir argumentli $P(x)$ funksiyaga *bir joyli predikat* deb aytiladi [14, 20]. M to’plamga $P(x)$ predikatning aniqlanish sohasi deb aytamiz.

$P(x)$ predikat chin qiymat qabul qiluvchi hamma $x \in M$ elementlar to’plamiga $P(x)$ predikatning chinlik to’plami deb aytiladi.

Masalan, « x -bakalavr» - $P(x)$ predikati S talabalar to’plamida aniqlangan va uning *chinlik to’plami* hamma bakalavrlar to’plamidan iborat. Bir joyli predikatlarga yuqorida keltirilgan misollar *predmetlarning xususiyatlarini* ifodalaydi.

Agar $P(x)$ predikat barcha $x \in M$ to’plamda chin (yolg’on) qiymat qabul qilsa, u holda u *aynan chin (aynan yolg’on)* deb aytiladi [20].

Endi *ko'p joyli predikat* tushunchasini aniqlaymiz. *Ko'p joyli predikat predmetlar orasidagi munosabatni aniqlaydi.*

Ikki joyli predikat deb $M = M_1 \times M_2$ to'plamda aniqlangan va $\{1, 0\}$ to'plamdan qiymat oluvchi ikki argumentli $P(x, y)$ funksiyaga aytiladi [14, 20].

Masalan, « x, y -talaba» uchun $P(x, y)$ predikati $M = M_1 \times M_2$ talabalar to'plamida aniqlangan bo'lsin. «Teng» munosabati ikki talaba orasidagi binar munosabatni ifodalaydi. « $x = y$ » (bu yerda $x, y \in M$) binar munosabat ikki argumentli $P(x, y)$ funksiyani ifodalaydi. Bu funksiya $M = M_1 \times M_2$ to'plamda aniqlangan va qiymatlar sohasi $\{1, 0\}$ to'plam bo'ladi.

n - joyli predikat ham xuddi shunday aniqlanadi.

Umumiy holda PMda faktlar n -joyli $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ predikatlar bilan belgilanadi. Bu yerda P -predikat (funktör) va x_i -predikatning argumentlari. Argumentlar predikatlat nomi yoki $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ funksiyalar bo'lishi mumkin. Bu yerda f -funksiya nomi, $x_1, x_2, \dots, x_n$ -xuddi predikatlar argumentlari kabi predmet soha o'zgaruvchilari yoki o'zgarmaslari hisoblanadi. Predikatni izohlash natijasida funktoirlar va argumentlar predmet sohadan (*qatorlar, sonlar, strukturalar va h.k.*) o'zgarmas qiymatlar qabul qiladi.

$(n > 1)$ -joyli predikatdan bilimlar injeneriyasida n ta mohiyatlar (obyektlar)-predikat argumentlarni bir-biri bilan o'zaro bog'laydigan n -joyli munosabatlarni tasvirlash uchun foydalaniladi.

Misol. Ota ("*Farrux*", "*Zarrux Farruxovich*") predikat "*Farrux*" va "*Zarrux Farruxovich*" mohiyatlar qarindoshlik munosabatlari bilan bog'langanligini anglatadi, chunonchi, Farrux Zarruxning otasi yoki Zarrux Farruxning o'g'li hisoblanadi.

$(n=1)$ -joyli predikat predikat nomi bilan belgilangan obyektning argumenti yoki xarakteristikasini belgilovchi mohiyat (obyekt) xususiyatini ifodalaydi.

Misol. Uy-g'ishtli, 5-baho, "Amir Temur"-ko'cha, "20 noyabr 1958 y."- tug'ilgan kun, "Sun'iy intellekt"-imtihon.

$(n=0)$ - joyli predikat (argumentlarsiz) barcha predmet sohaga taalluqli hodisa, belgi yoki xususiyatni anglatishi mumkin. Masalan, "ishning tugashi", "darsning boshlanishi", "daryoning oqishi", "soatning yurishi".

Predikatlar ustida mantiqiy amallar. Predikatlar ham mulohazalar singari faqatgina chin (1) va yolg'on (0) qiymat qabul qilganliklari tufayli

ular ustida mulohazalar mantiqidagi hamma mantiqiy amallarni bajarish mumkin.

Bir joyli predikatlar misolida mulohazalar mantiqidagi mantiqiy amallarning predikatlarga tatbiq etilishini keltiramiz.

M to'plamda $A(x)$ va $B(x)$ predikatlar aniqlangan bo'lsin. $A(x)$ va $B(x)$ predikatlar uchun mantiqiy amallar chinlik jadvali yordamida aniqlanadi (2.4 –jadval).

2.4 –jadval. Predikatlar uchun mantiqiy amallarning chinlik jadvali.

$A(x)$	$B(x)$	$\overline{A(x)}$	$\overline{B(x)}$	$A(x) \wedge B(x)$	$A(x) \vee B(x)$	$A(x) \rightarrow B(x)$	$A(x) \leftrightarrow B(x)$
1	1	0	0	1	1	1	1
1	0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	0
0	0	1	1	0	0	0	1

Misol. N natural sonlar to'plamida $A(x)$: « x - toq son» va $B(x)$: « x - 5 ga karrali» predikatlar uchun « x -toq son va x -5 ga karrali» predikatlar konyunksiyasi $A(x) \wedge B(x)$ mos keladi va uning chinlik sohasi $M_a \cap M_b = \emptyset$ - bo'sh to'plamdan iborat bo'ladi. Bu holda $A(x) \wedge B(x)$ formulaning aynan yolg'on ekanligini aniqlaymiz.

Misol. M bakalavrlar to'plamida $P(x)$: « x - bakalavr» va $Q(x)$: « x - stipendiya sovrindori» predikatlar uchun « x -bakalavr yoki x - stipendiya sovrindori» predikatlar dizyunksiyasi $A(x) \vee B(x)$ mos keladi va uning chinlik sohasi $M_a \cap M_b \neq \emptyset$ - bo'shmas to'plamdan iborat bo'ladi. Bu holda $A(x) \vee B(x)$ formulaning aynan chin ekanligini aniqlaymiz.

Umumiylik va mavjudlik kvantorlari [14, 20]. M to'plamda aniqlangan $A(x)$ predikat berilgan bo'lsin. Agar $a \in M$ ni $A(x)$ predikatning x argumenti o'rniga qo'ysak, u holda bu predikat $A(a)$ mulohazaga aylanadi.

PMda yana ikkita amal mavjudki, ular bir joyli predikatni mulohazaga aylantiradi.

Umumiylik kvantori. M to'plamda aniqlangan $A(x)$ predikat berilgan bo'lsin. Har qanday $x \in M$ uchun $A(x)$ chin va aks holda yolg'on qiymat qabul qiluvchi mulohaza ifodasini $\forall x A(x)$ shaklda yozamiz. Bu mulohaza endi x ga bog'liq bo'lmay qoladi va u quyidagicha o'qiladi: «Har qanday x uchun $A(x)$ chin». $\forall$ simvol umumiylik kvantori deb aytiladi. Aytilgan fikrlarni matematik tilda quyidagicha yozish mumkin:

$$\forall x A(x) = \begin{cases} 1, & \text{agar xamma } x \in M \text{ uchun } A(x) = 1 \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

$A(x)$ predikatda x ni erkin (ozod) o'zgaruvchi va $\forall x A(x)$ mulohazada x ni umumiylik kvantori $\forall$ bilan bog'langan o'zgaruvchi deb aytiladi.

Mavjudlik kvantori. $A(x)$ predikat M to'plamda aniqlangan bo'lsin. Hech bo'lmaganda birorta $x \in M$ uchun $A(x)$ predikat chin va aks holda yolg'on qiymat qabul qiluvchi mulohaza ifodasini $\exists x A(x)$ shaklda yozamiz. Bu mulohaza x ga bog'liq emas va uni quyidagicha o'qish mumkin: «Shunday x mavjudki, $A(x) = 1$ », ya'ni

$$\exists x A(x) = \begin{cases} 1, & \text{agar birorta } x \in M \text{ uchun } A(x) = 1 \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

$\exists$ simvol mavjudlik kvantori deb ataladi. $\exists x P(x)$ mulohazada x o'zgaruvchi $\exists$ kvantori bilan bog'langan bo'ladi.

Misol. M talabalar to'plamida $A(x)$ predikat berilgan bo'lsin: « x - stipendiya sovrindori». Kvantorlardan foydalanib ushbu predikatdan quyidagi mulohazalarni hosil qilish mumkin: $\forall x A(x)$ - «Barcha talabalar stipendiya sovrindori bo'ladi»; $\exists x A(x)$ - «Shunday talabalar mavjudki, ular stipendiya sovrindori bo'ladi». Ravshanki, birinchi mulohaza yolg'on va ikkinchi mulohaza chin bo'ladi.

Kvantorli amallar ko'p joyli predikatlarga ham qo'llaniladi. Masalan, M to'plamda ikki joyli $A(x, y)$ predikat berilgan bo'lsin. $A(x, y)$ predikatni kvantorli amallardan foydalanib quyidagi ko'rinishlarda ifodalash mumkin:

$$\forall x \forall y A(x, y), \exists x \forall y A(x, y), \forall x \exists y A(x, y), \exists x \exists y A(x, y).$$

Misol. Talabalar to'plamida aniqlangan $A(x, y)$: « x o'xshash y » predikatni quyidagi shakllarda berish mumkin:

1. $\forall x \forall y A(x, y)$ - «Har qanday x talaba har qanday y talabaga o'xshash».

2. $\exists x \forall y A(x, y)$ - «Shunday x talaba mavjudki, u har qanday y talabaga o'xshashdir».

3. $\forall x \exists y A(x, y)$ - «Har qanday x talabaga uchun shunday y talaba mavjudki, x talaba y talabaga o'xshash».

4. $\exists x \exists y A(x, y)$ - «Shunday x talaba uchun shunday y talaba mavjudki, x talaba y talabaga o'xshash».

Bu misollardan ko'rinib turibdiki, umumiy holda kvantorlar tartibi o'zgarishi bilan mulohazaning mazmuni va demak, uning mantiqiy qiymati ham o'zgaradi.

Misol. 3-joyli x, y, z qiymatlar uchun quyidagi tasdiq berilgan:

"Agar x ning otasi- y va onasi- z bo'lsa, u holda y va z – x ning ota-onasi bo'ladi;

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$A(x, y)$ - x ning otasi- y ; $B(x, z)$ - x ning onasi- z ;

$D(x, y, z)$ - y va z – x ning ota-onasi.

U holda berilgan tasdiq 3-joyli predikat

$$\forall(x, y, z)(A(x, y) \wedge B(x, z) \rightarrow D(x, y, z))$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Chekli son elementlari bo'lgan $M = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ to'plamda aniqlangan $A(x)$ predikat berilgan bo'lsin. Agar $A(x)$ predikat aynan chin bo'lsa, u vaqtda $A(a_1), A(a_2), \dots, A(a_n)$ mulohazalar ham chin bo'ladi. Bu holda $\forall x A(x)$ mulohaza va $A(a_1) \wedge A(a_2) \wedge \dots \wedge A(a_n)$ konyunksiya ham chin bo'ladi.

Agar hech bo'lmaganda birorta $a_k \in M$ element uchun $A(a_k)$ yolg'on bo'lsa, u holda $\forall x A(x)$ mulohaza va $A(a_1) \wedge A(a_2) \wedge \dots \wedge A(a_n)$ konyunksiya ham yolg'on bo'ladi.

Demak,

$$\forall x A(x) = A(a_1) \wedge A(a_2) \wedge \dots \wedge A(a_n)$$

tengkuchli ifoda to'g'ri bo'ladi.

Yuqoridagidek fikr yuritish yo'li bilan

$$\exists x A(x) = A(a_1) \vee A(a_2) \vee \dots \vee A(a_n)$$

tengkuchli ifodaning mavjudligini ko'rsatish mumkin.

Bu yerdan kvantorli amallarni cheksiz sohalarda konyunksiya va dizyunksiya amallarining umumlashmasi sifatida qarash mumkinligi kelib chiqadi.

Predikatlar mantiqi formulasining qiymati tushunchasi. Endi PM formulasining qiymati tushunchasini aniqlaylik [14, 20].

PM formulasining mantiqiy qiymati uch xil o'zgaruvchilar: 1) formulaga kiruvchi o'zgaruvchi mulohazalarning; 2) M to'plamdagi erkin predmet o'zgaruvchilarning; 3) predikat o'zgaruvchilarning qiymatlariga bog'liq bo'ladi.

Uch xil o'zgaruvchilardan har birining ma'lum qiymatlarida PMning formulasi chin yoki yolg'on qiymat qabul qiluvchi mulohazaga aylanadi.

Misol. Bemorlar to'plami M da $A(x), B(x), C(x)$ va $D(x)$ predikatlar berilgan bo'lsin:

$A(x)$: « x bemorning harorati 40^0 dan yuqori»;

$B(x)$: « x bemorning boshida og'riq bor»;

$C(x)$: « x bemorda yo'tal bor»; $D(x)$: « x bemor gripp».

Berilgan predikatlardan quyidagi mulohaza tuzish mumkin - «Agar x bemorning harorati 40^0 dan yuqori, boshida og'riq va yo'tal bor bo'lsa, u holda x bemor gripp».

Ushbu mulohazaga mos PM formulasi

$\forall x(A(x) \wedge B(x) \wedge C(x) \rightarrow D(x))$ quriladi va qiymati hisoblandi.

Predikatlar mantiqining tengkuchli formulalari. $A(x)$ va $B(x)$ - o'zgaruvchi predikatlar va C - o'zgaruvchi mulohaza bo'lsin. U holda PMda murakkab formulalarni normal shaklga keltirishda (soddalashtirishda) quyidagi asosiy tengkuchli formulalardan foydalaniladi [12,14, 20]:

- 1) $\overline{\forall x A(x)} \equiv \exists x \overline{A(x)}$; 2) $\overline{\exists x A(x)} \equiv \forall x \overline{A(x)}$; 3) $\overline{\forall x A(x)} \equiv \exists x \overline{\overline{A(x)}}$;
- 4) $\overline{\exists x A(x)} \equiv \forall x \overline{\overline{A(x)}}$; 5) $\forall x A(x) \wedge \forall x B(x) \equiv \forall x [A(x) \wedge B(x)]$;
- 6) $C \wedge \forall x B(x) \equiv \forall x [C \wedge B(x)]$; 7) $C \vee \forall x B(x) \equiv \forall x [C \vee B(x)]$;
- 8) $C \rightarrow \forall x B(x) \equiv \forall x [C \rightarrow B(x)]$; 9) $\forall x [B(x) \rightarrow C] \equiv \exists x B(x) \rightarrow C$;
- 10) $\exists x [A(x) \vee B(x)] \equiv \exists x A(x) \vee \exists x B(x)$; 11) $\exists x [C \vee B(x)] \equiv C \vee \exists x B(x)$;
- 12) $\exists x [C \wedge B(x)] \equiv C \wedge \exists x B(x)$; 13) $\exists x A(x) \wedge \exists y B(y) \equiv \exists x \exists y [A(x) \wedge B(y)]$;
- 14) $\exists x [C \rightarrow B(x)] \equiv C \rightarrow \exists x B(x)$; 15) $\exists x [B(x) \rightarrow C] \equiv \forall x B(x) \rightarrow C$;
- 16) $\forall x A(x) \equiv \forall y A(y)$; 17) $\exists x A(x) \equiv \exists y A(y)$.

Predikatlar mantiqi formulasining normal shakli. PM formulasini normal shaklida faqat inkor, konyunksiya, dizyunksiya ($\neg, \wedge, \vee$) amallari va kvantorli amallar ($\forall, \exists$) qatnashib, inkor amali elementar formulalarga (predmet o'zgaruvchilar va o'zgaruvchi predikatlarga) tegishli bo'ladi.

Ravshanki, mulohazalar algebrasi va PMdagi asosiy tengkuchliliklardan foydalanib, PMning har bir formulasini *deyarli normal shaklga* keltirish mumkin.

Misol. $(\exists x P(x) \leftrightarrow \forall y Q(y)) \rightarrow R(z)$ formulani *deyarli normal shaklga* keltiraylik.

$$\begin{aligned}
& (\exists x A(x) \leftrightarrow \forall y B(y)) \rightarrow D(z) = (\exists x A(x) \rightarrow \forall y B(y)) \wedge (\forall y B(y) \rightarrow \exists x A(x)) \rightarrow D(z) = \\
& = (\overline{\exists x A(x)} \vee \forall y B(y)) \wedge (\overline{\forall y A(y)} \vee \exists x A(x)) \rightarrow D(z) = (\overline{\exists x A(x)} \wedge \overline{\forall y A(y)} \vee \overline{\exists x A(x)} \wedge \exists x A(x) \vee \\
& \vee \forall y B(y) \wedge \overline{\forall y A(y)} \vee \forall y B(y) \wedge \exists x A(x)) \rightarrow D(z) = (\overline{\exists x A(x)} \wedge \overline{\forall y A(y)} \vee 0 \vee 0 \vee \forall y B(y) \wedge \\
& \wedge \exists x A(x)) \rightarrow D(z) = (\overline{\exists x A(x)} \wedge \overline{\forall y A(y)} \vee \forall y B(y) \wedge \exists x A(x)) \rightarrow D(z) = \\
& = (\overline{\exists x A(x)} \wedge \overline{\forall y A(y)} \vee \forall y B(y) \wedge \exists x A(x)) \vee D(z) = (\overline{\exists x A(x)} \wedge \overline{\forall y A(y)} \wedge \overline{\forall y B(y)} \wedge \exists x A(x)) \vee \\
& \vee D(z) = \overline{\exists x A(x)} \vee \overline{\forall y A(y)} \wedge \overline{\forall y B(y)} \vee \overline{\exists x A(x)} \vee D(z) = \\
& = (\exists x A(x) \vee \forall y B(y)) \wedge (\exists y \overline{B(y)} \vee \forall x \overline{A(x)}) \vee D(z).
\end{aligned}$$

Demak,

$$(\exists x A(x) \leftrightarrow \forall y B(y)) \rightarrow D(z) = (\exists x A(x) \vee \forall y B(y)) \wedge (\exists y \overline{B(y)} \vee \forall x \overline{A(x)}) \vee D(z).$$

PMning deyarli normal shakldagi formulalari orasida normal shakldagi formulalari muhim ro'l o'ynaydi.

Bu formulalarda kvantorli amallar yoki butunlay qatnashmaydi, yoki ular mulohazalar algebrasining hamma amallaridan keyin bajariladi, ya'ni normal shakldagi formula quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$(\sigma x_1) (\sigma x_2) \dots (\sigma x_n) A(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad n \leq m,$$

bunda (σx_i) simvoli o'rniga $\forall x_i$ yoki $\exists x_i$ kvantorlarning biri tushuniladi va A formula ifodasida kvantorlar bo'lmaydi.

Misol. $S \equiv \forall x \exists y A(x, y) \wedge \overline{\exists x \forall y B(x, y)}$ formulani normal shaklga keltirish talab etilsin. A formulada tengkuchli almashtirishlarni o'tkazib, uni normal shaklga keltiramiz:

$$\begin{aligned}
S & \equiv \forall x \exists y A(x, y) \wedge \overline{\forall x \exists y B(x, y)} \equiv \forall x (\exists y A(x, y) \wedge \overline{\exists z B(x, z)}) \equiv \\
& \equiv \forall x \exists y (A(x, y) \wedge \overline{\exists z B(x, z)}) \equiv \forall x \exists y \exists z (A(x, y) \wedge \overline{B(x, z)}).
\end{aligned}$$

Bajariluvchi va umumqiyimatli formulalar. Agar PMning S formulasi M to'plamdagi ba'zi o'zgaruvchilarning qiymatlarida chin qiymat qabul qilsa, u holda S formula M sohada bajariluvchi formula deyiladi [14, 20].

S formula M sohada aynan chin (yolg'n) formula deyiladi, agarda M to'plamdagi barcha o'zgaruvchining qiymatlarida chin (yolg'on) qiymat qabul qilsa. Aynan chin formulani umumqiyimatli formula yoki mantiq qonuni deb ham atashadi.

Misol. $S = \forall x [A(x) \vee \overline{P(x)}]$ formula istalgan ixtiyoriy M sohada aynan chin bo'ladi. Demak, u umumqiyimatli formula, ya'ni mantiqiy qonundir.

4-§. Birinchi tartibli predikatlar mantiqi

1- tartibli mantiqiy predikatlarning yuqori tartibli predikatlardan farqi shundaki, ularda predikatlar argumenti sifatida ifodalardan (formulalardan) foydalanish ta'qiqlanadi.

PMda masalani yechish ma'lum tasdiqlar (formulalar) yoki aksiomalardan foydalanib formulalar yoki predikatlar ko'rinishidagi maqsadli tasdiqlarni isbotlashga keltiriladi.

1960-yillarning oxirida PMda *Robinson* tomonidan "teskaridan" isbotlashga asoslangan *rezolyutsiyalar usuli* taklif qilindi. Bunga ko'ra maqsadli tasdiq aksiga qarama-qarshisiga (teskarisiga) aylantiriladi va aksiomalar to'plamiga qo'shiladi, ushbu yo'l bilan hosil qilingan tasdiqlar to'plamining birgalikdamosligi (qarama-qarshi ekanligi) isbotlanadi. Rezolyutsiyalar usuli bilan isbotlashni bajarish uchun tasdiqlar to'plami ustuda ba'zi almashtirishlarni bajarish talab etiladi, xususan, ular takomil konyunktiv normal shaklga (TKNSH) keltiriladi.

Formulalarni EHMda yengil ifodalanadigan TKNSH ga keltirish quyidagi bosqichlardan iborat [12]:

1. Implikatsiyalar qatnashgan formulalarni inkor va dizyunksiy qatnashadigan formulalarga hamda kvantorli formulalar ustida kelgan inkorlardan kvantor amallarini ozod qilish tengkuchliliklari yordamida almashtirishlar amalga oshiriladi:

$$1) x \rightarrow y = \bar{x} \vee y; \quad 2) \overline{x \wedge y} = \bar{x} \vee \bar{y}; \quad 3) \overline{x \vee y} = \bar{x} \wedge \bar{y};$$

$$4) \overline{\forall x A(x)} \equiv \exists x \overline{A(x)}; \quad 5) \overline{\exists x A(x)} \equiv \forall x \overline{A(x)}.$$

2. O'zgaruvchilarni standartlashtirish yoki o'zgaruvchilarni ajratish amalga oshiriladi:

$$6) ((\forall x A(x)) \vee B) \equiv (\forall y (A(y) \vee B));$$

$$7) ((\exists x A(x)) \vee B) \equiv (\exists y (A(y) \vee B));$$

$$8) ((\forall x A(x)) \wedge B) \equiv (\forall y (A(y) \wedge B));$$

$$9) ((\exists x A(x)) \wedge B) \equiv (\exists y (A(y) \wedge B)).$$

Bu yerda y o'zgaruvchi B formulaga taalluqli emas deb qaraladi.

$$10) ((\forall x A(x)) \vee (\forall x B(x))) \equiv (\forall x \forall y (A(x) \vee B(y))),$$

bu yerda y o'zgaruvchi A(x) va B(x) formulalarga taalluqli emas,

$$11) (\exists x A(x)) \vee (\exists x B(x)) \equiv (\exists x (A(x) \vee B(x)));$$

$$12) (\forall x A(x)) \wedge (\forall x B(x)) \equiv (\forall x (A(x) \wedge B(x)));$$

$$13) ((\exists x A(x)) \wedge (\exists x B(x))) \equiv (\exists x \exists y (A(x) \wedge B(y))).$$

bu yerda y o'zgaruvchi A(x) va B(x) formulalarga taalluqli emas.

Bu bosqichda har bir formulada bog'liq o'zgaruvchilar shunday qayta nomlanadiki, kvantorlar bilan bog'langan o'zgaruvchilar har bir kvantor uchun yagona o'zgaruvchilarga aylanadi. Bu shunday fakt asosida amalga oshiriladiki, bunda bog'liq o'zgaruvchilar kvantor doirasida formulaning chinligini o'zgartimaydigan va formulada qatnashmagan boshqa o'zgaruvchiga almashtiriladi.

Masalan, $(\forall x) (A(x) \vee B(y)) \wedge (\forall x)(F(x))$ ifoda

$(\forall x) (A(x) \vee B(y)) \wedge (\forall z)(F(z))$ ifodaga almashtiriladi.

3. *Mavjudlik kvantorlarini yo'qotish.* Bu bosqichda mavjudlik kvantorlari $g(x)$ deb ataladigan *Skolema funksiyasi* yoki argumentli predkatlarni o'tkazish (hisoblash), ya'ni o'zgaruvchi-argumentning aniqlanish sohasidagi o'zgarmaslar bilan almashtiriladi.

6-10 tengkuchliliklar PMning ixtiyoriy formulasini quyidagi ko'rinishga almashtiradi:

$$(Q_1 x_1) (Q_2 x_2) \dots (Q_n x_n) F(1, x_2, \dots, x_n),$$

bu yerda ixtiyoriy Q_i - bu umumiylik kvantori yoki mavjudlik kvantori, $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – kvantorlarni saqlamovchi formula. Bunday ko'rinishdagi formulaga *skolemli o'zgarmaslarni va funksiyalarni* kiritish bilan barcha mavjudlik kvantorlarini yo'qotish mumkin. Buning uchun PMning quyidagi qonunlaridan foydalanish mumkin:

$$14) (\forall x)(Q_1 y_1) \dots (Q_m y_m) F(y_1, y_2, \dots, y_m) \equiv \\ \equiv (Q_1 y_1) \dots (Q_m y_m) F(a, y_1, \dots, y_m),$$

bu yerda $Q_1, \dots, Q_m$ - ixtiyoriy kvantorlar, a - o'zgarmas simvol formulaning boshida turgan $(\forall x)$ ifodasiga mos keluvchi shunday o'zgarmaslar sifatida alfavitga kiritiladi va a - o'zgarmas simvol *skolemli o'zgarmas deb ataladi*.

$$15) (\forall x_1)(\forall x_2) \dots (\forall x_k)(\exists y)(Q_1 z_1) \dots (Q_m z_m) \\ F(x_1, x_2, \dots, x_k, y, z_1, \dots, z_m) \equiv (\forall x_1)(\forall x_2) \dots (\forall x_k)(Q_1 z_1) \dots (Q_m z_m) \\ F(x_1, x_2, \dots, x_k, f(x_1, x_2, \dots, x_k), z_1, \dots, z_m),$$

bu yerda $Q_1, \dots, Q_m$ - ixtiyoriy kvantorlar, k -joyli *funksionalli simvol* f formulaning boshida turgan $(\forall x_1)(\forall x_2) \dots (\forall x_k)(\exists y)$ ifodasiga mos keluvchi shunday funksiya sifatida alfavitga kiritiladi va $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ - funksiya *skolemli fuksiya deb ataladi*.

$$16) \exists x A(x) \equiv A(a), \text{ bu yerda } a - \text{skolemli o'zgarmas.}$$

Almashtirishlarga ***misollar:***

Boshlang'ich formula

Natijaviy formula

$$(\forall x) y$$

$$g(x)$$

$$(\forall x)(\forall y) z$$

$$g(x, y)$$

$$(\exists x)(F(x)) \qquad F(a), F(b)$$

bu yerda a va b – o'zgaruvchilar. Skolema funksiyasi mavjudlik kvantori bilan bog'langan o'zgaruvchilarning aniqlanish sohasini boshqa o'zgaruvchilarning aniqlanish sohasiga akslantirishni amalga oshiradi.

4. Umumiylik kvantorlarini formulaning boshiga chiqarish.

6-16 qonunlar skolemli shakldagi ixtiyoriy PM formulalarini almashtirishni ta'minlaydi. Quyidagi ko'rinshdagi formula shunday ataladi.

$$\forall x_1, \forall x_2, \dots, \forall x_n, A.$$

Bu yerda A formula o'zida umuman kvantorlarni saqlamaydi, faqat o'zgaruvchilar, o'zgaruvchilar, skolema o'zgaruvchilari va funksiyalarni saqlaydi. A formula KNF dan iborat $\forall x_1, \forall x_2, \dots, \forall x_n, A$ skolema shakli kauzal shakl deyiladi. Kauzal shakl quyidagi umumiy ko'rinishga ega:

$$\forall x_1, \forall x_2, \dots, \forall x_n (D_1 \wedge D_2 \wedge \dots \wedge D_m).$$

Bu yerda $D_1, D_2, \dots, D_m$ - diyunktlarni klauzalar yoki gaplar deb atashadi.

5. Umumiylik kvantorlarini yo'qotish. Agar formulada biror x o'zgaruvchi bo'lsa, u holda uning aniqlanish sohasidagi barcha qiymatlarida formulalar o'rinli degan nuqtai-nazaridan kvantorlarni olib tahlash orqali amalga oshiriladi.

6. Distributivlik qonunidan foydalanib formulani TKNSH ko'rinishga keltirish

$$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C).$$

7. $\wedge$ -simvolni yo'qotish. Bu $(A \wedge B)$ ko'rinishdagi formulani $\{A, B\}$ formulalar to'plamiga almashtirish hisobiga amalga oshiriladi.

Misol. Aytaylik formulani TKNSH ko'rinishga keltirish kerak [60]:

$$(\forall x) \{ A(x) \rightarrow \{ (\forall y) [A(y) \rightarrow A(f(x, y))] \wedge (\forall y) [B(x, y) \rightarrow A(y)] \} \}.$$

Implikatsiyalarni $\vee$ va " – " amallari orqali ifodala, quyidaginin hosil qilamiz

$$(\forall x) \{ \overline{A(x)} \vee \{ (\forall y) [\overline{A(y)} \vee A(f(x, y))] \wedge (\forall y) [\overline{B(x, y)} \vee A(y)] \} \}$$

Inkorni ichkariga siljitib, quyidaginin hosil qilamiz

$$(\forall x) \{ (\overline{A(x)}) \vee \{ (\forall y) [\overline{A(y)} \vee A(f(x, y))] \wedge (\exists y) [B(x, y) \wedge \overline{A(y)}] \} \}$$

O'zgaruvchilarni almashtirib, quyidaginin hosil qilamiz

$$(\forall x) \{ (\overline{A(x)}) \vee \{ (\forall y) [\overline{A(y)} \vee A(f(x, y))] \wedge (\exists z) [Q(x, z) \wedge \overline{P(z)}] \} \}$$

z o'zgaruvchi $g(x)$ Skolemli funksiyaga almashtirib, mavjudlik kvantorini yo'qotib, quyidaginin hosil qilamiz

$$(\forall x) \{ (\overline{A(x)}) \vee \{ (\forall y) [\overline{A(y)} \vee A(f(x, y))] \wedge [B(x, g(x)) \wedge \overline{A(g(x))}] \} \}$$

Umumiylik kvantorini formula boshiga chiqarib, quyidagini hosil qilamiz: $(\forall x)(\forall y)\{(\overline{A(x)} \vee [\overline{A(y)} \vee A(f(x, y))] \wedge [B(x, g(x)) \wedge \overline{A(g(x))}])\}$

Distributivlik qonunini qo'llab, quyidagini hosil qilamiz:

$$(\forall x)(\forall y)\{[\overline{A(x)} \vee \overline{A(y)} \vee A(f(x, y))] \wedge [\overline{A(x)} \vee B(x, g(x))] \wedge [\overline{A(x)} \vee \overline{A(g(x))}]\}$$

Umumiylik kvantorlarini yo'qotib va konyunksiy formulasini ularning to'plamari bilan almashtirib, quyidagi formulalar (gaplar) to'plamini hosil qilamiz:

$$K_1 : \overline{A(x)} \vee \overline{A(y)} \vee A(f(x, y));$$

$$K_2 : \overline{A(x)} \vee B(x, g(x));$$

$$K_3 : \overline{A(x)} \vee \overline{A(g(x))}.$$

1-tartibli PM formulalarini programmashtirishda eng keng tarqalgani Prolog tili hisoblanadi.

1-tartibli PM bilimlarni tasvirlash usuli sifatida quyidagi kamchiliklarga ega:

- mantiqiy xulosalashning monotonligi, ya'ni olingan oraliq ma'lumotlar natijalarini qayta ko'rish imkoniyati yo'qligi (ular gipotezalar emas, balki faktlar sifatida qaraladi);
- predikatlarning parametrlari sifatida boshqa predikatlarni qo'llash mumkin emasligi, ya'ni bilimlar haqidagi bilimlarni (metabilimlarni) ifodalashning mumkin emasligi;
- mantiqiy xulosalashning determinallashtirilganligi, ya'ni noravshan bilimlar bilan ishlash imkoniyatining yo'qligi.

5-§. Sun'iy intellektda mantiqiy xulosalashlar

5.1. Deduktiv mantiqiy xulosalash

Deduktiv xulosalash masalalarini formallashtirish. Aytaylik masala predikatlar hisobi tilida tavsiflangan bo'lsin. Agar F_0 orqali boshlang'ich tasdiqlarni, F_g orqli maqsadli tasdiqlarni belgilasak, u holda teoremlar shaklida berilgan masalani formal ko'rinishda quyidagich yozish mumkin [16]:

$$F_0 \rightarrow F_g$$

Boshqacha so'z bilan aytganda, F_0 to'plamdan mantiqiy ravishda F_g formula kelib chiqishini isbotlash zarur. F_g formula F_0 to'plamdan mantiqiy ravishda kelib chiqadi, agarda F_0 to'plamni qanoqlantiruvchi har bir izohlash F_g formulani ham qanoqlantirsa. Agarda F_0 to'plam

$F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_n \rightarrow F_g$ formula bilan tasvirlangan bo'lsa, u holda predikatlar hisobining deduktiv xulosalash masalasi formulalarning umumqiymatliligini aniqlashga keltiriladi:

$$F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_n \rightarrow F_g$$

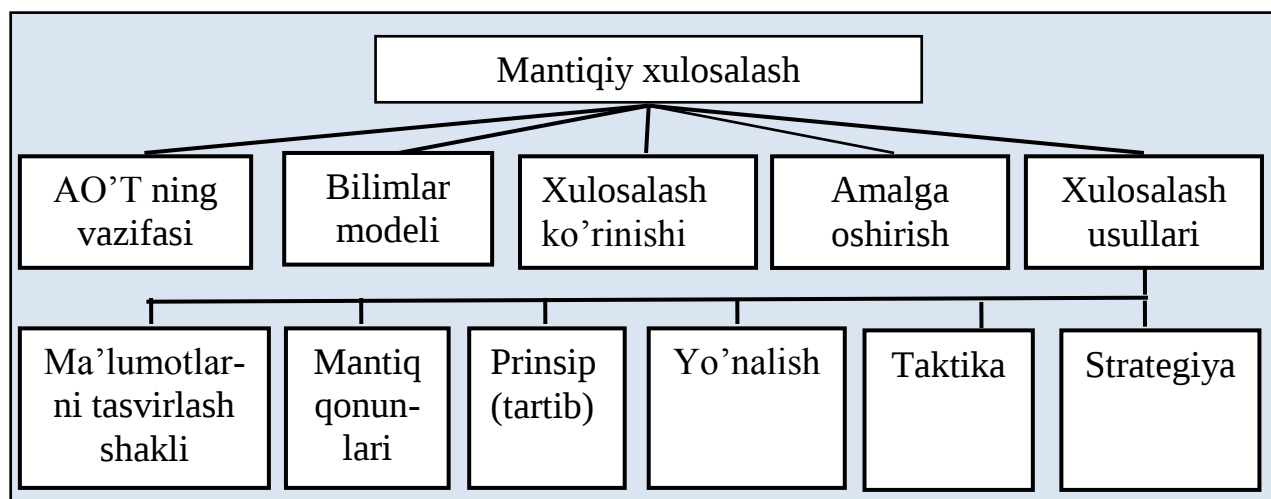
Xulosalash jarayonida ko'p hollarda teskaridan isbotlash usulidan foydalaniladi, ya'ni yuqorida keltirilgan formulaning umumqiymatliligi emas, balki formulaning bajariluvchi emasligi aniqlanadi:

$$\neg(F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_n \rightarrow F_g) \text{ yoki } F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_n \wedge \neg F_g$$

Boshqacha so'z bilan aytganda, birlashmaning bajarilmasligi isborlanadi. Ba'zi formulalar to'plamining bajarilmasligini aniqlash rad etish deyiladi.

SITlarining mahsuliy masalalarini yechishda deduktiv xulosalashning asosan ikkita: *teskari va to'g'ri xuloslash* usullari mavjud (bu xulosalashlar ma'ruzaning mahsuliy modellar mavzusida to'liq keltirilgan).

Hozirgi vaqtgacha SITlari sohasida ko'plab mantiqiy xulosalash tizimlari ma'lum [12,16,19]. Ularning barchasi bir-biridan foydalaniladigan modellari, mantiqiy xulosalash ko'rinishlari, ifodalanish uslublari, mantiqiy xulosalash usullari bilan farq qiladi (2.3-rasm)



2.3-rasm. Mantiqiy xulosalash tizimlarining xarakteristikasi.

Bu yerda AO'T-axboritli-o'lchovli tizim.

Fikrlash va deduktiv xulosalash prinsipi. Sining ajralmas qismlaridan biri-bu gipotezalar generatori, teoremlarni isbotlash va hisoblagichlardan tashkil topgan fikrlaydigan intellektual tizimlar hisoblanadi.

Fikrlash deganda – qandaydir tasdiqlarni qabul qilishga olib keladigan (majbur qiladigan) argument(fakt)lar ketma-ketligi tushuniladi.

Deduksiya—bu fikrlashning yuqori darajadagi ideallashtirilgan va chegaralangan shakli hisoblanadi. Agar biz inson fikrlashining ba’zi aspektlarini (axborotlarning to’griligi, noaniqligi, qarama-qarshiligi va h.k) modellashtirmoqchi bo’lsak, u holda *deduksiya* aniq yetarli bo’lmaydi va bu holda fikrlashning boshqa shakllaridan, ya’ni *abduksiya* va *induksiya*dan foydalanish mumkin.

Deduksiya (inglizchadan *deducere* - chiqarmoq)-zamonaviy mantiq termini bo’lib, mantiqiy qonunlar asosida biror mazmunni boshqasidan chiqarishni bildiradi.

Deduksiya tushunchasi *Aristotel* ishlarida ham uchraydi [12,16,19]. *Fikrlar to’plamidan aqlli xulosalarni olishni ta’minlovchi qoidalar to’plamini Aristotel sillogizm deb atagan.*

Ushbu holatda fikr deganda-tabiiy tilda to’rtta shakldan biri bilan ifodalanadigan tugallangan mulohaza tushuniladi:

- 1) barcha x lar uchun A bajariladi - $(\forall x)A(x)$;
- 2) birorta x lar uchun A bajarilmaydi - $(\forall x)\overline{P(x)}$;
- 3) ba’zi x lar uchun A bajariladi - $(\exists x)A(x)$;
- 4) ba’zi x lar uchun A bajarilmaydi - $(\exists x)\overline{P(x)}$.

*Aristotel*ning davomchilari *sillogizmga* asoslanib, fikrlashga nisbatan yoqori pog’onadagi abstraktsiyada turgan mulohazalar uchun deduktiv xulosalash prinsipini formallashtirdilar. Ushbu xulosalash qoidalaridan eng mashhurlari quyidagilar hisoblanadi [12,16,19].

1. *Modus Ponendo Ponens*: «Agar implikatsiya $x \rightarrow y$ va x chin bo’lsa, u holda y chin bo’ladi»:

$$\frac{x \rightarrow y, x}{y}$$

2. *Modus Tollendo Tollens*: «Agar implikatsiya $x \rightarrow y$ va y yolg’on bo’lsa, u holda x yolg’on bo’ladi»:

$$\frac{x \rightarrow y, \overline{y}}{\overline{x}}$$

3. *Modus Ponendo Tollens*: «Agar x chin va konyunksiya $x \wedge y$ yo’g’on natijaga ega bo’lsa, u holda y yolg’on bo’ladi»:

$$\frac{x \wedge y, \overline{x}}{\overline{y}}$$

4. *Modus Tollendo Ponens*: «Agar x yolg’on va dizyunksiya $x \vee y$ chin bo’lsa, u holda y chin bo’ladi»:

$$\frac{x \vee y, \overline{x}}{y}$$

Bu qoidalar yordamida mulohazalar hisobi tizimida xulosalash uchun juda qulay bo'lgan «zanjirli xulosa» qoidasi formallashtirildi.

Zanjirli xulosa: «Agar implikatsiya $x \rightarrow y$ chin va implkatsiya $y \rightarrow z$ chin bo'lsa, u holda implikatsiya $x \rightarrow z$ chin bo'ladi».

Misol. Ushbu qoidalardan foydalanib xulosalashga misollarni qaraymiz. Aytaylik quyidagi mulohazalar (faktlar) berilgan.

1) $x \rightarrow y$. x -Agar issiqlik-energiya resurslarga jahon bozrida narxlar oshsa, y - u holda byudjetga keladigan daromad o'sadi.

2) $(z \vee y) \rightarrow (z \vee t)$. R -Agar ishlab chiqarishning o'sishi kuzatilsa yoki y -daromad o'ssa $(z \vee y)$, u holda z - ishlab chiqarishning o'sishiga yoki t -so'mning qiymatini mustahkamlanishiga $(z \vee t)$ olib keladi.

3) $(x \rightarrow y) \rightarrow ((x \vee y) \rightarrow (z \vee y))$. x -Agar issiqlik-energiya resurslarga jahon bozorida narxlar oshsa, y - u holda daromad o'sadi $(x \rightarrow y)$, bundan x - mahsulotlarning (issiqlik-energiya resurslarining) narxi yoki y - byudjetga keladigan daromadning o'sishidan $(x \vee y)$, z - ishlab chiqarishning ulushi yoki y -daromadning o'sishi $(z \vee y)$ kelib chiqadi.

Modus Ponendo Ponens xulosalash qoidasidan foydalanib 1) va 3) mulohazalardan quyidagi xulosalarni hosil qilamiz.

4) $(x \vee y) \rightarrow (z \vee y)$. Agar x - mahsulotlarning (issiqlik-energiya resurslarining) narxi yoki y - byudjetga keladigan daromad o'ssa $(x \vee yQ)$, u holda z - ishlab chiqarish o'sadi yoki y -daromad o'sadi $(z \vee y)$.

4) va 2) mulohazalardan *zanjirli xulosa* yordamida 5) mulohazani hosil qilish mumkin.

5) $(x \vee y) \rightarrow (z \vee t)$. Agar x - mahsulotlarning (issiqlik-energiya resurslarining) narxi yoki y - byudjetga keladigan daromad o'ssa $(x \vee y)$, u holda z - ishlab chiqarish o'sadi yoki t - so'mning qiymati mustahkamlanadi $(z \vee t)$.

Bilimlar haqida fikrlash. Sining expertiza sohasiga tegishli ko'plab tizimlarida bilimlar *faktlar* va *qoidalarga* bo'linadi. *Faktlar* – bu expertiza sohasiga tegishli ma'lumotlardir. Masalan, qandaydir universitet xodimlari haqidagi ma'lumotlar faktlar to'plamini tashkil etadi.

Fakt 1: Jumanov – dasturlash kafedrası professori, Prof (info, Jumanov 1)

Fakt 2: Maftuna – informatika fakul'teti talabasi, Tal (info, Maftuna 4).

Qoida –bu implikatsiyalar (yoki unga ekvivalent mantiqiy shakllar) bilan berilgan ma'lumotlar. Ular expertiza sohasiga tegishli umumlashtiruvchi bilimlarni o'zida aks ettiradi.

Qoida 1. Agar y - x kafedraning professori va w – z fakul'tetning talabasi ($x \neq z$), u holda w uchun y tashqi imtihon oluvchi bo'lishi mumkin,

$$Prof(x; y) \wedge Tal(z; w) \wedge Teng(x; z) \rightarrow Imt(y; w).$$

Rezolyutsiya prinsipi sun'iy intellekt tizimlarida quyidagi amaliy masalalarni yechishda qo'llaniladi: axborotli qidiruv, robotning siljishini rejalashtirish, dasturlarni avtomatik yozish, mantiqiy dasturlash (Prolog), ETlar va h.k.

Shunday qilib, boshlang'ich formulalarga mantiqiy xulosalash qoidalarini qo'llab yangi mantiqiy formulalarni hosil qilamiz.

Demak, *deduksiya*–bu ilmiy fiklash (tushunchalarni bo'laklash (tahlil) va aniqlash, qonunlarni isbotlash) jarayonlar majmui, ya'ni ayniyat qonunlari asosida mantiqiy zaruriylik bilan ishonchli mulohahalardam shunday ishonchli xulosalarni keltirib chiqarish, bu yerda xususiylik umumiylik asosida jamlanadi.

5.2. Abduktivli va induktivli mantiqiy xulosalashlar

Abduktiv xulosalash. *Abduksiya* – bu tushuntiruvchi gipotezalarni shakllantirish jarayoni. Aniqrog'i, taklif qilingan tushuntirishlar uchun berilgan nazariyalar va kuzatuvlar asosida abduktiv xulosalash tushuntirishlar orasidan bitta yoki ko'proq eng yaxshi tushuntirishlarni aniqlashi lozim.

Abduktiv xulosalash kuzatilayotgan hodisa va faktorlarni tushuntirish yoki sababini aniqlash uchun qo'llaniladi.

Abduktiv xulosalash quyidagi sxema boyicha tasvirlanadi: qoida va natijalar berilgan bo'ladi, *xususiy holat-sababni* aniqlash talab etiladi.

Sida abduktiv xulosalash deganda eng yaxshi abduktiv tushuntirish tushuniladi.

Misol. Quyidagi qoida mavjud: «*Ushbu qutidagi barcha mevalar olmalar*»; Kuzatish natijasi quyidagicha: «*Bu mevalar olmalar*»; U holda abduksiya bo'yicha quyidagi xulosaga kelinadi: «*Bu olmalar ushbu qutidan olingan*» (sabab-tushuntirish);

Ko'p hollarda abduktiv xulosalashdan kuzatilayotgan tizimlarning noto'g'ri harakatlarini tashxislashda foydalaniladi. SITlarining amaliy sohalarida abdultiv xulosalash *tabiiy tilni tushunish, rejalashtirish, rejani anglab olish hamda bilimlarni to'plash va o'zlashtirish* kabi masalalarni

yechishda qo'llaniladi [16,19]. Shuningdek, abduktiv xulosalash fanda va kunlik hayotimizda korxonaning xo'jalik faoliyatini tahlil qilish, kosmik nurlanishlarni o'rganish kabi masalalarni yechishda ham keng qo'llaniladi.

Induktiv xulosalash. SIDA abduktiv va deduktiv xulosalashdan tashqari xulosalashning induktiv sxemalaridan ham foydalaniladi. Xulosalashning bunday sxemalari mavjud xususiy tasdiqlarning umumlashmasini hosil qilishga imkoniyat yaratadi. Umumlashtirish qobiliyati tabiiy intellektning muhim funksiyasi hisoblanadi va ulardan yangi bilimlarni hosil qilishda foydalaniladi. Shuning uchun xulosalashning induktiv sxemasi SIning o'rganuvchi tizimostilari elementi hisoblanadi. Chunki, o'rganish jarayonida mavjud faktlar majmuidan umumlashtirish yo'li bilan yangi tushunchalar va faktlar shakllantiriladi. Xulosalashning induktiv sxemalari bilimlarni hosil qilish jarayonini avtomatlashtirishda keng qo'llaniladi.

Induktiv xulosalashning umumiy muammosi—bu «tabiatning ba'zi bir muntazamligini ifodalovchi faktlardan qonunlarga o'tganda biz nimaga asoslanamiz» degan prinsipni tushuntirishdan iborat.

Misol. Berilgan: x ; y . Topish kerak: R .

x : Axmedov -abituriient;

y : Axmedov – xujjat topshirishga haqli;

R : Barcha abituriientlar xujjat topshirishga haqli.

Nazorat savollari

1. Mulohaza deganda nimani tushunasiz?
2. Mulohazalar ustida qanday mantiqiy amallar bajariladi?
3. Mulohazalar mantiqining qanday tengkuchli formulalarini bilasiz?
4. Mulohazalar mantiqi formulasini normal shaklga keltirishning qanday algoritmlari mavjud?
5. Tautologiya nima?
6. Subyekt va predikat tushunchalarini izohlang?
7. Bir joyli, ikki joyli va ko'p joyli predikatlarning ta'riflarini keltiring?
8. Predikatlar ustida qanday mantiqiy amallar bajariladi?
9. Umumiylik va mavjudlik kvantorlari amallarini tushuntiring?
10. PMning qanday tengkuchli formulalarini bilasiz?
11. PM formulasini normal shaklga keltirishning qanday algorimlarini bilasiz?
12. Deduktiv xulosalash masalalari qanday formallashtiriladi?
13. «Zanjirli xulosa» qoidasi qanday formallashtirildi?

14. Deduktivli, induktivli va abduktivli mantiqiy xulosalashlarni izohlang?

Nazorat testlari

1. $(A \wedge (A \rightarrow B) \rightarrow B) \vee \bar{A} \vee \bar{1}$ mantiqiy ifodaning qiymatini chinlik jadvali yordamida toping?

a) aynan chin; b) aynan yolg'on; c) bajariluvchi; e) aynan chinmas.

2. Agar $A \rightarrow B$ va A chin bo'lsa, u holda B mulohaza qanday qiymat qabul qilishi mumkin?

a) B - chin; b) B - yolg'on; c) B - chin yoki yolg'on;

e) Aniqlash mumkin emas.

3. $U = (x \rightarrow y) \rightarrow z$ formulaga tengkuchli formulani hosil qiling?

a) $x \wedge \bar{y} \vee z$; b) Aynan yolg'on formula; c) Aynan chin formula;

e) $(x \leftrightarrow y) \rightarrow z$.

4. Fikrning hususiylikdan umumiylikga, qator faktorlardan qonunga harakat jarayoni-bu.....

a) induksiya; b) tahlil; c) sintez; e) deduktsiy.

5. Fikrning umumiylikdan hususiylikga, qonundan alohidalikning namoyon bo'lishiga harakat jarayoni-bu.....

a) deduktsiy; b) tahlil; c) sintez; e) abstraktlashtirish.

6. Har qanday $x \in M$ uchun $P(x)$ chin va aks holda yolg'on qiymat qabul qiluvchi mulohaza ifodasi to'g'ri yozilgan javobni ko'rsating?

a) $\forall x P(x)$; b) $\exists x P(x)$; c) $\forall P(x)$; e) $\exists P(x)$.

7. N mevalar to'plamida $P(x)$, $Q(x)$ va $R(x)$ predikatlar berilgan bo'lsin: « x -olma», $P(x)$: « x -olma pishgan», $Q(x)$: « x -olma qizil», $R(x)$: « x -olma shirin»;

Ushbu predikatlardan foydalanib $\exists x(P(x) \wedge Q(x) \rightarrow R(x))$ formulaning qiymatini aniqlang?

a) $\exists x(P(x) \wedge Q(x) \rightarrow R(x)) = 1$; b) $\exists x(P(x) \wedge Q(x) \rightarrow R(x)) = 0$;

c) $\exists x(P(x) \wedge Q(x) \rightarrow R(x)) = 1,5$; e) $\exists x(P(x) \wedge Q(x) \rightarrow R(x)) = \bar{1}$;

8. Ixtiyoriy M sohada chin formulani ko'rsating?

a) $\forall x[P(x) \vee \bar{P(x)}]$; b) $\forall x[P(x) \vee 0]$; c) $\forall x [P(x) \wedge \bar{P(x)}]$; e) $\forall x[P(x) \wedge 0]$;

9. Predmet sohadagi barcha x, y, z qiymatlar uchun "Agar x ning tog'asi- y va akasi- z bo'lsa, u holda y va z - x ning qarindoshlari bo'ladi" tasdiqning ifodasini to'g'ri ko'rsating?

a) $\forall(x, y, z) (tog'asi(x, y) \wedge (akasi(x, z))) \rightarrow qarindoshi(x, y, z)$;

- b) $\exists(x, y, z) (\text{tog'asi}(x, y)) \wedge (\text{akasi}(x, z)) \rightarrow \text{qarindoshi}(x, y, z);$
 c) $\forall(x, y, z) (\text{tog'asi}(x, y)) \vee (\text{akasi}(x, z)) \rightarrow \text{qarindoshi}(x, y, z);$
 e) $\exists(x, y, z) (\text{tog'asi}(x, y)) \vee (\text{akasi}(x, z)) \rightarrow \text{qarindoshi}(x, y, z).$

10. Quyidagi qoida mavjud: «Ushbu auditoriyadagi barcha talabalar bakalavriatlar»; Kuzatish natijasi quyidagicha: «Bu talabalar bakalavriatlar»; U holda abduksiya bo'yicha keltirrilgan to'g'ri xulosani toping?

- a) «Bu bakalavriatlar ushbu auditoriyadan chiqqan»;
 b) «Bu bakalavriatlar ushbu auditoriyadan chiqmaqan»;
 c) «Bu talabalar ushbu auditoriyadan chiqqan»;
 e) «Bu talabalar ushbu auditoriyadan chiqmaqan».

11. Berilgan: $x; y$.

x : Fariza -talaba;

y : Fariza – a'lo baho olishga haqli;

Induktiv xulosalash to'g'ri ko'rsatilgan javobni toping?

- a) Barcha talabalar a'lo baho olishga haqli;
 b) Barcha talabalar a'lo baho olishga haqli emas;
 c) Barcha a'lo bahoga o'qiydiganlar-talaba;
 e) A'lo bahoga o'qiydiganlarning barchasi-talaba.

Masala va topshiriqlar

1. Quyidagilarning qaysi birlari tautologiya ekanligini isbotlang:

- 1) $A = x \vee z \rightarrow x \wedge z$; 2) $A = (\bar{x} \vee y) \rightarrow (\bar{y} \rightarrow \bar{x})$; 3) $A = p_1 \rightarrow (\bar{p}_2 \vee p_1)$;
 4) $A = p \vee (p_1 \rightarrow p_2)$; 4) $A = ((p \wedge q) \leftrightarrow q) \leftrightarrow (\bar{q} \vee p)$;
 5) $A = ((p \rightarrow q) \wedge (\bar{q} \vee r)) \rightarrow (p \rightarrow r)$;
 6) $A = (x \rightarrow y) \wedge (x \rightarrow \bar{y}) \vee \bar{x}$; 7) $A = x \wedge (\bar{x} \vee y) \wedge (x \rightarrow \bar{y})$;
 8) $A = x \vee \bar{x} \vee y \wedge \bar{y}$; 9) $A = (\bar{x} \vee (y \rightarrow z)) \rightarrow (\bar{x} \rightarrow \bar{y} \vee (x \rightarrow z))$;
 10) $A = (z \rightarrow x) \rightarrow ((\bar{z} \vee y) \rightarrow (\bar{z} \vee x \wedge y))$;

2. Quyidagi mantiqiy formulalarni DNSH va KNSH ko'rinishga keltiring.

- 1) $((a \rightarrow b) \wedge (a \rightarrow c)) \leftrightarrow (b \rightarrow c)$; 2) $(x \leftrightarrow z) \rightarrow ((y \leftrightarrow z) \rightarrow (x \vee y \rightarrow z))$;
 3) $(x_1 \rightarrow x_2) \wedge (x_1 \vee x_3 \rightarrow x_3 \wedge x_2)$;
 4) $(x_1 \rightarrow x_2) \leftrightarrow (x_1 \wedge x_2 \rightarrow x_2 \wedge x_1)$;
 5) $((a \leftrightarrow b) \wedge (b \rightarrow c)) \rightarrow (a \leftrightarrow c)$; 6) $(x \rightarrow y) \wedge (y \leftrightarrow z) \vee (z \rightarrow x)$;

$$7) (x \vee \bar{y} \rightarrow (z \vee \bar{z} \rightarrow y \vee \bar{y} \vee x)) \wedge (x \vee x \rightarrow (x \leftrightarrow x)) \rightarrow y;$$

$$8) \overline{x \vee \bar{x} \vee y} \rightarrow x \wedge \bar{y} \wedge y;$$

$$9) \bar{x}_1 \leftrightarrow (x_1 \rightarrow x_2); 10) \overline{x_1 \leftrightarrow (x_2 \rightarrow x_1)}.$$

3. Quyidagi mantiqiy mulohazalar uchun mantiqiy formulalarni quring.

1) Agar dvigatelning quvvati oshirilmasa, u holda ishonchlilik oshmaydi yoki texnik jihatdan o'zgarmaydi.

2) Agar dvigatelning quvvati oshirilsa, u holda ishonchlilik oshadi yoki texnik jihatdan o'zgaradi.

3) Voyaga yetgan shaxslarning mehnatga layokatsiz va moddiy yordamga muxtoj bulgan ota-onani yoki ularning o'rnini bosuvchi shaxslarni moddiy ta'minlashdan bo'yin tovlasa, u holda eng kam oylik ish haqining ellik baravarigacha miqdorda jarima bilan jazolanadi.

4) Davlat muxofazasiga olingan tarix yoki madaniyat yodgorliklarini qasddan nobud qilish, buzish yoki ularga shikast yetkazilsa, u holda eng kam oylik ish haqining o'n baravarigacha miqdorda jarima bilan jazolanadi.

4. Agar $A = \langle \text{Axmad} - \text{abituriyent} \rangle$ va $V = \langle \text{Axmad hujjat topshirishga haqli} \rangle$. $\langle \text{Ixtiyoriy abituriyent hujjat topshirishga haqli} \rangle$ mulohazaga mos mantiqiy formulani quring.

5. Aytaylik quyidagi atributlar mavjud:

Rang: $X1 = \{\text{sariq}=0, \text{ko'k}=1, \text{yashil}=2, \text{qizil}=3\};$

Shakl: $X2 = \{0=\text{aylana}, 1=\text{kvadrat}, 2=\text{to'rtburchak}\};$

O'lchov: $X3 = \{0=\text{kichchik}, 1=\text{katta}\};$

Vazn: $X4 = \{0=\text{yengil}, 1=\text{og'ir}\};$

Yemoqqa mo'ljallanganlik darajasi: $X5 = \{0=\text{yemoqqa mo'ljallangan}, 1=\text{yemoqqa mo'ljallanmagan}\};$

-Berilgan sinflar:

$a1=\text{olma}; a2=\text{to'p}; a3=\text{ko'taradigan tosh}; a4=\text{banan};$

- Berilgan qoidalar:

1) $(X2=0) \wedge (X5=0) \rightarrow a1;$ 2) $(X2=0) \wedge (X4=1) \rightarrow a3;$ 3) $(X2=0) \rightarrow a2;$

4) $(X1=0) \wedge (X2=2) \wedge (X5=0) \rightarrow a4;$

5) $(X2=0) \wedge (X5=0) \vee (X2=1) \wedge (X2=2) \rightarrow a1;$

6) $(X1=3) \wedge (X4=0) \vee (X2=0) \wedge (X3=1) \rightarrow a3;$

7) $(X2=0) \vee (X1=2) \wedge (X3=1) \vee (X1=0) \wedge (X4=1) \rightarrow a2;$

8) $(X1=2) \wedge (X2=1) \wedge (X3=0) \vee (X4=0) \wedge (X1=3) \vee (X2=0) \rightarrow a4.$

1 - 8 - qoidalarning chin yoki yolg'on ekanligini aniqlang.

6. Quyidagi PM formulalarini deyarli normal shaklga keltiring:

- 1) $\forall x \exists y A(x, y) \rightarrow (\exists x P(x) \rightarrow \exists x Q(x))$;
- 2) $\forall x (A(x) \vee \overline{\forall y B(x, y)}) \wedge (\exists x P(x) \vee \exists x Q(x))$;
- 3) $\exists x A(x, z) \wedge \exists x \forall y B(x, y) \rightarrow \forall x \forall y \overline{C(x, y, z)}$;
- 4) $\forall x A(x) \vee \forall y B(y) \leftrightarrow \exists x A(x) \wedge (\forall y B(y) \vee \forall y C(y))$;
- 5) $\exists x (R(x) \leftrightarrow P(x)) \rightarrow \forall y (R(y) \leftrightarrow P(y))$;
- 6) $\exists x (P(x) \wedge Q(x)) \leftrightarrow \forall y (P(y) \wedge Q(y))$;
- 7) $\forall x P(x) \vee \forall x Q(x) \rightarrow \exists x P(x) \vee \forall x Q(x)$;
- 8) $\forall x (a \rightarrow P(x)) \leftrightarrow (a \rightarrow \forall x P(x))$;
- 9) $\forall x (P(x) \rightarrow Q(x)) \leftrightarrow (\exists x P(x) \rightarrow \exists x Q(x))$;
- 10) $\forall x (A(x) \rightarrow B(x)) \rightarrow (\forall x A(x) \leftrightarrow \forall x B(x))$;

7. Quyidagi PM formulalarini DNSH yoki KNSH shaklga keltiring:

- 1) $(\exists x P(x) \rightarrow \exists x Q(x)) \vee \forall x Q(x)$;
- 2) $\forall x A(x) \vee \exists x P(x) \rightarrow \exists x Q(x)$;
- 3) $\exists x A(x, z) \rightarrow \forall x \forall y \overline{C(x, y, z)}$;
- 4) $\forall x A(x) \vee \forall y B(y) \leftrightarrow \exists x A(x)$;
- 5) $\exists x (R(x) \leftrightarrow P(x)) \rightarrow \exists y (R(y) \leftrightarrow P(y))$;
- 6) $\exists x (P(x) \wedge Q(x)) \rightarrow \forall y (P(y) \wedge Q(y))$;
- 7) $\forall x P(x) \vee \forall x Q(x) \leftrightarrow \exists x P(x) \vee \forall x Q(x)$;
- 8) $\forall x (a \rightarrow P(x)) \leftrightarrow (a \rightarrow \forall x P(x))$;
- 9) $\forall x (P(x) \leftrightarrow Q(x)) \rightarrow (\exists x P(x) \leftrightarrow \exists x Q(x))$;
- 10) $\forall x (A(x) \leftrightarrow B(x)) \rightarrow (\forall x A(x) \leftrightarrow \forall x B(x))$;

8. Quyidagi keltirilgan mulohazalarni birinchi tartibli predikatlar ko'rinishiga keltiring:

1) Filialning har talabasi ingliz yoki nemis yoki fransuz tilini o'rganadi.

2) Filialning barcha talabalari ingliz, nemis va fransuz tilini o'rganadi.

3) Filialning barcha talabalari o'zbek, ingliz va rus tillarini o'rganadi.

4) Topshiriqlarni bajargan ba'zi bir talabalarga imtihonga kirishga ruxsat berildi.

5) Topshiriqlarni bajarmagan birorta talabaga imtihonga kirishga ruxsat berilmadi.

6) Ba'zi bir talabalar 2019 yilda ingliz tilidan imtihonda qatnashdi.

7) Ingliz tilidagi imtihonda qatnashgan har bir talaba uni topshiradi.

8) Birorta ham olma shirin emas.

9) Ixtiyoriy aksiya qimmatli qog'oz hisoblanadi.

10) Barcha sut emizuvchilar hayvon yoki inson hisoblanadi.

11) Maktabni yoki kollejni yoki liseyni bitirgan har bir inson oliy ta'lim muassasiga xujjat topshirishga haqli.

9. Quyidagi mantiqiy mulohazalar berilgan:

1) Umumiy fakt: $(\forall m) \text{ Inson}(m) \Rightarrow \text{Abituriyent}(m)$.

2) Xususiy fakt: $\text{Inson}(\text{Axmad})$.

3) Xulosa: $\text{Abituriyent}(\text{Axmad})$.

Quyidagi mantiqiy xulosa qanday qiymat qabul qiladi:

$((\forall m) \text{ Inson}(m) \Rightarrow \text{Abituriyent}(m)) \wedge \text{Inson}(\text{Axmad}) \Rightarrow \text{Abituriyent}(\text{Axmad})$.

10. Aytaylik M – odamlar to'plami. Quyidagi predikatlar berilgan bo'lsin:

Otasi (m_1, m_2) chin bo'ladi, qachonki agar m_1 shaxs m_2 shaxsning otasi bo'lsa va Erkak (m) chin bo'ladi, qachonki m – erkak bo'lsa, va Erkak (m) yolg'on bo'ladi, qachonki m – ayol bo'lsa. Quyidagi predikatlarning chinligini aniqlang:

1) $(\forall m_1, m_2) (\text{Otasi}(m_1, m_2) \wedge \text{Erkak}(m_1) \Leftrightarrow \text{Ota}(m_1, m_2))$.

2) $(\forall m_1, m_2) (\text{Otasi}(m_1, m_2) \wedge \neg \text{Erkak}(m_1) \Leftrightarrow \text{Ona}(m_1, m_2))$.

3) $(\forall m_1, m_2) ((\exists m_3) \text{Otasi}(m_1, m_3) \wedge \text{Otasi}(m_3, m_2) \wedge \text{Erkak}(m_1) \Leftrightarrow \text{Nabira}(m_2, m_1))$.

11. Aytaylik M – odamlar to'plami.. Quyidagi qarindoshlik munosabatlari uchun predikatlarni tuzing: Aka (m_1, m_2) , Xola (m_1, m_2) , Opa (m_1, m_2) , Singil (m_1, m_2) , Tog'a (m_1, m_2) va h.k., va ushbu predikatlarning chinligini aniqlang.

12. Quyidagi faktlar berilgan:

1-fakt: Xodim ishlab chiqarish qoidasini buzdi;

2-fakt: Xodim mahsulotni saqlash qoidasini buzdi;

3-fakt: Xodim mahsulotni tashish qoidasini buzdi.

Ushbu faktlardan tuzilgan quyidagi qoidaga mantiqiy formulani quring.

Qoida: Agar xodim ishlab chiqarish, mahsulotni saqlash va mahsulotni tashish qoidalarini buzsa, u holda u ishdan bo'shatiladi.

14. Quyidagi qoida mavjud:

«*Axmedov sutemizuvchi*»;

Kuzatish natijasi quyidagicha:

«Barcha odamlar sutemizuvchi»;

Abduktiv xulosalashdan foydalanib Y: xususiy holat - sababni aniqlang?

15. Berilgan x; y.

X: Axmedov -talaba;

Y: Axmedov -o'qiydi;

Induktiv xulosalashdan foydalanib R: ni toping?

16. Berilgan x; y.

X: odam -sutemizuvchi;

Y: Axmedov -odam;

Deduktiv xulosalashdan foydalanib R: ni toping?

17. Ma'lumotlar bazasida A,B,C larning qiymatlari berilgan.

Qoida 1: $A \wedge F \wedge G \rightarrow D$;

Qoida 2: $A \wedge F \rightarrow H$;

Qoida 3: $A \rightarrow G$;

Qoida 4: $G \rightarrow F$;

Qoida 5: $H \wedge K \rightarrow S$;

Qoida 6: $A \wedge C \wedge F \rightarrow B$;

Qoida 7: $C \wedge F \wedge H \rightarrow F$;

Qoida 8: $A \rightarrow K$.

D, H, S, F qoidalarning chinligini yoki yolg'onligini isbotlang.

18. Ma'lumotlar bazasida A,B,C larning qiymatlari berilgan.

Qoida 1: $A \wedge B \rightarrow D$;

Qoida 2: $C \wedge B \rightarrow E$;

Qoida 3: $E \wedge A \rightarrow F$;

Qoida 4: $B \wedge D \rightarrow F$;

Qoida 5: $F \wedge C \wedge A \rightarrow K$;

Qoida 6: $T \rightarrow G$;

Qoida 7: $F \wedge C \wedge B \rightarrow H$;

Qoida 8: $K \rightarrow S$;

Qoida 9: $F \rightarrow P$.

H, P, S qoidalarning chinligini yoki yolg'onligini isbotlang.

3-BOB. MANTIQ CHEKLOVLARI VA NOANIQLIKNI MODELLASHTIRISH

1-§. Tarixiy ma'lumotlar

Noravshan to'plam(NoT)lar nazariyasi (*fuzzy sets theory*) bo'yicha ilmiy ishlarning boshlanishi Berkli universiteti professori *Lotfi Zade* tomonidan 1965 yilda "Information and Control" jurnalida chop etilgan "Fuzzy Sets" ilmiy maqolasi bilan bog'liq [11,16]. "Fuzzy" tushunchasi *noravshan*, *noqat'iy*, *notiniq* kabi ma'nolarni bildiradi. Bu tushuncha an'anaviy qat'iy matematika va Aristotel mantiqida qo'llaniladigan qat'iy "tegishli-tegishlimas", "chin-yolg'on" kabi tushunchalarda oraliq tushunchalarni hosil qilish maqsadida ishlatgan.



NoTlar nazariyasining amaliy qo'llanilishining boshlanilishini 1975 yilda Mamdani va Assilyani tomonidan oddiy bug'li dvigatel bilan boshqariladigan noravshan nazorat qiluvchi qurilmaning yaratilishi bilan bo'g'lashadi. 1982 yilda Xomblad va Ostergallar sanoatda nazorat qiluvchi noravshan qurilmani ishlab chiqdilar va uni Daniyaning zavodida sement pishirish jarayonini boshqarishda qo'lladilar. "Agar - u holda" noravshan lingvistik qoidalariga asoslangan nazorat qiluvchi birinchi sanoat qurilmasining yaratilishi NoTlar nazariyasi bilan shug'illanadigan matematiklar va muxandislar o'rtasida qiziqarli shov-shuvga olib keldi. Biroz keyinroq Bertolomeem Kosko tomonidan ixtiyoriy matematik tizim noravshan mantiqqa asoslangan tizimga approksimatsiya qilinishi haqidagi teorema isbot qilindi [11,16].

NoTlarga asoslanib yaratilgan tizimlar texnologik jarayonlarni va transportni boshqarishda, tibbiy va texnika tashxisida, moliya menejmentida, bashoratlash birjasida va tasvirlarni anglashda keng qo'llanilishi bilan birgalikda uning ilovalariga videokameralar va maishiy xizmat ko'rsatishdan tortib havoda qo'riqlash raketalarini boshqarish qurilmalari va harbiy vertolyotlarni boshqarishgacha bo'lgan masalalarni yechish kiradi. Amaliy tajriba shuni ko'rsatdiki, noravshan mantiqqa asoslangan tizimlarni yaratishga ketadigan vaqt va uni loyihalashtirishga sarflanadigan narx an'anaviy matematik apparat yordamida amalga oshirishga nisbatan ancha kam bo'lib, bunda modellarning ishlashi va shaffofligi talab darajasini qanoatlantriradi.

L.A.Zadening xizmati elementning to'plamga *muallaq* (ko'proq yoki kamroq darajada) tegishliligi haqidagi tushunchani kiritganligidan iborat. Uning xulosasiga ko'ra element to'plamostiga ko'proq yoki kamroq darajada tegishli bo'lishi mumkin, bu xulosadan esa to'plam ostining noravshanligi tushunchasi kelib chiqadi. Butunlay boshqa nuqtai-nazardan, yani n-o'rinli mantiqqa asoslanib Post, Lukashevich va Moyzillar NoTlar nazariyasining ba'zi bir aspektlarini o'z ichiga oluvchi umumiy nazariyani yaratdilar [16].

Inson yoki kompyuter yordamida axborotlarni ishlashda ko'p hollarda kirishda, ba'zi hollarda chiqishda sonli yoki sonlimas ma'lumotlar noravshan va ehtimollimas bo'lishi mumkin. Bu noravshan va ehtimollimas ma'lumotlarni ishonchlilik intervallariga joylashtirish mumkin. Bunday hollarda NoTlar nazariyasidan foydalaniladi.

L.A.Zade nimani taklif qildi? Birinchidan, u to'plamning klassikli kvantorli tushunchasini kengaytirdi, yani xarakteristik funksiyning (elementning to'plamga tegishlilik funksiyasining) $(0;1)$ intervalda faqat 0 yoki 1 qiymat emas, balki ixtiyoriy qiymat qabul qilishi mumkin ekanligini ko'rsatdi. Bunday to'plam noravshan (fuzzy) deb ataldi [11]. Shuningdek, Zade NoTlar ustida bir qator *amallarni* aniqladi va mantiqiy xulosalashning "*Modus ponens*" u "*Modus tollens*" kabi mashhur usullarini umumlashtirishni taklif qildi. Undan keyin *lingvistik o'zgaruvchi* (*LO*) tushunchasini kiritdi va bu *o'zgaruvchilarning qiymatlari (termlari)* *sifatida noravshan to'plam* qatnashishini ko'rsatdi. L.A.Zade ifodalarning noravshanligi va noanoqligini o'z ichiga oluvchi intellektual faoliyat jarayonlarini tavsivlash uchun qurilma yaratdi.

Matematik NoTlar nazariyasi noravshan tushunchalar va bilimlarni tavsiflashga imkoniyat yaratadi, ushbu bilimlar ustida amallar bajaradi va noravshan xulosalashni amalga oshiradi. Ushbu nazariyaga asoslangan kompyuterli noravshan tizimlar kompyuterlarning predmet sohalarda qo'llanilish imkoniyatlarini ancha kengaytiradi.

2-§. Bilimlarning noaniqligi va ularni ishlash uslublari

2.1. Masalalarni tavsivlashda noaniqliklarning turlari

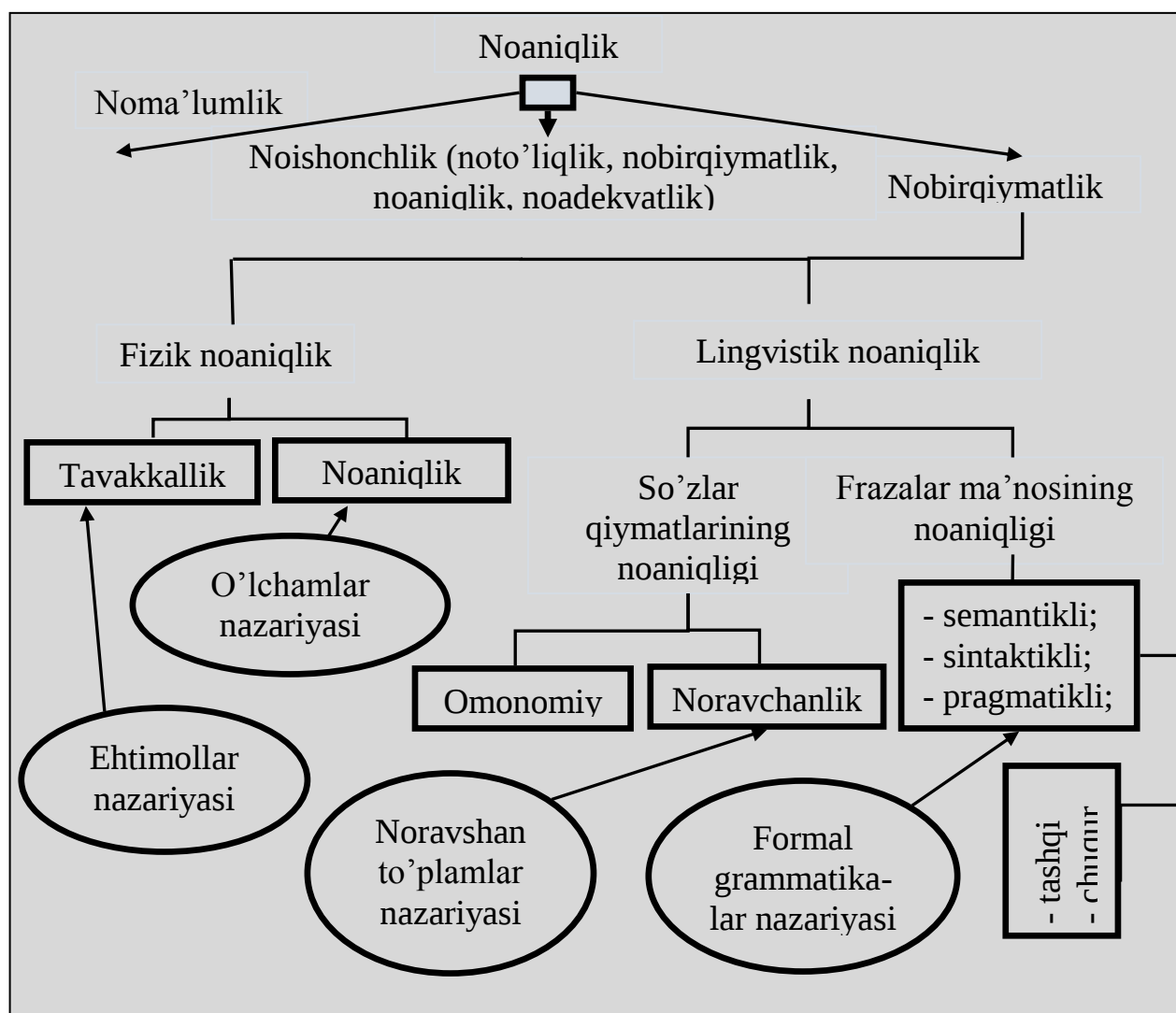
Masalani shakllantirishda haqiqiy masalani qandaydir formal tilga, umumiy holda esa-haqiqiy obyektning modelini tasvirlovchi professional tilga akslantirish amalga oshiriladi [11, 16].

Aytaylik, O_z - elementlar va ularning ozaro aloqalaridan iborat masalalarni akslantiruvchi obyektlar to'plami va O_y – tabiiy tildagi obyektlari to'plami (tushunchalar, munosabatlar, nomlar va h.k.) bo'lsin.

Quyidagi akslantirishni qaraymiz: $F: O_z \rightarrow O_y$.
Aytaylik, $O_1 \in O_z \in O_z; O_2 \in O_y$ va quyida keltirilgan shartlardan eng kamida bittasi bajarilsin:

$(\exists O_1)|F(O_1)| > 1$ -sinonamiya; $(\exists O_2)|F - 1(O_2)| > 1$ -polisemiya;
 $(\exists O_1)F(O_1) = \emptyset$ -noyetarlilik; $(\exists O_2)F - 1(O_2) = \emptyset$ -ortiqchalilik;
bu yerda $|X|$ - X to'plamning quvvati; $\emptyset$ - bo'sh to'plam.

Bu holda *noaniqliklar shartidagi masalaga* ega bo'lamiz va ularni mos ravishda tilni tavsivlaning *sinonimiyalar*, *polisemiyalar*, *noyetarliliklar* va *ortiqchaliliklariga* ega bo'lgan masalalar deb ataymiz. Masalalarni tavsivlashda noaniqliklar turlarining daraxt ko'rinishdagi sxemasi 3.1-rasmda keltirilgan.



3.1-rasm. Masalalarni tavsivlashda noaniqliklar.

Daraxtning birinch pog'onasi masalaning elementlari to'g'risida etishmaydigan axborotlar soni bilan xarakterlanadigan terminlardan iborat:

1) *Noma'lumlik* holatida masala haqidagi boshlang'ich axborotlar umuman ma'lum bo'lmaydi. Axborotlarni yig'ish jarayonida qandaydir bosqichda quyidagilar paydo bo'lishi mumkin:

- hozircha barcha mumkin bo'lgan yoki barcha kerakli bo'lgan axborotlar yig'ilmagan (noto'liqlik yoki noyetarlilik);

- ba'zi bir elementlarning tavsivlarida aniqmasliklar bor (noaniqlilik);

- masalaning bir qator elementlari oldin yechilgan masalalarda tavsivlanishlarga

o'xshab vaqtincha tavsivlangan (noadekvatlilik).

3.1-rasmda rasmda keltirilgan *noaniqliklar* turlarining mavjudligi axborotlarni yig'ishni vaqtincha to'xtaganligi yoki axborotlarni yig'ish uchun resurslarning etishmasligi bilan bog'liq.

Keyingi o'rganishlar barcha elemenlari *birqiymatli* tavsivlangan aniqlik holatiga yoki *nobirqiymatlik* holatiga olib kelishi mumkin. *Nobirqiymatlik* holatida masala haqidagi barcha axborotlar yig'ilgan bo'lishi mumkin, lekin ularni aniqlaydigan tavsivlar to'liq olinmagan va olib bo'lmaydi.

2) Daraxtning ikkinchi pog'onasi *nobirqiymatli* tavsivlashning mumkin bo'lgan manba(sabab)larini tavsivlaydi. Manbalar sifatida tashqi muhit (*fizik noaniqlik*) va professional til sifatida foydalaniladigan *lingvistik noaniqlik* qatnashadi.

Fizik noaniqlik kuzatuvchi nuqtai-nazaridan haqiqiy olam obyektlarining noaniqliklarini tavsivlaydi. Noaniqlik tushunchasi o'lchaydigan asbobning imkoniyatlari bilan bog'liq, yani o'lchovning noaniqligi fizik priborlar tomonidan olinadigan qandaydir qiymatdir.

Lingvistik noaniqlik masalani tavsivlash uchun foydalaniladigan tabiiy til bilan bog'liq. *Lingvistik noaniqlik* bir tomondan polisemiya deb ataluvchi tildagi so'zlarning qiymatlar to'plami yordamida, ikkinchi tomondan frazalar ma'nosining birqiymatlimasligidan paydo bo'ladi. Bizning maqsadimiz uchun *polisemiyalarning* ikkita turini tanlash mumkin: *omonimiya* va *noravshanlik*. Agar masalaning obyektlari bitta so'z bilan akslantiriladigan bo'lib, ular turli ma'nolarni anglatrsa-bu *omonimiya*.

Misol. miya - inson miyasi, hayvon miyasi. Agar ushbu obyektlar o'xshash bo'lsa, u holda bu holatni noravshanlikga tegishli deb hisoblaymiz.

2.2. Ma'lumotlar va bilimlarning xususyatlari

BBda ma'lumotlar va bilimlar xossalarining mazmuni va ular haqidagi axborotlarning chinligi boyicha bilimlarni tasvirlash bir-biridan farq qiladi. Odatda ITlarda bilimlar *noto'liq*, *qarama-qarshi*, *nomonoton*, *xatoli*, *noaniq* va *noravshan* bo'ladi [11, 16].

To'liqlik odatda quyidagicha ifodalanadi: ma'lum xossalar bilan berilgan formulalar to'plami uchun boshlang'ich aksiomalar tizimi va xulosalash qoidalarini ushbu to'plamga kiritilgan barcha formulalar uchun xulosalashni ta'minlashi zarur. *Axborotlarning noto'liqligi* klassik mantiq usullaridan farqli ravishda maxsus yondashuvlarni talab etadi [11,16]. Bunday usullarga statistik va noravchan mantiqiy usullarni kiritish mumkin. Bu nazariyalarning afzalliklari shundan iboratki, ular ma'lumotlar haqida hech qanday oldingi va qo'shimcha axborotlarni (ehtimolliklar yoki elementning to'plamga tegishliligi haqidagi axborotlarni) talab etmaydi. Bu nazariyalardan ma'lumotlar bazasidan bilimlarni olish masalalarini yechishda foydalanish mumkin.

Monotonlik - bu mantiqiy xulosalash xossasidir. Bilimlarning to'liq nabori uchun hosil qilingan xulosalashning haqiqiyliги yangi dalillarning qo'shilishi bilan o'zgarmaydi, yani agar $A_1, A_2, \dots, A_n \vdash B_1$, u xolda $A_1, A_2, \dots, A_n, \{F\} \vdash B_1$, bu yerda $\{F\}$ -qo'shimcha tasdiqlar to'plami bo'lib, avvalgi chiqarilgan B_1 tasdiqni rad etmaydi.

Noto'liq bilimlarni nomonoton xulosalashning zarurligi uchun ularni formal ishlash vositasi sifatida nomonoton mantiq usullaridan foydalaniladi, Masalan, shartli mantiqiy amallarni kiritishga asoslangan *Makdermott* va *Doul* nomonotonli mantiq, *Reyter* dunyosining yopiqqligi haqidagi *jimlik mantiqi*, *Makkartining* nomonotonli mantiqi va h.k.

Noaniqlik - bu axborotlar mazmuniga (yoki mohiyatlar qiymatiga) tegishli bo'lib, BBdagi bilimlarni tasvirlashda e'tiborga olinadi.

Noaniq bilimlarning paydo bo'lishi quyidagilar bilan bog'liq [11, 16]: ma'lumotlardagi xatoliklar; xulosalash qoidalaridagi xatoliklar; noaniq modellardan foydalanish.

Noaniq axborotlar noqarama-qarshi va qarama-qarshi bo'lishi mumkin. Masalan, Axmedovning haqiqiy yoshi 25 da bo'lib, BBda yozilishi bo'yicha uning yoshi 30 da. Bu misolda axborot xato yozilgan bo'lsada, u noqarama-qarshi. Boshqacha holat ham bo'lishi mumkin, xatoli tarzda BBda Axmedovga 110 yosh yozilgan bo'lishi mumkin. Bu

esa haqiqatga qatama-qarshi, chunki insonlarning yoshi 0 dan 100gacha oraliqda bo'ladi.

Noaniq axborotlarga qandaydir chegaralangan aniqlik (porog) yoki oraliq

qiymatlar (interval) bilan olingan ma'lumotlarni ham kiritish mumkin. Bu qiymatlar, masalan, o'lchov asbobining aniqlik darajasi, o'lchovni amalga oshirayotgan insonning psixologik holati va sog'ligiga bo'g'liq bo'lishi mumkin.

Noaniqliklarni tasvirlashning an'anaviy yondashuvlariga G.Sheyfer nazariyasini keltirish mumkin. Bu nazariya matematik modellarda noaniqliklarni formal tasvirlashda umumiy nuqtai-nazardan yondashishga imkoniyat yaratadi va shuning uchun ham u fundamental va amaliy sohalarda katta ahamiyatga ega.

3-§. Noravshan bilimlar va ular ustida amallar

3.1. Noravshan bilimlar

Endu ITlarni yaratishda muhim hisoblangan noravshan bilimlarni tasvirlash muammosiga to'xtalamiz. *Noravshan bilimlar* ozining tabiyatiga ko'ra turlicha bo'lishi mumkin va shartli ravishda quyidagilarga bo'linadi: *noto'g'rilik, noaniqlik, nobirqiymatlik, yani ular ixtiyoriy noravshanlik bo'lib, ular orasida qat'iy chegara mavjud bo'lmaydi.*

NoTlar nazariyasi - bu shunday ma'noni anglatadiki, bunda klassik matematika va haqiqiy olamda uchraydigan noaniqliklarning yaqinlashish yo'liga qadam tashlanadi, insoniyatning fikrlash va anglash jarayonlarini yaxshi tushunish niyati amalga oshadi.

Obyektlar to'plami va majmuasi matematikada asosiy tushunchalar hisoblanadi. Lekin insonda shunday bilimlar va tashqi olam bilan shunday aloqalar mavjudki, ularni klassik ma'noda *to'plam deb atash mumkin emas*. Bunday bilimlar to'plamini (yoki to'plamostini) «*noravchanli to'plamlar (yoki to'plamostilari)*» deb hisoblanadi. Bu to'plamlar noravshan chegarali sinflar bo'lib, "*elementning sinfga tegishli*" qoidasidan "*elementning sinfga tegishlimas*" qoidasiga keskin tarzda emas, balki asta-sekinlik bilan o'tiladi. Mohiyat nuqtai-nazaridan insonning fikrlashi klassik ikkiqiymatli yoki ko'pqiymatli mantiqqa emas, balki chin qiymatli noravshan mantiqqa, notavshan aloqali va noravshan xulosalash qoidalariga asoslanadi.

Oxirgi vaqtlarda noravshan boshqarishda NoTlar nazariyasini qo'llash ancha faol va natijali tadqiqot sohalaridan biri hisoblanadi. Ta'kidlash joizki, sifatli bilimlarni shakllantirish SITlarida, shuningdek, ETlarda exspertlar bilan tabiiy tilda ishlash jarayonida lingvistik noaniqliklar bilan bog'liq jihatlar boyicha tadqiqotlar faollashdi.

3.2. Noravshan to'plamlar

Noravshan o'zgaruvchi tushunchasi. L. Zade noravshan o'zgaruvchi(*NO'*) tushunchasini quyidagi ushlik ko'rinishda kiritdi [11, 16, 24]:

$$\langle \alpha, U, G \rangle,$$

bu yerda α - NO'ning nomi;

U – universal to'plam(UT)ning aniqlanish sohasi;

G - U dagi NTning mumkin bo'lgan noravshan qiymatlariga (sematikasiga) chegaralarni tavsivlovchi NoT;

U to'plamning fizik tabiatiga qarab NO'lar sonli va sonlimaslarga ajratilishi mumkin. $U \subset R^1$ qanoatlantiruvchi o'zgaruvchilarni sonli ozgaruvchilar deb ataymiz.

NoTlarning asosiy qoidalari va ta'riflarini keltiramiz [37, 50, 60, 81].

Noaniq/Noravshan (fuzzy - ingliz atamasidan) obyekt, holat va hodisalarni noaniq, to'liq bo'lmagan, taxminiy, mumkin bo'lgan baholashlardan foydalanishni talab qiladi. Bunday baholashlar ekspert fikr(mulohaza)larida shakllanadi.

Ko'p muammolarni yechishda mazkur turdagi noravshan baholash, model, usul va protseduralardan foydalanilish zarurligi quyidagilar bilan belgilanadi [7, 83]:

- obyekt va hodisalar to'g'risida aniq va to'liq axborotlarni olish imkoniyati yo'qligi;
- murakkab obyekt va hodisalarning aniq, deterministik matematik modelini qurish imkoni yo'qligi yoki murakkabligi;
- ayrim muommalarni yechishda parametr va hodisalarni aniq baholashlari talab qilinmaydi;
- tadqiq qilinayotgan tizimlarning murakkabligi oshgan sari insonning ular to'g'risida aniq va shu bilan birga to'g'ri baholash (fikir, mulohaza bildirish) qobiliyati pasayadi, murakkablik belgilangan chegaradan oshgandan keyin esa baholashlarning aniqligi va to'g'riligi (ma'noliligi) bir biriga zid bo'lib qoladi.

Noravshan modellar egiluvchan modellar sinfining biri bo`lib quyidagi xususiyatlarga ega:

- insonning odatdagi shaklda ifodalangan bilim va tajribalariga asoslangan bo`lib, ular ananaviy (aniq, qat'iy, deterministik) modellarga nisbatan egiluvchanligi;

- dastlabki axborotlar aniqliklilariga munosib bo`lgan masala yechimini topishga imkoniyat berilganligi va ularning real olamga ko`proq o`xshashligi;

- soddaroq modellardan hamda soddaroq noravshan amallardan foydalanish natijasida masala yechimining natijalarini tezroq topishi bilan farqlanadi.

Noravshan yechish usullari quyidagilarga asoslanadi:

- sonli o`zgaruvchan yoki ularga qo`shimcha ravishda noravshan va lingvistik o`zgaruvchilardan foydalanish;

- noravshan mulohazalar yordamida o`zgaruvchilar orasidagi sodda munosabatlarni ifodalash;

- noravshan algoritmlar yordamida murakkab munosabatlarni ifodalash.

Noravshan to`plamlarning klassik va aniq to`plamlardan asosiy farqi ularning [mansub bo`lishi - mansub bo`lmasligi] oraliqda mansublik daraja qiymatlarining to`plam tushunchasi bilan (ha, yo`q o`rniga) ish olib borishidan iborat.

***Noravshan to`plam tushunchasi.*** Aytaylik,  $U$ -qandaydir obyektlar to`plami (u bilan belgilanadigan elementlar, nuqtalar va $A: U \rightarrow [0; 1]$) bo`lsin.  $U$  to`plamda A noravshan (noaniq, xira) to`plam deb tartiblangan juftliklar majmuasi

$$A\{u, \mu_A(u)\}; u \in U$$

tushuniladi. Bu yerda $A(u)$ -u elementning A ga mansubligini (tegishlilikini) bildiradi, $A, \mu_A: U \rightarrow [0,1]$ - U to`plamda  $M$  fazoga akslantiruvchi funksiya bo`lib, mansublik fazosi deb aataladi [11, 16, 19, 24].

Noravshn to`plamostilarining to`plami va uning xossalari [37, 60, 80]. U to`plamostilarining to`plamini $P(U)$ ko`rinishda belgilaymiz. Masalan,  $U = \{u_1, u_2, u_3\}$  elementlar berilgan bo`lsa, u holda $P(U) = \{\emptyset, \{u_1\}, \{u_2\}, \{u_3\}, \{u_1, u_2\}, \{u_2, u_3\}, \{u_1, u_3\}, \{u_1, u_2, u_3\}\}$, yani $P(U)$ to`plam  $2^3=8$  elementlardan ( $|P(U)| = 8$ ) iborat bo`ladi. Umumiy holda $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ elementlar berilgan bo`lsa,  $u$  holda, yani  $P(U)$  to`plam 2^n elementlardan ($|P(U)| = 2^n$) iborat bo`ladi.

NoTlarda «NoT ostilarining to'plami» boshqacha yo'l bilan aniqlanadi. M fazo sifatida $[0; 1]$ intervalda $M=[0, 0.5, 1]$ qiymatlarni olsak, u holda $U = \{x_1, x_2\}$ NoTlarning $P(U)$ to'plamini quyidagicha hosil qilamiz:

$$P(U) = \{\{(x_1|0), (x_2|0)\}, \{(x_1|0), (x_2|0.5)\}, \{(x_1|0.5), (x_2|0)\}, \{(x_1|0.5), (x_2|0.5)\}, \{(x_1|0), (x_2|1)\}, \{(x_1|1), (x_2|0)\}, \{(x_1|1), (x_2|0.5)\}, \{(x_1|0.5), (x_2|1)\}, \{(x_1|1), (x_2|1)\}\}.$$

Umumiy holda, agar U to'plam $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ elementlardan va M fazo $[a; b]$ intervaldagi $M = [y_1, y_2, \dots, y_m]$ qiymatlardan iborat bo'lsa, u holda NoTlarning soni $|P(U)| = m^n$ aniqlanadi.

Mansublik funksiyasi (MF). MF - bu A NoT bilan ifodalaniladigan tushunchaga $u \in U$ elementi mos bo'lishi darajasining sub'ektiv o'lchovi. Bu u holat paydo bo'lgan holda A holatni kuzatish shartli ehtimoli emas, balki A NoT bilan ifodalaniladigan tushunchasi bilan u holatni izohlash mumkinligi (mumkinlik darajasi).

Masalan, "Neksiya" avtomobili ichida xaydovchidan tashqari yana 6 (yoki 7) odam bo'lish ehtimoli aslida 0ga teng. Ammo bu holatning mumkinligi turli vaziyatlarga qarab (xaydovchining o'z avtomobiliga shaxsiy munosabati, passajirlarni olib borish zarurligi, ularni o'rtacha og'irligi va h.k.) 0 dan 1gacha o'zgarishi mumkin.

MFni qurishning ikkita, yani bevosita va bilvosita usullar sinfi mavjud..

Bevosita usullar bir yoki bir nechta ekspertlar tomonidan berilgan baholashlarga asoslanadi. Bu holda MF [83]

$$\mu_A(U) = \frac{n_1}{m} \quad (3.1)$$

formula bo'yicha belgilanadi. Bu yerda $n_1 - A$ NoT ga $u \in U$ elementning mansubligi to'g'risida quyilgan savolga to'g'ri javob bergan ekspertlar soni; n_2 - salbiy javob bergan ekspertlar soni; $m = n_1 + n_2$ - ekspertlarning umumiy soni.

Misol. Berilgan $U = \{1,2,3,4,5\}$ to'plamda "Ikkidan sal ko'proq" tushunchani formallashtiradigan A NoT ni qurish kerak. Faraz qilaylik, oltita ekspertlar bilan o'tkazilgan so'rov quyidagi natijalarni berdi (3.1-jadval). 3.1-jadvaldagi ma'lumotlarga va (3.1) formulaga asoslanib

$$\mu_A(1) = 0; \mu_A(2) = 0; \mu_A(3) = 1; \mu_A(4) = 0.7; \mu_A(5) = 0.2.$$

hosil qilamiz. Natijada A NoTning MFsi

$$\mu_A(u) = \{<1/3>, <0.7/4>, <0.2/5>\}$$

ko'rinishda belgilanadi.

3.1-jadval.

	U				
m	1	2	3	4	5
n_1	0	0	6	4	1
n_2	6	6	0	2	5

Ko'rib chiqilgan usul eng sodda bo'lib *eng past aniqlikga* ega. *Bevosita usullar* qatoriga ekspertlar bilan o'tkazilgan so'rov asosida olinadigan *formula, jadval, sanab chiqish* va h.k. ko'rinishda MFning berilish usullari ham kiradi.

Bilvosita usullar qulayroq bo'lib, ularning orasida *juft-juftli solishitirish usuli* eng ko'p qo'llaniladigan usul hisoblanadi.

Bu usulda so'rov natijasi $M = \|m_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, n}$ ko'rinishdagi *matritsa shaklida* beriladi. Bu yerda: n - MFning qiymatlarini solishtiradigan nutqalar soni; m_{ij} elementlar - A NoTga $u_i \in U$ elementlarning $u_j \in U$ elementlariga nisbatan mansublik darajasini baholashlarini belgilaydi, yani ular ekspert fikri bo'yicha $\mu_A(u_i)$ qiymati $\mu_A(u_j)$ qiymatidan necha marta katta bo'lganligini ko'rsatadi. Bu holda $m_{ii} = 1$, $m_{ij} = 1/m_{ji}$.

Ekspert ishlatadigan tushunchalarni baholash va izohlashlar *Saati shkalasiga muvofiq 9 ballik tizimda* qabul qilingan (3.2-jadval).

3.2-jadval.

Tushunchani ma'nosi	m_{ij}
$\mu(u_i)$ taxminan $\mu(u_j)$ ga teng	1
$\mu(u_i)$ sal $\mu(u_j)$ dan katta	3
$\mu(u_i)$ $\mu(u_j)$ dan katta	5
$\mu(u_i)$ $\mu(u_j)$ dan sezilarli darajada katta	7
$\mu(u_i)$ $\mu(u_j)$ dan ancha katta	9
Sanab o'tilgan baholashlar darajasi bo'yicha oraliqdagi baholashlar	2, 4, 6, 8

3.2-jadvaldagi ma'lumotlardan foydalanib, $(u_1, u_2, \dots, u_n)$ nuqtalardagi MFsi qiymatlari

$$\mu_A(u_i) = \frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^n m_{ij}} \quad (3.2)$$

bo'yicha hisoblab chiqiladi. Bu yerda $i, j \in I = \{1, 2, \dots, n\}$. j ning qiymati ixtiyoriy ravishda tanlab olinadi.

$\mu_A(u_i)$ qiymatlarini topish uchun $M = \|m_{ij}\|$, $i, j = \overline{1, n}$ matritsaning ixtiyoriy ravishda tanlab olingan j - ustunini belgilab, m_{ij} elementlar qiymatlarini j - ustundagi barcha elementlar qiymati jamiga nisbatlarini hisoblab chiqish kerak.

Misol. Faraz qilaylik, ikki nuqta orasidagi masofani tasvirlash uchun β - "Masofa" LO' $T = \{\alpha_1 = "Kichik", \alpha_2 = "O'rta", \alpha_3 = "Katta"\}$ term-to'plami bilan qo'llaniladi. Asosiy to'plam $U = \{1, 3, 6, 8\}$ ko'rinishda berilgan. " $\alpha_1 - Kichik$ " term $\langle \alpha_1, U, G_1 \rangle$ NO' yordamida ifodalanadi. "Kichik" termni ifodalaydigan G_1 NoTning $\mu_{G_1}(u)$ MFni qurish kerak.

Ekspertlarni so'rash natijasida quyidagi juft-juftli solishtirish m_{ij} ($i = 1, n; j = 1, m$) matritsasi (3.2-rasm)

$$m_{ij} = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 3 & 6 & 8 \\ \hline 1 & 1 & 5 & 6 & 7 \\ 3 & 1/5 & 1 & 4 & 6 \\ 6 & 1/6 & 1/4 & 1 & 4 \\ 8 & 1/7 & 1/6 & 1/4 & 1 \end{array}$$

3.2-rasm. Solishtirish matritsasi.

hosil qilingan bo'lsin. Bu yerda, masalan, $m_{12} = 5$ element ekspert $\mu_{G_1}(1)$ ni $\mu_{G_1}(3)$ ga nisbatan katta qiymati bilan baholashini, $m_{14} = 7$ element esa - ekspert $\mu_{G_1}(1)$ ni $\mu_{G_1}(8)$ ga nisbatan sezilarli darajada katta qiymati bilan baholashini ko'rsatadi.

M matritsaning birinchi ($j = 1$) ustunini belgilab, uning elementlar qiymatlarini $M_1 = \{1, 1/5, 1/6, 1/7\}$ ko'rinishda ajratib olamiz. Keyin (3.2) formuladan foydalanib, "Kichik" termni ifodalaydigan G_1 NoTning $\mu_{G_1}(u)$ MF qiymatlarini

$$\mu_{G_1}(1) = \mu_{G_1}(u_1) = \frac{m_{11}}{\sum_{i=1}^4 m_{i1}} = \frac{1}{1,55} = 0,64; \mu_{G_1}(3) = 0,16; \mu_{G_1}(6) = 0,11; \mu_{G_1}(8) = 0,09.$$

topamiz. Shunday qilib G_1 NoT

$$G_1 = \{ \langle 0,64 / 1 \rangle, \langle 0,16 / 3 \rangle, \langle 0,11 / 6 \rangle, \langle 0,09 / 8 \rangle \}$$

ifodalanadi.

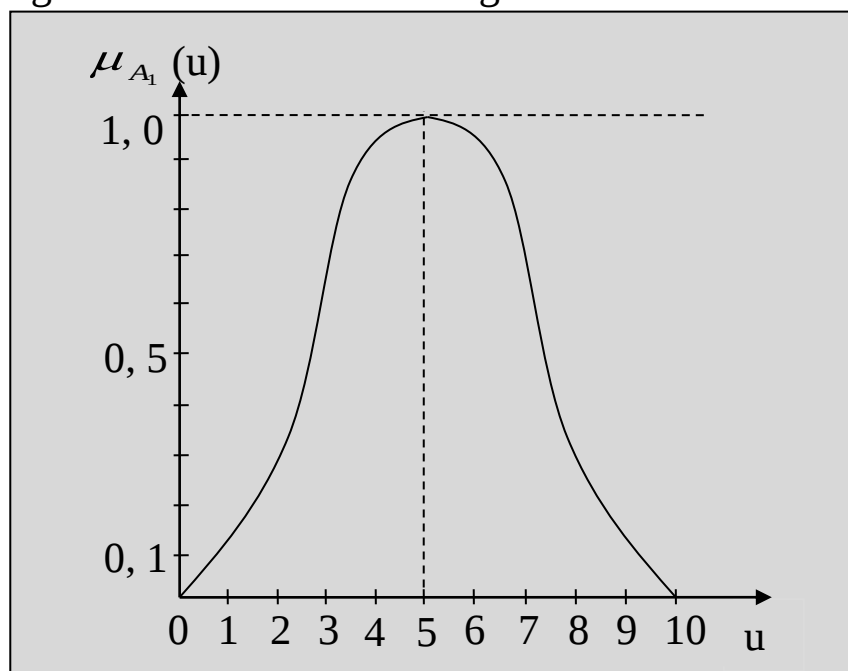
Agar M fazo faqat ikkita 0 va 1 nuqtalardan iborat bo'lsa, u holda A noaniqmas (aniq) deb ataladi va unung MFsi noaniqmas to'plamning xarakteristik funksiyasi bilan mos tushadi.

Quyida biz M sifatida $[0; 1]$ intervalni qaraymiz, bunda 0 va 1 mos ravishda mansublikning quyi va yuqori darajasini anglatadi. Mansublik to'plamlari sifatida boshqa intervallar ham qaraladi, masalan, MYSIN ETida $[-1; 1]$ interval, qisman tartiblashgan ixtiyoriy to'plamlar $[0; 10]$, $[0; 100]$ intervallarda, xususiyl holda panjarali intervallar ham qaraladi. Shunday qilib, U to'plamda berilgan A NoT unung mansublik $A(u)$ funksiyasining berilishiga ekvivalent bo'ladi va A to'plamning chegaralarining noaniqligiga qaramasdan har bir elementini taqqoslash yo'li bilan 0 va 1 oralig'idagi $\mu_A(u)$ sonni aniqlash mumkin.

Misol. 1) Faraz qilaylik U to'plam $[0,10]$ oralig'dagi natural sonlarga tegishli universal to'plami bo'lsin. Ushbu to'plamda "Taxminan 5" noravshan tushunchaga tegishli A_1 NoTni quyidagi ko'rinishda ifodalanish mumkin:

$$A_1 = \{ \langle 0/0 \rangle, \langle 0.1/1 \rangle, \langle 0.3/2 \rangle, \langle 0.5/3 \rangle, \langle 0.8/4 \rangle, \langle 1/5 \rangle, \langle 0.8/6 \rangle, \langle 0.5/7 \rangle, \langle 0.3/8 \rangle, \langle 0.1/9 \rangle, \langle 0/10 \rangle \}.$$

Bu NoTning MFsi 3.3-rasmida keltirilgan.



3.3-rasm. A_1 NoTning MFsi.

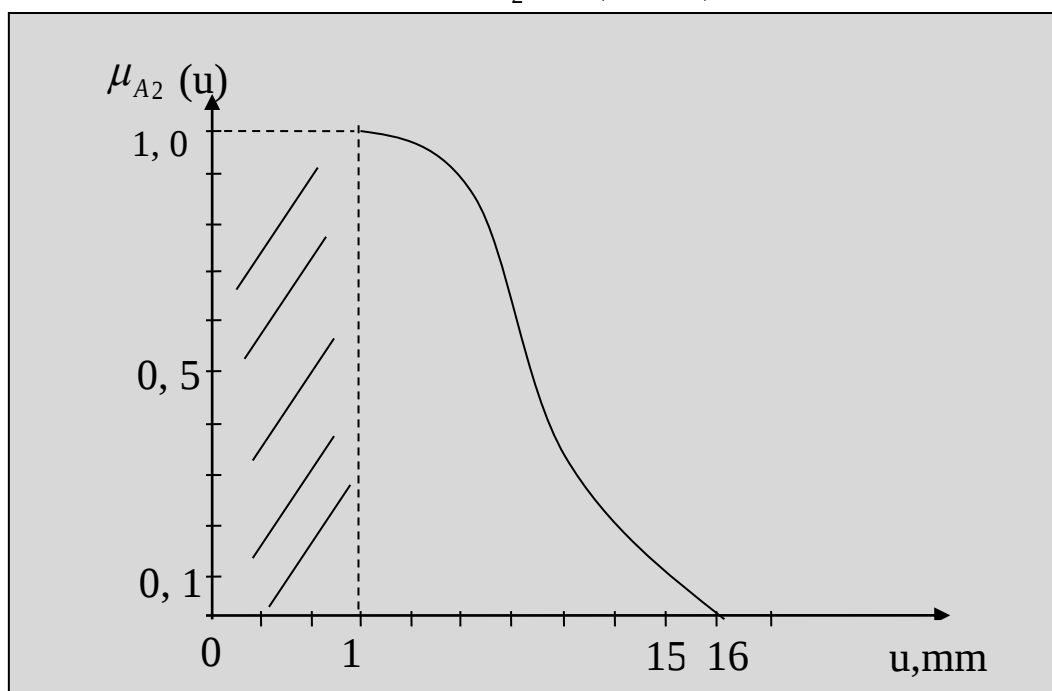
Bu yerda $S_{A_1} = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$, $NoT A_1 = 1(u=5)$; $NoT A_1$ - normal, unimodal to'plam. O'tish nutqalari: $u=3$ va $u=7$.

Quvvati: $|A_1| = \{0,1 + 0,3 + 0,5 + 0,8 + 1 + 0,8 + 0,5 + 0,3 + 0,1\}$.

2) Faraz qilaylik, U to'plam $[10-80]$ oraliqdagi 1 mm diskret qadami mumkin bo'lgan mahsulotning qalinligiga tegishli universal to'plami bo'lsin. Unda, masalan, α - "Kichik qalinlik" noravshan tushunchaga tegishli A_2 NoT quyidagi ko'rinishda ifodalanish mumkin:

$$A_2 = \{ \langle 1/10 \rangle, \langle 0.9/11 \rangle, \langle 0.8/12 \rangle, \langle 0.7/13 \rangle, \langle 0.5/14 \rangle, \\ \langle 0.3/15 \rangle, \langle 0.1/16 \rangle, \langle 0/17 \rangle, \langle 0/18 \rangle, \dots \}$$

Bu NoTning MFsi 3.4-rasmida keltirilgan. Bu yerda $S_A = \{10,11,12, 13,14,15,16\}$, NoT $A_2 = 1(u = 10)$.



3.4-rasm. A_2 NoTning MFsi.

3.3. Noravshan mantiq amallari

“Inkor” (“Noravshan inkor”), “Va” (“Noravshan konyunksiya”), “Yoki” (“Noravshan dizyunksiya”) amallarining ta’riflarini keltiramiz [11, 16, 19, 24].

1) “Noravshan inkor” (aniq “Inkor” amalining o’xshashi) - bu natijada $[0,1]$ baholashni beradigan $[0,1]$ noravshan baholashning unar inkori amalidir. Bu amal “1dan ayirish” sifatida belgilanadi, yani $T(-x) = 1 - x$, $N^0 = (x) \text{ inkori} = \bar{x} = 1 - x$, $\bar{\bar{x}} = x$, $x \in [0,1]$, bu yerda T - mulohazaning to’g’rilik darajasi.

Bu qo’shimcha NoT tushunchasiga mos keladi. N^0 amali quyidagi talablarga javob beradi:

- $N^\circ(0) = 1, \quad N^\circ(1) = 0$ - chegara shartlari;
- $N^\circ(N^\circ(x)) = x, \quad \forall x \in [0,1]$ - ikkilik inkori;
- $x_1 < x_2 \rightarrow N^\circ(x_1) > N^\circ(x_2)$ - baholashlarni inversiya qilish (qiymatlarini teskarilariga aylantirish).

$x = 0,5$ (“Bilmayman”, “Indifferentlik/Befarqlik”) boʻlganda uning inkori ham $N^\circ(x) = 0,5$ boʻladi. Shuning uchun $0,5$ - bu noravshan tushunchaning markaziy qiymati. Unga nisbatan x va $N^\circ(x)$ tushunchalar simmetrik qiymatlarni qabul qiladi.

Bul algebrasida “Inkor” amali mantiq oʻzgaruvchining teskari qiymatini (masalan, “0 - issiq” uchun “1 - sovuq” va aksincha) izohlaydi. N° amali esa, masalan, “Sovuq” uchun “Sovuq emas” tushunchani izohlaydi. Bunda “Sovuq” va “Issiq” tushunchalari orasida “Sovuq emas” tushunchasi koʻp qiymatlarni qabul qilishi mumkin.

2) *Noravshan “Va”* - uch burchakli t - miqdor - bu $[0,1]$ oraliqda $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ qiymatlarni qabul qiladigan ikki oʻzgaruvchilar funksiyasidir.

T amali quyidagi talablarga javob beradi:

- $x T 1 = x, \quad x T 0 = 0, \quad \forall x \in [0,1]$ - cheklanganlik (chegara shartlari);
- $x_1 T x_2 = x_2 T x_1$ - kommutativlik;
- $x_1 T (x_2 T x_3) = (x_1 T x_2) T x_3$ - assotsiativlik;
- $x_1 \leq x_2 \rightarrow x_1 T x_3 \leq x_2 T x_3$ - monotonlik.

T - miqdor amaliga xos boʻlgan amal - bu minimum (min) yoki mantiqiy koʻpaytirish(konyunksiya) amali

$$x_1 T x_2 = \min(x_1, x_2) = x_1 \wedge x_2, \quad T(x_1 \wedge x_2) = \min(T(x_1), T(x_2)),$$

yoki quyidagi noravshan konyunksiyaning muqobil formulalari:

$$x_1 \wedge x_2 = x_1 \times x_2 = x_1 x_2 \text{ - algebraik}$$

koʻpaytirish,

$$x_1 \wedge x_2 = \max\{(x_1 + x_2 - 1), 0\} \text{ - chegarali}$$

koʻpaytirish,

$$x_1 \wedge x_2 = \begin{cases} x_2, & \text{agar } x_1 = 1, \\ x_1, & \text{agar } x_2 = 1, \\ 0, & \text{qolgan hollarda.} \end{cases}$$

drastik
(drastic-
hal qiluvchi)
koʻpaytirish

3) *“Noravshan Yoki”* - uch burchakli S - miqdor - bu $[0,1]$ oraliqda $S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ qiymatlarni qabul qiladigan ikki oʻzgaruvchilar

funksiyasidir. S uchun chegara shartlari $xS1=1, xS0=x, \forall x \in [0,1]$ ko`rinishda ifodalanadi.

S - miqdor amaliga xos bo`lgan amal - bu maksimum (max) yoki mantiqiy yig`indi (dizyunksiya) amali $x_1 S x_2 = \max(x_1, x_2) = x_1 \vee x_2$, yoki quyidagi noravshan dizyunksiyaning muqobil formulalari:

$$x_1 S x_2 = x_1 \oplus x_2 = x_1 + x_2 - x_1 x_2 - \text{algebraik yig`indi};$$

$$x_1 \vee x_2 = \min\{(x_1 + x_2), 1\} - \text{chegarali yig`indi};$$

$$x_1 \vee x_2 = \begin{cases} x_2, \text{ agar } x_1 = 0, \\ x_1, \text{ agar } x_2 = 0, \\ 1, \text{ qolgan hollarda.} \end{cases}$$

drastik
(drastic)
yig`indi

Algebraik yig`indi va ko`paytirish amallar uchun:

- distributivlik - $x_1 \oplus (x_2 \times x_3) \neq (x_1 \oplus x_2) \times (x_1 \oplus x_3); x_1 \times (x_2 \oplus x_3) \neq (x_1 \times x_2) \oplus (x_1 \times x_3);$

- idempotentlik - $x_1 \oplus x_1 \neq x_1; x_1 \times x_1 \neq x_1;$

- singdirish - $x_1 \oplus (x_1 \times x_2) \neq x_1; x_1 \times (x_1 \oplus x_2) \neq x_1;$

qonunlari bajarilmaydi.

Noravshan mantiqda $x \wedge \bar{x} = \phi$ (yoki $x \wedge (1-x) = \phi$) (uchinchisini inkor qilish), $x \vee N^\circ(x) = E$ (yoki $x \vee (1-x) = X$) (ayniyatlar), (E, X - universal to`plam,  $\phi$  - bo`sh to`plam) munosabatlar ham bajarilmaydi. Bu yerda  $0.5 \geq x \wedge (1-x) \geq 0; 0.5 \leq x \vee (1-x) \leq 1$  o`zaro nisbatlar yuz beradi.

Noravshan mantiqda, qoida bo`yicha, mantiqiy amallar (algebraik - ayrim hollarda) qo`llaniladi.

3.4. Noravshan to`plamlar ustida oddiy amallar

NoTlar nazariyasida $P(U)$ to`plamlar ustida bajariladigan asosiy amallar quyidagilardan iborat [11, 16, 19, 24].

Yutilish amali. Aytaylik U -mansubliklar to`plami,  $A$  va  $B$  -  $U$  to`plamda berilgan NoTostilari bo`lsin. Agar  $\forall u \in U: A(u) \leq B(u)$  bo`lsa, u holda A to`plam  $B$  to`plamda saqlanadi (yoki B to`plam  $A$  to`plamni o`z ishiga oladi) deb aytiladi va $A \subset B$ kabi belgilanadi.

Misol. Aytaylik $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}, M = [0,1]$ berilgan bo`lsin.

$$A = \{(x_1|0.4), (x_2|0.2), (x_3|0), (x_4|0)\},$$

$$B = \{(x_1|0.7), (x_2|0.4), (x_3|0), (x_4|1)\}.$$

Bu yerda $0.4 < 0.7$, $0.2 < 0.4$, $0 = 0$, $0 < 1$. Demak $A \subset B$ (A to'plam B to'plamda saqlanadi).

Tenglik amali. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilari shunda va faqat shundagina teng $A = B$ bo'ladi, agarda $\forall u \in U: \mu_A(u) \leq \mu_B(u)$.

Misol. Aytaylik $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$, $M = [0, 1]$ berilgan bo'lsin.

$$A = \{(x_1 | 0.5), (x_2 | 0.6), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\},$$

$$B = \{(x_1 | 0.7), (x_2 | 0.8), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\}.$$

Bu yerda $0.5 < 0.7$, $0.6 < 0.8$, $1 = 1$, $0 = 0$. Demak $A = B$.

To'ldiruvchi amali. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilari bir-birini to'ldiradi $B = \sim A$ yoki $\sim A = B$, agarda $\forall u \in U: \mu_B(u) = 1 - \mu_A(u)$, bu $B = \sim A$ yoki $\sim A = B$ kabi belgilanadi.

Misol. Aytaylik, $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$, $M = [0, 1]$.

$$A = \{(x_1 | 0.25), (x_2 | 0.73), (x_3 | 1), (x_4 | 0), (x_5 | 0), (x_6 | 0.08)\}.$$

$$B = \{(x_1 | 0.75), (x_2 | 0.27), (x_3 | 0), (x_4 | 1), (x_5 | 1), (x_6 | 0.92)\}.$$

U holda ko'rinib turibdiki, $\sim A = B$.

Kesishish amali. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilarining kesishmasi $(A \cap B)$ bir vaqtda A va B to'plamlarda mavjud elementlardan eng kichiklaridan iborat NoT sifatida aniqlanadi:

$$\forall u \in U: \mu_{A \cap B}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u)).$$

Misol. $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, $M = [0, 1]$.

$$A = \{(x_1 | 0.4), (x_2 | 0.8), (x_3 | 0), (x_4 | 1), (x_5 | 0.3)\},$$

$$B = \{(x_1 | 0.6), (x_2 | 0.6), (x_3 | 0), (x_4 | 0), (x_5 | 0.7)\},$$

$$A \cap B = \{(x_1 | 0.4), (x_2 | 0.6), (x_3 | 0), (x_4 | 0), (x_5 | 0.3)\}$$

Birlashtirish amali. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilarining bitlashmasi $(A \cup B)$ bir vaqtda A va B to'plamlarda mavjud elementlardan eng kattalaridan iborat NoT sifatida aniqlanadi:

$$\forall u \in U: \mu_{A \cup B}(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u)).$$

Misol. $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, $M = [0, 1]$.

$$A = \{(x_1 | 0.4), (x_2 | 0.8), (x_3 | 0), (x_4 | 1), (x_5 | 0.3)\},$$

$$B = \{(x_1 | 0.6), (x_2 | 0.6), (x_3 | 0), (x_4 | 0), (x_5 | 0.7)\},$$

$$A \cup B = \{(x_1 | 0.6), (x_2 | 0.8), (x_3 | 0), (x_4 | 1), (x_5 | 0.7)\}$$

Algebraik ko'paytma. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilarining algebraik ko'paytmasi $(A \times B)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$\forall u \in U: \mu_{A \times B}(u) = \mu_A(u) \times \mu_B(u).$$

Noravshan to'plamlarning dekart ko'paytmasi. $A_i, i = \overline{1, n}$

NoTostilarning dekart ko'paytmasi - bu

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n = \{(\langle \mu_x(x_1, x_2, \dots, x_n) / (x_1, x_2, \dots, x_n) \rangle)\}$$

to'plami, bu yerda

$$x_i \in X_i; \quad \mu_x(x_1, x_2, \dots, x_n) = \min\{\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\}.$$

Misol. $X = \{10, 15, 20, 25\}$ va $Y = \{5, 6, 7\}$ ko'rinishdagi asosiy to'plamlar berilgan. Ushbu to'plamlarda noravshan top'lamostilari

$$A_1 = \{\langle 1/10 \rangle, \langle 0.8/15 \rangle, \langle 0.5/20 \rangle, \langle 0.3/25 \rangle\} \text{ va}$$

$$A_2 = \{\langle 1/5 \rangle, \langle 0.5/6 \rangle, \langle 0.2/7 \rangle\}$$

belgilangan. Ular ustida dekart ko'paytmasi amali bajarish natijasida quyidagi natijalar olinadi:

$$\begin{aligned} A_1 \times A_2 = & \{\langle 1/(10,5) \rangle, \langle 0.8/(15,5) \rangle, \langle 0.5/(20,5) \rangle, \langle 0.3/(25,5) \rangle, \\ & \langle 0.5/(10,6) \rangle, \langle 0.5/(15,6) \rangle, \langle 0.5/(20,6) \rangle, \langle 0.3/(25,6) \rangle, \\ & \langle 0.2/(10,7) \rangle, \langle 0.2/(15,7) \rangle, \langle 0.2/(20,7) \rangle, \langle 0.2/(25,7) \rangle\}; \end{aligned}$$

NoTlarning ayirmasi. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilarining ayirmasi - bu

$$A \setminus B = \{\langle \mu_{A \setminus B}(x) \rangle / x\}, \quad x \in X,$$

bu yerda $\mu_{A \setminus B}(x) = \mu_A(x) \wedge \overline{\mu_B(x)}$ ko'rinishdagi to'plam.

Misol. Aytaylik, $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, M = [0, 1]$.

$$A = \{(x_1 | 0.25), (x_2 | 0.73), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\}.$$

$$B = \{(x_1 | 0.35), (x_2 | 0.87), (x_3 | 0), (x_4 | 1)\}.$$

$$\overline{\mu_B(x)} = 1 - \mu_B(x) \quad \text{asosan}$$

$$\overline{B} = \overline{\mu_B(x)} = 1 - \mu_B(x) = \{(x_1 | 0.65), (x_2 | 0.13), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\}$$

$$\text{Endi } A \setminus B = \{\langle \mu_{A \setminus B}(x) \rangle / x\} = \mu_{A \setminus B}(x) = \mu_A(x) \wedge \overline{\mu_B(x)} = \min(\mu_A(x) \wedge \overline{\mu_B(x)})$$

asosan

$$A \setminus B = \{(x_1 | 0.25), (x_2 | 0.13), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\}.$$

NoTlarning simmetrik ayirmasi. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilarining simmetrik ayirmasi - bu

$$A \oplus B = \{\langle \mu_{A \oplus B}(x) \rangle / x\}, \quad x \in X,$$

bu yerda $\mu_{A \oplus B}(x) = \mu_{A \setminus B}(x) \vee \mu_{B \setminus A}(x)$ ko'rinishdagi to'plam.

Misol. Aytaylik, $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, M = [0, 1]$.

$$A = \{(x_1 | 0.25), (x_2 | 0.73), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\}.$$

$$B = \{(x_1 | 0.35), (x_2 | 0.87), (x_3 | 0), (x_4 | 1)\}.$$

$$1) \overline{\mu_B(x)} = 1 - \mu_B(x) \quad \text{asosan}$$

$$\overline{B} = \overline{\mu_B(x)} = 1 - \mu_B(x) = \{(x_1 | 0.65), (x_2 | 0.13), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\}.$$

$$\text{Endi } A \setminus B = \{< \mu_{A \setminus B}(x) > / x\} = \mu_{A \setminus B}(x) = \mu_A(x) \wedge \overline{\mu_B(x)} = \min(\mu_A(x), \overline{\mu_B(x)})$$

asosan

$$\mu_{A \setminus B}(x) = A \setminus B = \{(x_1 | 0.25), (x_2 | 0.13), (x_3 | 1), (x_4 | 0)\}.$$

$$2) \overline{\mu_A(x)} = 1 - \mu_A(x) \text{ asosan}$$

$$\overline{A} = \overline{\mu_A(x)} = 1 - \mu_A(x) = \{(x_1 | 0.75), (x_2 | 0.27), (x_3 | 0), (x_4 | 1)\}.$$

$$\text{Endi } B \setminus A = \{< \mu_{B \setminus A}(x) > / x\} = \mu_{B \setminus A}(x) = \mu_B(x) \wedge \overline{\mu_A(x)} = \min(\mu_B(x), \overline{\mu_A(x)})$$

asosan

$$\mu_{B \setminus A}(x) = B \setminus A = \{(x_1 | 0.35), (x_2 | 0.27), (x_3 | 0), (x_4 | 1)\}.$$

$$3) \mu_{A \oplus B}(x) = \mu_{A \setminus B}(x) \vee \mu_{B \setminus A}(x) \quad \text{va}$$

$$\mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \text{ formulalarga asosan}$$

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \mu_{A \setminus B}(x) \vee \mu_{B \setminus A}(x) = \{(x_1 | 0.35), (x_2 | 0.27), (x_3 | 1), (x_4 | 1)\}.$$

Algebraik (diz'yunktivli) yig'indi. U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilarining algebraik (dizyunktivli) yig'indisi $A \oplus B$ birlashma va kesishma amallari yordamida quyidagicha aniqlanadi:

$$A \oplus B = (A \cap B) = (A \cap B) \cup (A \cap B) = \mu_A(u) + \mu_B(u) - \mu_A(u) \times \mu_B(u).$$

$$\text{Misol. } U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\},$$

$$A = \{(x_1 | 0.4), (x_2 | 0.8), (x_3 | 0), (x_4 | 1), (x_5 | 0.3)\},$$

$$B = \{(x_1 | 0.6), (x_2 | 0.6), (x_3 | 0), (x_4 | 0), (x_5 | 0.7)\},$$

$$A \oplus B = \{(x_1 | 0.76), (x_2 | 0.92), (x_3 | 0), (x_4 | 1), (x_5 | 0.79)\}.$$

Topshiriqlar. Quyidagilar berilgan: $U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$,

$$A = \{(x_1 | 0.2), (x_2 | 0.4), (x_3 | 1), (x_4 | 0), (x_5 | 0.6)\},$$

$$B = \{(x_1 | 0.4), (x_2 | 0.2), (x_3 | 0), (x_4 | 1), (x_5 | 0.8)\}.$$

A va B NoTostilari ustida $A \setminus B$, $A \oplus B$, $A \cup B$, $A \cap B$, $\sim A = B$, $\sim B = A$, $A \subset B$, $A = B$, $A \times B$, $A \oplus B$ amallarini bajaring?

To'plamlarni noravshan kiritish (qo'shish) amali. A_1 NoTni A_2 NoTga kiritish darajasi

$$\nu(A_1, A_2) = \bigwedge_{x \in X} (\mu_{A_1}(x) \rightarrow \mu_{A_2}(x))$$

qiymat bilan belgilanadi. Bu yerda $\rightarrow$ (implikatsiya) amali quyidagi:

- Lukasevich mantiqi bo'yicha - $\mu_{A_1}(x) \rightarrow \mu_{A_2}(x) = 1 \wedge (1 - \mu_{A_1}(x) + \mu_{A_2}(x))$;

- Zade mantiqi bo'yicha

$$\mu_{A_1}(x) \rightarrow \mu_{A_2}(x) = (1 - \mu_{A_1}(x)) \vee (\mu_{A_1}(x) \wedge \mu_{A_2}(x));$$

- Mamdani mantiqi bo'yicha

$$\mu_{A_1}(x) \rightarrow \mu_{A_2}(x) = \mu_{A_1}(x) \wedge \mu_{A_2}(x) = \min(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x));$$

qoidalar yordamida belgilanadi.

Misol. Asosiy $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ to'plamda NoTostilari

$$A_1 = \{< 0.3/x_2 >, < 0.6/x_3 >, < 0.4/x_5 >\} \quad \text{va}$$

$$A_2 = \{< 0.8/x_1 >, < 0.5/x_2 >, < 0.7/x_3 >, < 0.6/x_5 >\}$$

berilgan bo'lsin. Shu NoTostilarining kiritish va tenglik darajasi qiymatlarini topish talab etiladi.

Lukasevich mantiqidan foydalangan holda quyidagi natijalarni olamiz:

a) kiritish darajasi qiymatlari

$$\begin{aligned} v(A_1, A_2) &= (0 \rightarrow 0.8) \wedge (0.3 \rightarrow 0.5) \wedge (0.6 \rightarrow 0.7) \wedge (0 \rightarrow 0) \wedge (0.4 \rightarrow 0.6) = \\ &= (1 \wedge (1 - 0 + 0.8)) \wedge (1 \wedge (1 - 0.3 + 0.5)) \wedge (1 \wedge (1 - 0.6 + 0.7)) \wedge (1 \wedge (1 - 0 + 0)) \wedge \\ &\wedge (1 \wedge (1 - 0.4 + 0.6)) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v(A_2, A_1) &= (0.8 \rightarrow 0) \wedge (0.5 \rightarrow 0.3) \wedge (0.7 \rightarrow 0.6) \wedge (0 \rightarrow 0) \wedge (0.6 \rightarrow 0.4) = \\ &= (1 \wedge (1 - 0.8 + 0)) \wedge (1 \wedge (1 - 0.5 + 0.3)) \wedge (1 \wedge (1 - 0.7 + 0.6)) \wedge (1 \wedge (1 - 0 + 0)) \wedge \\ &\wedge (1 \wedge (1 - 0.6 + 0.4)) = 0.2 \wedge 0.8 \wedge 0.9 \wedge 1 \wedge 0.8 = 0,2. \end{aligned}$$

NoTlarning tengligi amali. A_1 NoTni A_2 NoTga tenglik darajasi

$$\mu(A_1, A_2) = \bigwedge_{x \in X} (\mu_{A_1}(x) \leftrightarrow \mu_{A_2}(x))$$

qiymat bilan belgilanadi. Bu yerda $\leftrightarrow$ tenglik (ekvivalentlik) amali

$$\mu_{A_1}(x) \leftrightarrow \mu_{A_2}(x) = (\mu_{A_1}(x) \rightarrow \mu_{A_2}(x)) \wedge (\mu_{A_2}(x) \rightarrow \mu_{A_1}(x))$$

yordamida belgilanadi.

$v(A_1, A_2)$ noravshan kiritish ifodani inobatga olgan holda

$$\mu(A_1, A_2) = v(A_1, A_2) \wedge v(A_2, A_1)$$

hosil qilamiz.

Misol. Yuqoridagi misolda Lukasevich mantiqidan foydalangan holda quyidagi kiritish darajasi va qiymatlari $v(A_1, A_2) = 1$ va $v(A_2, A_1) = 0.2$ aniqlangan edi. Bulardan foydalanib endi tenglik darajasi qiymatini aniqlaymiz: $\mu(A_1, A_2) = v(A_1, A_2) \wedge v(A_2, A_1) = 1 \wedge 0,2 = 0,2$.

Odatda quyidagilar faraz qilinadi:

a) Agar $v(A_1, A_2) \geq 0.5$, u holda A_1 noravshan sifatida A_2 kiritiladi, yani $A_1 \subseteq A_2$, aks holda A_1 noravshan sifatida A_2 kiritilmaydi (yani $A_1 \not\subseteq A_2$). Shuni ta'kidlash kerakki, v va μ qiymatlar $[0,1]$ oraliqda o'zgaradi.

b) Agar $\nu(A_1, A_2) \geq 0.5$, u holda A_1 va A_2 noravshan sifatida teng, yani $A_1 \approx A_2$, aks holda noravshan sifatida (agar $\nu(A_1, A_2) \leq 0.5$) teng emas, yani $A_1 \not\approx A_2$ qabul qilinadi. $\mu(A_1, A_2) = 0.5$ - holatda A_1 va A_2 o'zaro

indifferentli, yani $A_1 \approx A_2$ - ham teng, ham teng emas bo'ladi.

Keltirilgan misolda: $A_1 \subset A_2$, $A_2 \not\subset A_1$, $A_1 \not\approx A_2$.

Topshiriq. $\nu(A_1, A_2)$, $\nu(A_2, A_1)$ va $\mu(A_1, A_2)$ qiymatlarni Zade va Mamdani formulalar bo'yicha hisoblang?

NoTlar orasidagi masofa. Matematikada $d(x, y)$ masofa deganda, yani U to'plamda elementlar juftligi uchun quyidagi shartlarni qanoatlantiruvchi qiymatga aytiladi:

- $\forall x, y, z \in U$:
- 1) $d(x, y) \geq 0$ - manfiylik;
 - 2) $d(x, y) = d(y, x)$ - simmetriklik;
 - 3) $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$ - tranzitivlik;
 - 4) $d(x, x) = 0$:

Bu yerda $*$ operator Xemming masofasi tushunchasi bilan bog'liq bo'lib haqiqiy masofani bildiradi, agar operator $*$ $= +$ bo'lsa, u holda u odatdagi yig'indi hisoblanadi.

U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilar orasidagi Xemmimng masofasi

$$d(A, B) = \sum_{i=1}^n |\mu_A(u_i) - \mu_B(u_i)|$$

aniqlanadi. **Misol.**

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7
A=	1	0	0	1	0	1	1
B=	0	1	0	0	0	1	1

$$d(A, B) = |1 - 0| + |0 - 1| + |0 - 0| + |1 - 0| + |0 - 0| + |1 - 1| + |1 - 1| = 1 + 1 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 4.$$

n quvvatga ega bo'lgan chekli U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilar orasidagi Xemmimng masofasi

$$\delta(A, B) = \left(\frac{1}{n}\right) d(A, B)$$

aniqlanadi.

Misol. Yuqoridagi misoldan $\delta(A, B) = d(A, B)/7 = 4/7$.

NoTlar uchun umumlashgan Xemmimng masofasi tushunchasini uchta $(A, B, C) \subset U$ to'plamlarini qaraymiz, bu yerda U - n quvvatli chekli to'plam.

	u_1	u_2	u_3	$\dots$	
A=	a_1	a_2	a_3	$\dots$	
B=	b_1	b_2	b_3	$\dots$	
C=	c_1	c_2	c_3	$\dots$	

Aytaylik, a_i va b_i ($i = \overline{1, n}$) uchun $D(a_i, b_i)$ ($i = \overline{1, n}$), b_i va c_i ($i = \overline{1, n}$) uchun $D(b_i, c_i)$ ($i = \overline{1, n}$) va a_i va c_i ($i = \overline{1, n}$) uchun $D(a_i, c_i)$ ($i = \overline{1, n}$) aniqlangan bo'lsin. U holda ushbu masofalar uchun quyidagi tengsizlik o'rinli

$$\forall i = 1, 2, \dots, n; D(a_i, c_i) \leq D(a_i, b_i) \leq D(b_i, c_i).$$

Buni quyidagicha yozish mumkin:

$$\sum_{i=0}^n D(a_i, c_i) \leq \sum_{i=0}^n D(a_i, b_i) + \sum_{i=0}^n D(b_i, c_i),$$

$$\sqrt{\sum_{i=0}^n D^2(a_i, c_i)} \leq \sqrt{\sum_{i=0}^n D^2(a_i, b_i)} + \sqrt{\sum_{i=0}^n D^2(b_i, c_i)}.$$

Bu ikkita formulalar NoTostilar orasidagi masofaning bahosini beradi: birinchisi -chiziqli, ikkinchisi esa-kvadratikli baholar.

NoTostilari orasidagi masofalarni hisoblashda qo'llaniladigan ma'lum formulalar 3.3-jadvalda keltirilgan [24].

3.3-jadval. Universal U to'plamda NoTostilari uchun masofalarni hisoblash formulalari.

Masofalar turi	UT turi	Masofalarni hisoblash formulalari
Xemming	$ U =n$	$d(A, B) = \sum_{i=0}^n \mu_A(u_i) - \mu_B(u_i) $
Xemming	$U \subseteq R^I$	$d(A, B) = \int_U \mu_A(u) - \mu_B(u) du$
Xemmingga nisbatan	$U \subseteq R^I$	$\delta(A, B) = \frac{1}{ U } \int_U \mu_A(u) - \mu_B(u) du$

Evklid	$ U =n$	$l(A, B) = \sqrt{\sum_{i=0}^n (\mu_A(u_i) - \mu_B(u_i))^2}$
Evklidga nisbatan	$ U =n$	$\varepsilon(A, B) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=0}^n (\mu_A(u_i) - \mu_B(u_i))^2}$
Xemmingga nisbatan	$ U =n$	$\delta(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \mu_A(u_i) - \mu_B(u_i) $
Evklid	$U \subseteq R^I$	$l(A, B) = \sqrt{\int_U \mu_A(u) - \mu_B(u)^2 du}$
Evklidga nisbatan	$U \subseteq R^I$	$\varepsilon(A, B) = \frac{1}{\sqrt{ U }} \sqrt{\int_U \mu_A(u) - \mu_B(u)^2 du}$

Masofa tushunchasidan to'plamning *noravshanlik darajasini* o'lchash uchun foydalaniladi. *Noravshanlik o'lchovi*-bu protseduralar, qaror qabul qilish, timsollarni anglash va h.k. larda sifatni baholash parametridir. Masofalarni aniqlashning keltirilgan formulalarini NoTga yaqin bo'lgan odatdagi to'plamostilari uchun qo'llanilishiga oddiy misollar keltiramiz. Xulosa qiladigan bo'lsak, A ravshan to'plam Xemming masofasi bo'yicha NoTga juda yaqin joylashgan bo'ladi (yoki juda kichik normaga ega bo'ladi).

NoTlar uchun noravshanlik darajasi aniqlangan bo'lsa, u holda quyidagi mansublik qoidasi asosida NoTdan ravshan to'plamni hosil qilish mumkin:

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & \text{agar } \mu_A(u_i) < 0.5, \\ 1, & \text{agar } \mu_A(u_i) \geq 0.5. \end{cases}$$

Misol.

Noravshan to'plam	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8
	0.2	0.8	0.5	0.3	1	0	0.9	0.4
Ravshan to'plam	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8
	0	1	0	0	1	0	1	0

α -pog'onali to'plamosti. Aytaylik $\alpha \in [0,1]$; A NoTostining α -pog'onali to'plamosti deb- $A_\alpha = \{x | \mu_A(u) \geq \alpha\}$ NoTostiga aytiladi.

Misol. Aytaylik, A NoTosti berilgan bo'lsin.

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7
A=	0.4	0.2	0	0.5	0.3	0.7	0.9

A NoTostiga α -pog'onali to'plamostini qo'llab $A_{0.3}$ va $A_{0.6}$ ravshan to'plamostilariga ega bo'lamiz:

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7
$A_{0.3} =$	1	0	0	1	1	1	1
$A_{0.6} =$	0	0	0	0	0	1	1

3.5. Noravshan munosabatlar

Munosabat tushunchasi matematikada va SITlarida: timsollarni anglashda, murakkab tizimlarni loyihalashda, xulosalashlarda, BBni shakllantirish tizimlarida, tahlilda, boshqarishda, modellashtirishda, qaror qabul qilishda va h.k. larda muhim ahamiyatga ega. Bularni NoTlar holi uchun ham umumlashtirish mumkin. Buning uchun qandaydir yangi xossalarni topish kerak bo'ladi. Masalan, "*ekivalent sinf*" tushunchasini "*o'xshaydigan sinf*" tushunchasiga qat'iy ma'noda emas, balkim ko'pchilik ilovalar uchun umumiy ma'noga egaligiga qarab almashtirish mumkin. Oldingi tartib va tartib qiyoslash yo'li bilan umumlashtiriladi, o'xshashlik va o'xshashmaslik munosabatlari aniqlanadi va h.k.

Noravshan *implikatsiya* va *kompozitsiya* amallari noaniqlik sharoitlarida qarorlarni qabul qilishda noravshan munosabat qiymatlarni topish va noravshan mantiqiy xulosalarni shakllantirish uchun asosiy bo'lib hisoblanadi [11, 16, 19, 24].

Faraz qilaylik, $E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$ - $E_i, i = \overline{1, n}$ universal to'plamlarning dekart ko'paytmasi va $M = [0,1]$ - qandaydir MFlar to'plami bo'lsin. U holda noravshan juftli munosabat o'zining qiymatlarini M to'plamdan oladigan E to'plamning R *qism to'plami* deb ataladi.

$n = 2$ va $M = [0,1]$ bo'lganda, masalan $X = E_1$ va $Y = E_2$ to'plamlar o'rtasidagi noravshan munosabat (NM) har bir $(x, y) \in X \times Y$ elementlar juftiga $\mu_R(x, y) \in [0,1]$ qiymatni muvofiqlashtiradigan $R : (X, Y) = [0,1]$ funksiya bilan ifodalanadi.

$X \times Y$ to'plamda beriladigan NM $x \in X, y \in Y: xRy$ tavsiflanadi. Bunday munosabat *binar (ikkili) munosabat deb ataladi*. Agar $X = Y$ bo'lsa, u holda $R: X \times X \rightarrow [0,1]$ X to'plamda berilgan NM deb nomlanadi.

NMlar *matritsa* yoki *graf* ko'rinishda beriladi. X to'plamdagi R noravshan binar munosabat - bu $X \times X$ ko'paytmaning $\mu_R: X \times X \rightarrow [0,1]$ MFsi bilan ifodalanadigan qism to'plamidir. Aniq $(x_i, x_j) \in X \times X$ o'zgaruvchilar jufti uchun $\mu_R(x_i, x_j)$ qiymati $x_i R x_j$ munosabat to'g'irlik darajasini belgilaydi.

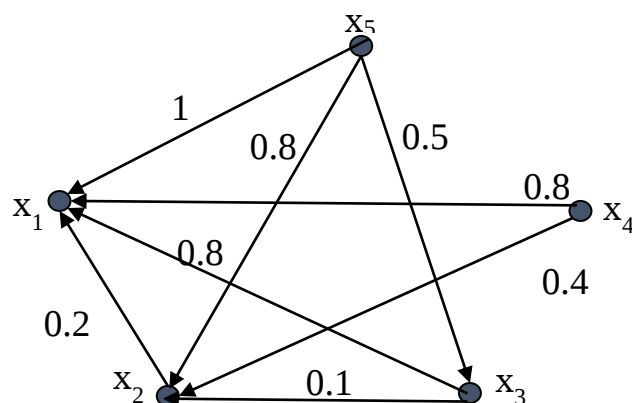
Kichik va cheklangan X da R NMning $M(R)$ kvadrat matritsa ko'rinishida berilishi qulay hisoblanadi. Bu matritsaning ustun va satrlari $x \in X$ elementlar bilan belgilanadi, yani satr x_i , ustun x_j bilan, elementlari esa $r_{ij} = \mu_R(x_i, x_j)$ qiymat bilan aniqlanadi.

Misol. $X = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ ko'rinishdagi asosiy to'plam berilgan. Bu X to'plamda R - "Ancha katta" munosabatni topish kerak. Ekspert xulosalari bo'yicha bu munosabatning matritsasi 3.5-rasmdagi ko'rinishda bo'ladi.

$$M(R) = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 3 & 5 & 7 & 9 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 0.8 & 0.4 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & 1 & 0.8 & 0.5 & 0 & 0 \end{array}$$

3.5-rasm.

Bu munosabat $G = (X, U)$ *graf ko'rinishda* beriladi. Bu yerda $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ - uchlar to'plami, $U = \{ \langle \mu_R(x_i, x_j) / (x_i, x_j) \rangle \}$, $\mu_R(x_i, x_j) > 0, x_i, x_j \in X$ - yo'naltirilgan (x_i uchdan x_j uchga) noravshan yo'ylar to'plami. Misolda keltirilgan R - "Ancha katta" munosabatni aks etadigan graf 3.6-rasmda keltirilgan.



3.6 - rasm. R - “ancha katta” munosabatni aks etadigan graf.

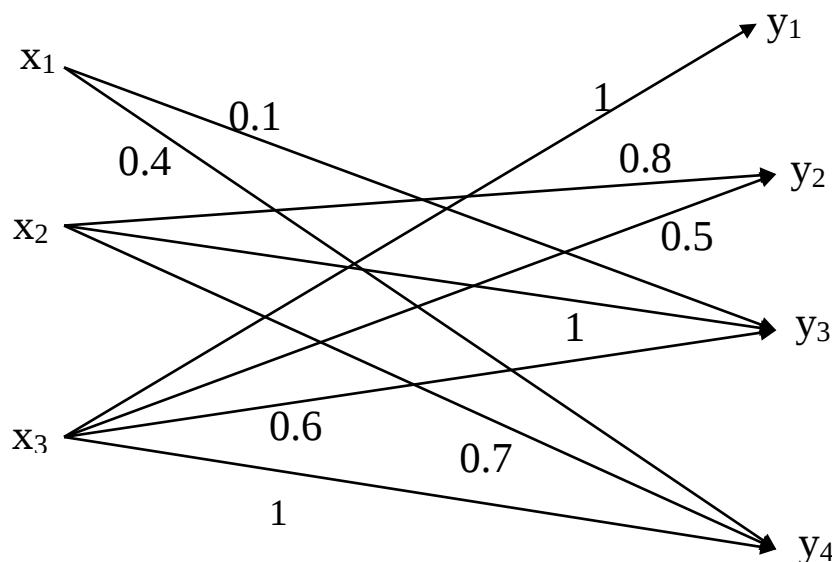
Misol. $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$ berilgan to'plamlar va R munosabatning $\mu_R(x_i, y_j)$ MFlari 3.4-jadvaldagidek bo'ladi.

3.4-jadval.

	y_1	y_2	y_3	y_4
x_1	0	0	0.1	0.3
x_2	0	0.8	1	0.7
x_3	1	0.5	0.6	1

Bu jadvalda satr nomlari - x to'plam o'zgaruvchilari bilan, ustunlari esa - Y to'plam o'zgaruvchilari bilan belilangan. Jadvalning elementlarida MFning $m_{ij} = \mu_R(x_i, y_j)$, $m_{ij} \in M = [0,1]$ qiymatlari ko'rsatilgan.

$R = X \times Y$ munosabatning graf ko'rinishdagi ifodasi 3.7-rasmda keltirilgan.



3.7 - rasm. $R = X \times Y$ munosabatning graf ko'rinishdagi ifodasi.

Bu yerda uchlar - $x \in X$, $y \in Y$ to'plamlar elementlari, yoylar esa - X va Y o'rtasidagi NMLarni aks ettiradi. Yoylarning qiymatlari $\mu_R(x_i, y_j)$ tegishli qiymatlarga mos bo'ladi.

$X R Y$ ifoda - bu to'g'rilik darajasining qiymati $\mu_R(x, y)$ ga teng bo'lgan noravshan mantiqiy mulohazadir. Shuning uchun aniq R munosabatni tafsivlash uchun X va Y o'zgaruvchilardan bog'liq bo'lgan aniq noravshan mantiqiy formulani yoki $X \times Y$ to'plamda $[0,1]$ oraliqdagi qiymatlarga ega bo'lgan noravshan predikatni berish kerak. Bu formulalar noravshan mantiqiy amallar (birlashtirish, kesishish, qo'shimcha/noravshan inkor, implikasiya) kombinatsiyalari yordamida qurilishi mumkin.

Mantiqiy xulosa chiqarishlarni hosil qilishda ko'pincha $R = X \rightarrow Y$ implikasiya turdagi munosabatdan foydalaniladi. U "Agar ..., u holda" mahsuliy(produktsiya) qoidasini aks ettiradi. Ular quyida keltiriladigan Zade, Lukasevich yoki Mamdani qoidalari bo'yicha belgilanadi [11, 16, 19, 24].

Dastlabki shartlar va yakuniy xulosalar to'plamlari o'rtasidagi bunday NMLar $X \times Y$ ko'paytma ko'rinishda beriladi. Uning qiymati

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{(\mu_R(x_i, y_j) / (x_i, y_j))\},$$

bo'yicha belgilanadi, bu yerda $\{x_i\} \in X$ - shartlar to'plami, $\{y_j\} \in Y$ - xulosalar to'plami, $\mu_R(x_i, y_j) \in [0,1]$ - (x_i, y_j) elementlarning R NMga nisbatan MFsi, $\sum$ - to'plamlarni birlashtirishni (yig'indisini emas) anglatadi.

Agar $A \in X$ va $B \in Y$ to'plamlar berilgan bo'lsa, u holda $R = A \rightarrow B$ NoT :

$$R = A \times B = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{(\mu_A(x_i) \wedge \mu_B(y_j) / (x_i, y_j))\}$$

yoki Mamdani qoidasi bo'yicha

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

qurilishi mumkin.

Misol. Aytaylik x va y - 1dan 4gacha natural sonlar bo'lsin, yani $X = Y = \{1,2,3,4\}$. Bu to'plamlarda "A - kichik" va "B - katta" NoTlar belgilangan, masalan

$$A = \{\mu_A(x_i) / (x_i)\} = \{(1/1), (0,6/2), (0,1/3), (0/4)\};$$

$$B = \{\mu_B(y_j)/(y_j)\} = \{(0/1), (0,1/2), (0,6/3), (1/4)\}$$

ko`rinishlarda berilgan bo`lsin.

Bu holatda, masalan, “Agar x kichik bo`lsa, u holda y katta”, yani $R = A \rightarrow B$ munosabatni (bu yerda $\rightarrow$ - noravshan implikatsiya) quyidagicha qurish mumkin.

Avval y_j ustun va x_i satrlardan iborat *matritsa* quriladi. Keyin matritsa elementlarining $\mu_R(x_i, y_j)$ qiymatlari o`rnatiladi. Bu qiymatlar  $\mu_A(x_i)$  ni  $\mu_B(y_j)$  ga ko`paytirish (yuqorida keltirilgan $\min(\mu_A(x), \mu_B(y))$ amalidan foydalanib) yo`li bilan hosil qilinadi.

Natijada R munosabat jadvalini 3.5-jadval ko`rinishida hosil qilamiz.

3.5-jadval.

$$R =$$

	y_1	y_2	y_3	y_4
x_1	0	0.1	0.6	1
x_2	0	0.1	0.6	0.6
x_3	0	0.1	0.1	0.1
x_4	0	0	0	0

Bu yerda $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} = \{1, 2, 3, 4\}$; $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\} = \{1, 2, 3, 4\}$.

Aytaylik $U_1 = \{x\}$ va $U_2 = \{y\}$ odatdagi to`plamlar bo`lsin. U_1 va U_2 to`plamlarning to`g`ri ko`paytmasi $U_1 \times U_2$ tartiblangan juftliklar (x, y) , yani $U_1 \times U_2 = \{(x, y) : x \in U_1; y \in U_2\}$ to`plamidan iborat bo`ladi.

Aytaylik M - MFlar to`plami bo`lsin. U holda $\forall (x, y) \in U_1 \times U_2; R(x, y) \in M$ NoTdan iborat R NoT $U_1 \times U_2$ UTlarda binary munosabat deb ataladi [37, 60, 80].

Misol. Bizga $U_1 = \{x_1, x_2, x_3\}$, $U_2 = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$, $M = [0, 1]$ bo`lsin. U holda noravshan binar munosabatni sub`yektiv ravishda 3.6-jadval ko`rinishida berish mumkin:

3.6-jadval.

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	0	0	0.1	0.3	1
x_2	0	0.8	0	0	1
x_3	0.4	0.4	0.5	0	0.2

Umumlashtirib, noravshan n -juftli munosabatni, yani $P_n = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ da NoTni hosil qilamiz.

Endi exstremumni belgilash uchun quyidagi simvollardan foydalanamiz:

$\bigvee_x$ - x element yoki o'zgaruvchiga nisbatan maksimum;

$\bigwedge_x$ - x element yoki o'zgaruvchiga nisbatan minimum;

U holda

$$\mu_1(x) = \bigvee_y \mu(x, y) = \max_y \mu(x, y) \text{ va } \mu_1(x) = \bigwedge_y \mu(x, y) = \min_y \mu(x, y).$$

NMning proyeksiyalari. R ning birinchi proyeksiyasi quyidagi MFsini aniqlaydi [16, 19]:

$$\mu_R^{(1)}(x) = \bigvee_y \mu_R(x, y).$$

R ning ikkinchi proyeksiyasi esa quyidagi MFsini aniqlaydi:

$$\mu_R^{(2)}(x) = \bigwedge_y \mu_R(x, y).$$

Birinchi proyeksiyalarning ikkinchi proyeksiyasini (yoki teskarisini) NMning global proyeksiyasi deb ataymiz va $h(R)$ bilan belgilaymiz:

$$h(R) = \bigvee_x \bigvee_y \mu_R(x, y) = \bigvee_y \bigvee_x \mu_R(x, y)$$

Misol. R matritsani beramiz va NMning birinchi, ikkinchi va global proyeksiyalarini hisoblaymiz (3.8-rasm).

	y_1	y_2	y_3	y_4	1-proyeksiya
x_1	0.3	0.6	0	0.5	0.6
x_2	0.7	0.8	0.4	0.1	0.8
x_3	1	0.5	0.7	0.6	1
x_4	0.8	0.1	0.3	0	0.8
	2-proyeksiya				Global proyeksiya
	1	0.8	0.7	0.6	1

3.8-rasm. NMning proyeksiyalarini hisoblash.

Ikkita NMning kompozitsiyasi. $X \times Y$ dagi R_1 va $Y \times Z$ dagi R_2 NMLarning kompozitsiya amali $X \times Z$ da NMni aniqlashga imkon beradi.

Max-min kompozitsiya. Aytaylik $R_1 \subset X \times Y$ va $R_2 \subset Y \times Z$ bo'lsin. R_1 va R_2 munosabatlarning "max-min" - kompozitsiyasi $R_1 \circ R_2$ shaklda belgilanadi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [37, 60, 80]:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(x, z) = \bigvee_y [\mu_{R_1}(x, y) \wedge \mu_{R_2}(y, z)] = \max[\min(\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z))].$$

Bu yerda $x \in X, y \in Y, z \in Z$.

Misol. Aytaylik $\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z)$ MFlari chegaralangan $x \in X, y \in Y, z \in Z$ UTda R_1 va R_2 jadvallar ko'rinishda berilgan bo'lsin. R_1 va R_2 munosabatlarning $R_1 \circ R_2$ "max-min" – kompozitsiyasini aniqlaymiz (3.9-rasm).

		y ₁	y ₂	y ₃	y ₄
R ₁	x ₁	0.3	0.5	1	0
	x ₂	0.6	0.7	0	0.2
	x ₃	0.8	0	1	0.1

		z ₁	z ₂	z ₃	z ₄
R ₂	y ₁	0.9	0.4	0	1
	y ₂	0.3	0.5	1	0.4
	y ₃	0.6	1	0	0.3
	y ₄	0.4	0	1	0.7

		z ₁	z ₂	z ₃	z ₄
R	x ₁	0.6	1	0.5	0.4
	x ₂	0.6	0.5	0.7	0.6
	x ₃	0.8	0.4	1	0.8

3.9-rasm. Max-min kompozitsiyani hisoblashga misol.

3.9-rasmdagi R_1 va R_2 munosabatlarning matritsalar bilan berilgan qiymatlaridan foydalanib $R_1 \circ R_2$ kompozitsiya quyidagicha hisoblanadi:

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_1)) = \min(0.3, 0.9) = 0.3;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_1)) = \min(0.5, 0.3) = 0.3;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_1)) = \min(1, 0.6) = 0.6;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_1)) = \min(0, 0.4) = 0;$$

$$\max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.3, 0.3, 0.6, 0) = 0.6.$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_2)) = \min(0.3, 0.4) = 0.3;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_2)) = \min(0.5, 0.5) = 0.5;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_2)) = \min(1, 1) = 1;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_2)) = \min(0, 0) = 0;$$

$$\max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.3, 0.5, 1, 0) = 1.$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_3)) = \min(0.3, 0) = 0;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_3)) = \min(0.5, 1) = 0.5;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_3)) = \min(1, 0) = 0;$$

$$\min(\mu_{R_1}(x_1, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_3)) = \min(0, 1) = 0;$$

$$\max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0, 0.5, 0, 0) = 0.5.$$

$$\begin{aligned}
& \min(\mu_{R_1}(x_1, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_4)) = \min(0.3, 1) = 0.3; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_1, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_4)) = \min(0.5, 0.4) = 0.4; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_1, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_4)) = \min(1, 0.3) = 0.3; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_1, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_4)) = \min(0, 0.7) = 0; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.3, 0.4, 0.3, 0) = 0.4.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_1)) = \min(0.6, 0.9) = 0.6; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_1)) = \min(0.7, 0.3) = 0.3; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_1)) = \min(0, 0.6) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_1)) = \min(0.2, 0.4) = 0.2; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.6, 0.3, 0, 0.2) = 0.6.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_2)) = \min(0.6, 0.4) = 0.4; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_2)) = \min(0.7, 0.5) = 0.5; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_2)) = \min(0, 1) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_2)) = \min(0.2, 0) = 0; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.4, 0.5, 0, 0) = 0.5.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_3)) = \min(0.6, 0) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_3)) = \min(0.7, 1) = 0.7; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_3)) = \min(0, 0) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_3)) = \min(0.2, 1) = 0.2; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0, 0.7, 0, 0.2) = 0.7.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_4)) = \min(0.6, 1) = 0.6; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_4)) = \min(0.7, 0.4) = 0.4; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_4)) = \min(0, 0.3) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_2, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_4)) = \min(0.2, 0.7) = 0.2; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.6, 0.4, 0, 0.2) = 0.6.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_1)) = \min(0.8, 0.9) = 0.8; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_1)) = \min(0, 0.3) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_1)) = \min(1, 0.6) = 0.6;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_1)) = \min(0.1, 0.4) = 0.1; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.8, 0, 0.6, 0.1) = 0.8. \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_2)) = \min(0.8, 0.4) = 0.4; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_2)) = \min(0, 0.5) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_2)) = \min(1, 1) = 1; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_2)) = \min(0.1, 0) = 0; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.4, 0, 1, 0) = 0.4. \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_3)) = \min(0.8, 0) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_3)) = \min(0, 1) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_3)) = \min(1, 0) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_3)) = \min(0.1, 1) = 0.1; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0, 0, 0, 0.1) = 1. \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_1), \mu_{R_2}(y_1, z_4)) = \min(0.8, 1) = 0.8; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_2), \mu_{R_2}(y_2, z_4)) = \min(0, 0.4) = 0; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_3), \mu_{R_2}(y_3, z_4)) = \min(1, 0.3) = 0.3; \\
& \min(\mu_{R_1}(x_3, y_4), \mu_{R_2}(y_4, z_4)) = \min(0.1, 0.7) = 0.1; \\
& \max_{y_i}[\min(\mu_{R_1}(x_i, y_i), \mu_{R_2}(y_i, z_i))] = \max(0.8, 0, 0.3, 0.1) = 0.8.
\end{aligned}$$

Natijalar 3.9 rasmdagi $R_1 \circ R_2$ jadvalda keltirilgan.

Noravshan binar munosabatlarning ba'zi bir tiplarini keltiramiz.

1) Tranzitivki va refleksivli noravshan binar munosabat- oldindan tartiblangan NM deyiladi.

2) Oldindan tartiblangan noravshan antisimmetrikli munosabat- tartiblangan NM deyiladi.

3) Tranzitivli, refleksivli va simmetrikli noravshan binar munosabat- o'xshashlik munosabati deyiladi.

4) Antirefleksivlik, simmetriklik va (min-max) – tranzitivlik xossalriga ega bo'lgan noravshan binar munosabat -farqlovchi munosabat deyiladi.

4-§. Noravshan mantiqiy xulosa chiqarish qoidalari

Noravshan mantiqiy xulosalash tizimlari ko'psonli NoTlar ilovalarida (ETlar, BBni avtomatik boshqarish tizimlari, timsollarni anglash, murakkab tizimlarni loyihalash, NTlar, qaror qabul qilish tizimlari, tabiiy tilni tushunish va h.k.) muhim ahamiyatga ega.

Bunday tizmlarning ko'pchiligi noravshan dalillar va xulosalardan iborat «*Agar . . . , u holda . . . »* ko'rinishdagi mantiqiy qoidaga asoslanadi.

“Modus ponens” asosida noravshan xulosalash. Odatdagi mantiqda “Modus ponens”- $\frac{A, A \rightarrow B}{B}$ asosida xulosalash qoidasi ma'lum [16, 19]:

1-dalil: agar x bu A bo'lsa, u holda y bu B bo'ladi;

2-dalil: x bu A bo'lsa;

Oqibat: y bu B bo'ladi.

Bu yerda x, y -obyektlar nomi, A, B - mos ravishda U va V xulosalash sohalaridagi tushunchalarni bildiradi.

Misol.

1-dalil: agar olma shirin bo'lsa, u holda olma pishgan;

2-dalil: bu olma shirin;

Oqibat: bu olma pishgan.

Ushbu qoidalarni sabablari noravshan tushunchalardan iborat bo'lgan hol uchun quyidagicha yozish mumkin:

1-dalil: agar x bu A bo'lsa, u holda y bu B bo'ladi;

2-dalil: x bu A^1 bo'lsa;

Oqibat: y bu B^1 bo'ladi.

Misol.

1-dalil: agar olma shirin bo'lsa, u holda olma pishgan;

2-dalil: bu olma juda shirin;

Oqibat: bu olma juda pishgan.

Biz $A^1=A$ va $B^1=B$ bo'lganda odatdagi “Modus ponens” ni va oxirgi misolda esa umumlashgan “Modus ponens” hosil qilamiz.

Qaror qabul qilish (QQQ) tizimlarida boshqaruv qarorlarining xususiyati va qiymatlari R munosabatni chiqarishning *kompozitsiya qoidasi* asosida belgilanadi. Formal ko'rinishda bunday QQQ modeli (X, R, Y) uchligi bilan beriladi. Bu yerda $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ - A_i kirishlar va B_j chiqishlar bilan berilgan asosiy to'plamlar, R - “Kirish - chiqish” NMI.

Odatda R munosabat ekspert tomonidan so'z bilan ifodalangan va keyinchalik formallashtirilgan sifatli axborot asosida quriladi. Ekspert axborotlari “*Agar A_1 , u holda B_1 , yoki Agar A_2 , u holda $B_2, \dots$, yoki*

Agar A_n , u holda B_n shaklidagi mulohazalar yig'indisi ko'rinishda ifodalanadi. Bu yerda A_i, B_i - tegishli $\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y), x \in X, y \in Y$ MFlari bilan beriladigan kirish va chiqishga ega bo'lgan NoTlar. $R_i = \langle\langle \text{Agar } A_i, u \text{ holda } B_i \rangle\rangle$ qoidasi $\mu_{R=A \rightarrow B}(x, y)$ MFsi bilan belgilanadi. Uning qiymati yuqorida keltirilgan formula yordamida topiladi. "Yoki" bog'lamasi R_i qoidalar yig'indisini birlashtiradi va natijada umumlashtirilgan yakuniy R qoidasi

$$R = \bigcup_i R_i = \max_i (\min(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y))), i = \overline{1, n}$$

hosil bo'ladi.

Agar joriy vaqt uchun tizimning kirish holati aniq A' qism to'plam bilan belgilangan va umumiy R boshqaruv qarori ma'lum bo'lsa, u holda ushbu R qarorning tizimni kirishiga ta'siri natijasi $B' = A' \circ R$ chiqarishning kompozitsiya qoidasi yordamida belgilanadi. Bu holatda $\mu_{B'}(y)$ qiymatlari yuqorida keltirilgan maksminli amali

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \bigvee_X (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_R(x, y)) = \bigvee_X (\mu_{A'}(x) \wedge (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y))) = \\ &= (\bigvee_X (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_A(x))) \wedge \mu_B(y) = \mu_{A' \cap A}(x) \wedge \mu_B(y) = \delta \wedge \mu_B(y). \end{aligned}$$

yordamida topiladi.

Bu yerda $\delta = \mu_{A' \cap A}(x)$ - "Agar A , u holda B " qoida(implikatsiya)da "Agar A " va "Agar A " mulohazaning to'g'rilik darajasini ko'rsatadi. U foydalanuvchi talablari va qoidalarida beriladigan ma'lumotlar o'rtasidagi muvofiqlik darajasini belgilaydi.

Noravshan mantiqiy xulosa chiqarish(NMXCH)ning bir qancha *algoritmlari* mavjud [16,19]. Ular bir-biridan implikatsiya qoidalaridan foydalanishi bilan farq qiladi. Tegishli aniq qoidani ekspert o'zining mezoniga qarab tanlab oladi.

Mamdani bo'yicha noravshan xulosa chiqarish. Faraz qilaylik, quyidagi ikki qoida

$$R_1 : \text{Agar } x \text{ bu } A_1 \text{ va } u \text{ bu } B_1, u \text{ holda } z \text{ bu } C_1;$$

$$R_2 : \text{Agar } x \text{ bu } A_2 \text{ va } u \text{ bu } B_2, u \text{ holda } z \text{ bu } C_2$$

berilgan bo'lsin, bu yerda: x, y - kirish o'zgaruvchilar; z - chiqish o'zgaruvchi; $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ - kirish va chiqish o'zgaruvchilarning muayyan(aniiq) MFlari, yani tegishli MF bilan berilgan noravshan termlari.

Beriladigan x_0, y_0 aniq(ravshan) qiymatlari asosida z_0 ning aniq qiymatini topish kerak.

R_1 va R_2 qoidalar uchun tegishli α_1 va α_2 to'g'rilik darajalari $\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$, $\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0)$ ifodalar bilan belgilanadi.

NMXCH algoritmi quyidagi protseduralarning bajarilishidan iborat [16,19]:

1) Aniq (ravshan) x_0, y_0 qiymatlarni fazzifikatsiyalash, yani A_1, A_2, B_1 va B_2 NoTlarning x_0 va y_0 aniq qiymatlari uchun tegishli MF qiymatlariga asoslanib, α_1 va α_2 to'g'rilik darajalarini hisoblash.

2) R_1 va R_2 munosabatlar uchun oraliq - $\mu_{C'_1}(z)$ va $\mu_{C'_2}(z)$ noravshan chiqarishlarni shakllantirish. Bunda implikasiya amali sifatida minimum (noravshan konyunksiya) amali

$$\mu_{C'_1}(z) = \alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(z), \quad \mu_{C'_2}(z) = \alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(z)$$

qo'llaniladi.

Keyin olingan $\mu_{C'_1}(z)$ va $\mu_{C'_2}(z)$ NTlar, maksimum (noravshan dizyunksiya) amali yordamida birlashtiriladi va yakuniy $\mu_c(z)$ NMXCh qiymati topiladi:

$$\begin{aligned} \mu_c(z) &= \mu_{C'_1}(z) \vee \mu_{C'_2}(z) = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(z)] = \\ &= \max[\min(\alpha_1, \mu_{C_1}(z)), \min(\alpha_2, \mu_{C_2}(z))] \end{aligned}$$

3) Noaniq $\mu_c(z)$ qiymatni, kirish o'zgaruvchining aniq x_0, y_0 qiymatlariga munosib bo'lgan, aniq z_0 qiymatga o'zgartiriladi (defazzifikatsiyalanadi). Buning uchun amalda ikkita, yani sentroidni va maksimum sentroidni topish usullari qo'llaniladi.

Tsentroidni topish usuli uchun

$$Z_{TS} = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_c(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_c(z_j)}$$

foydalaniladi.

Maksimum tsentroidni topish usuli uchun $Z_{MM} = \sum_{j=1}^m \frac{z_j}{m}$ ishlatiladi.

Defazzifikatsiyalash uchun boshqa usullar ham mavjud, yani maydon markazi, chap(birinchi) maksimum, o'ng(oxirgi) maksimum va b.q.

Larsen bo'yicha noravshan xulosa chiqarish. Bu yerda algebraik ko'paytma amali ko'rinishdagi noravshan implikasiya amali qo'llaniladi. Bu holda yechim $\mu_{C_1}(z) = \alpha_1 \cdot \mu_{C_1}(z)$, $\mu_{C_2}(z) = \alpha_2 \cdot \mu_{C_2}(z)$ ko'rinishlarda topiladi. Ularni birlashtirish natijasida yakuniy $\mu_c(z)$ NMXCH qiymati $\mu_c(z) = [\alpha_1 \cdot \mu_{C_1}(z)] \vee [\alpha_2 \cdot \mu_{C_2}(z)]$ aniqlanadi [16,19].

Zade bo'yicha noravshan xulosa chiqarish. Bu holda maksimum amali ko'rinishdagi noravshan implikasiya amali qo'llaniladi. Yechim quyidagi

$$\mu_{C_1}(z) = (1 - \alpha_1) \vee \mu_{C_1}(z); \quad \mu_{C_2}(z) = (1 - \alpha_2) \vee \mu_{C_2}(z);$$

$$\mu_c(z) = [(1 - \alpha_1) \vee \mu_{C_1}(z)] \vee [(1 - \alpha_2) \vee \mu_{C_2}(z)]$$

ko'rinishlarda topiladi [11,16,19,].

Lukasevich bo'yicha noravshan xulosa chiqarish. Bu holda Lukasevich qoidasi ko'rinishdagi noravshan implikasiya amali qo'llaniladi. Yechim

$$\mu_c(z) = [1 \wedge (1 - \alpha_1 + \mu_{C_1}(z))] \vee [1 \wedge (1 - \alpha_2 + \mu_{C_2}(z))]$$

ko'rinishda topiladi [16,19].

5-§. Lingvistik o'zgaruvchilar

LO' noravshan o'zgaruvchlarga nisbatan ancha yuqori tartibli hisoblanadi. Bu shu bilan aniqlanadiki, *LO'*ning qiymati noravshan hisoblanadi. Masalan, «sifat» *LO'*sining qiymati «past», «ancha past», «o'rtacha», «yuqoriroq», «yuqori», «ancha yuqori» va h.k. bo'lishi mumkin. Keltirilgan har bir qiymat *NO'*ning nomi hisoblanadi.

Demak, *LO'*ning qiymati sonli o'zgaruvchi emas, balki tabiiy tildagi yoki formal tildagi *so'z* yoki *gap* hisoblanadi. *LO'*ning bu xossasi murakkab, odatdagi tabiiy tilda sonli murakkab tavsiflanuvchi tizimlarni va hodisalarni taxminiy tavsiflashga imkoniyat yaratadi.

*LO'*ning strukturasi tavsiflash uchun quyidagi *ikkita qoidadan* foydalaniladi [16]:

- *Sintaktikli*- bu o'zgaruvchi qiymatlari nomini hosil qilishni grammatikalar shaklida berish uchun qo'llaniladigan qoida;
- *Semantikli*-bu o'zgaruvchining har qiymatinining ma'nosini hisoblash uchun algoritmik protsedurani aniqlash uchun qo'llaniladigan qoida;

LO' tushunchasi-bu quyidagi ko'rinishdagi *bashlik*:

$$\langle A, T(A), U, V, M \rangle.$$

Bu yerda:

A-lingvistik o'zgaruvchi nomi;

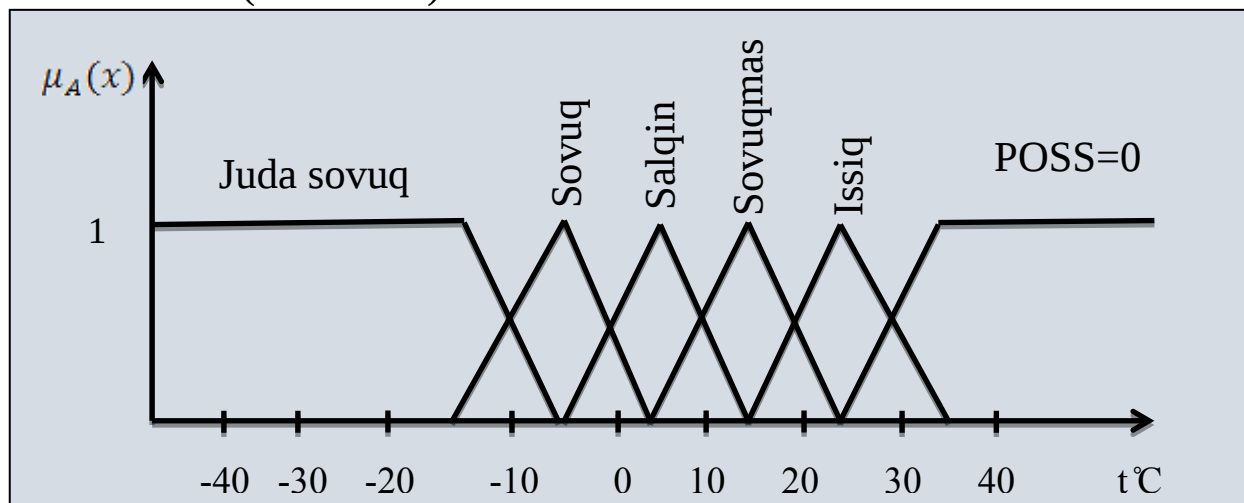
$T(A)$ -A o'zgaruvchilarning term-to'plami, yani A o'zgaruvchining lingvistik qiymatlari nomlarining to'plami bo'lib, bu qiymatlarning har biri U UTdan olingan NO'ning qiymatlar hisoblanadi;

U-UT bo'lib, LO'ning aniqlanish sohasini (qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlarning intervalini) ifodalaydi;

V-sintaktik qoida bo'lib, bu A o'zgaruvchining qiymatlari nomini hosil qilishni grammatikalar shaklida berish uchun qo'llaniladi;

M-semantik qoida bo'lib, U UTning $T(A)$ NO'larining har bir NO'sini moslashtirish uchun qo'llaniladi;

Misol. Aytaylik bizni o'rab turgan havo haroratining qiymati quyidagi tushunchalar bilan aniqlansin: «juda sovuq», «sovuq», «salqin», «sovuqmas», «issiq», «juda issiq». Har bir tusuncha-qiymatga qandaydir harorat mos keladi (3.10-rasm).



3.10-rasm. «Harorat» lingvistik o'zgaruvchisi.

Agar haroratning quyi va yuqori qiymatlarini mos ravishda -40°C va $+40^{\circ}\text{C}$ dan iborat deb olsak, u holda «harorat» LO'ning qiymatlarini formal ko'rinishda quyidagicha tasvirlash mumkin:

$\{harorat, juda sovuq, sovuq, salqin, sovuqmas, issiq, juda issiq$
 $[-40, +40], V, M\}.$

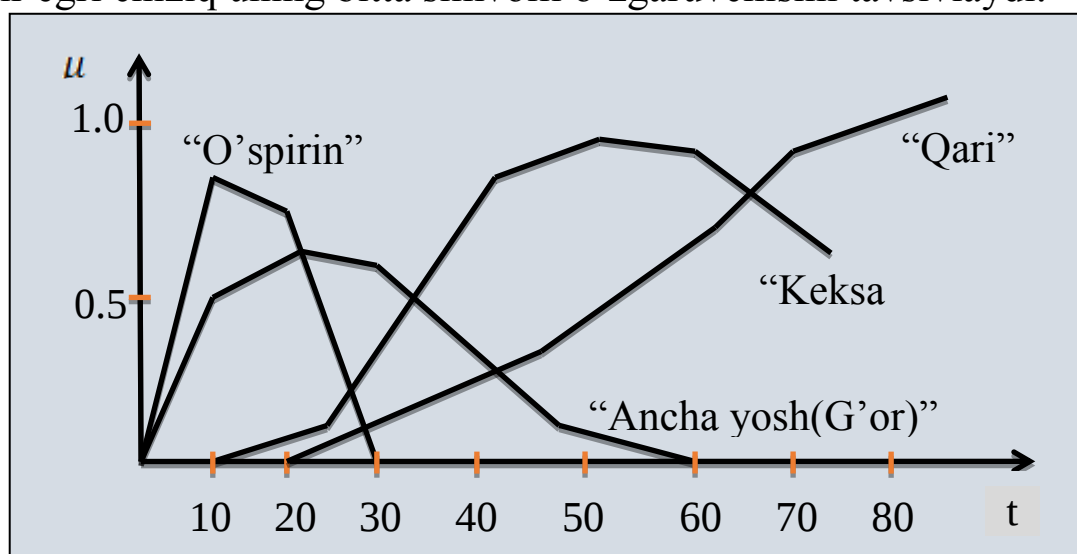
Bu yerda V- T term to'planning elementlarini birma-bir tekshirish protsedurasi;

M - mavjud havo haroratini NO'larga (issiq, sovuq va h.k) mos qo'yuvchi protsedura.

Misol. Masalan "Yosh" (yillara), "Obyektgacha masofa" (m yoki km) shkalalarini qarash mumkin va h.k. Har bir shkala LO'ning belgili qiymati bilan bo'g'liq. "Yosh" shkalasida LO'ning qiymatlari quyidagicha

berilishi mumkin: "o'spirin", "ancha yosh", "yigit", "keksa", "qari", "qartaygan". "Masofa" shkalasi esa - "zich", "juda yaqin", "yaqin", "yonma-yon", "uzoq emas", "uzoq", "juda uzoq", "juda uzoq chegarada". Bu ikkita tasvirlashlar o'rtasidagi o'aro bog'liqlik (shkalalardagi nuqtalar to'plami va belgili qiymatlar to'plami) $\mu_x(t)$ MFlari yordamida beriladi, bu yerda x-ingvistik o'zgaruvchining qiymati, t-shkaladagi qiymat. Ko'rinib turibdiki, MFlarning qiymatlarini quyidagi formulalar yordamida normallashtirish mumkin: $\sum_x \mu_x(t) = 1$ yoki $\sum_t \mu_x(t) = 1$.

3.11-rasmda "Yosh" LO'ni tavsivlashga misol keltirilgan. Bu yerda har bir egri chiziq uning bitta simvolli o'zgaruvchisini tavsivlaydi.



3.11-rasm. "Yosh" lingvistik o'zgaruvchining tavsivi

Misol. Aytaylik ishlab chiqariladigan A ="Mahsulot hajmi"ning bahosi NO'lar tushunchalari- «kam», «o'rtachadan past», «o'rtacha», «o'rtachadan yuqori», «ko'p» yordamida belgilansin. Eng ko'p mahsulot ishlab chiqarish hajmi 20 ming/soat bo'lsin. Bunday bahoni formallashtirish LO' A = «mahsulotlar hajmi» yordamida amalga oshirilishi mumkin va u quyidagi naborlar bilan xarakterlanadi:

$$\langle \text{Mahsulotlar hajmi}, T(A) [0, 20], V, M \rangle,$$

bu yerda $T(A) = \{\text{«kam»}, \text{«o'rtachadan past»}, \text{«o'rtacha»}, \text{«o'rtachadan yuqori»}, \text{«ko'p»}\}$ - A ="Mahsulot hajmi" LO'ning term-to'plami, $U=[0,20]$ - UT bo'lib, LO'ning aniqlanish sohasini (qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlarning intervalini) ifodalaydi;

V - $T(A)$ to'plam elementlarini birma-bir tekshirish protsedurasini;

M - mavjud mahsulot hajmini NO' qiymatlarni ("kam", "o'rtachadan past" va h.k) mos qo'yuvchi protsedura, bu protsedura ekspertli so'rov natijasida amalga oshiriladi.

Ta'kidlaymizki, lingvistik mantiqda noravshan xulosalashlarni qurishning bir nechta variantlari mavjud. Yuqorida qarab chiqilgan "max-min" varianti hamma vaqt ham bizning sezgimiz (intuitsiyamiz) bilan mos tushmaydi.

Noravshan sohada masalaning barcha elementlari noravshan tushunchalar va munosabatlar ko'rinishida ifodalanishi mumkin.

Masalani noravshan tavsivlash quyidagi holatlarda kelib chiqadi.

1) Modellash resurslariga qo'yilgan chegaralar (vaqtli, narxli) mavjud ravshan axborotlarni olishga imkoniyat bermaganda va tizimli analitiklar o'z fikrini bildirishda noravshan so'z shaklida ifodalangan ekspert bilimlaridan foydalanishga majbur bo'lganda. Natijada odatdagi masala noravshan sohaga tegishli masalaga aylanadi.

2) Resurslarga nisbatan qo'yilgan mavjud chegaralarda sonli axborotlar formal usullar bilan yechimni topishga imkoniyat bermaganda, LPR o'zining tajribasiga asoslanib noravshan qoidalar majmuasini boshqa LPR ga uzatishga qandaydir yo'l topadi.

Nazorat savollari

1. NoTlar nazariyasi bo'yicha ilmiy ishlar qachon va kim tomonidan boshlangan?

2. NoTlarga asoslanib yaratilgan tizimlarga qanday masalalarni yechish kiradi?

3. L.A.Zade nimani taklif qildi?

4. Masalalarni tavsivlashda noaniqliklar strukturasi keltiring?

5. NO' tushunchasi ushlik ko'rinishda qanday beriladi?

6. Noravshan modellar qanday xususiyatlarga ega?

7. NoTning klassik va aniq to'plamlardan asosiy farqi nomadan iborat?

8. MF nima va MFni qurishning bevosita va bilvosita usullarini keltiring?

9. NoT ostilarining to'plami va uning xossalari tushuntiring?

10. NoTlar ustida bajariladigan mantiqiy va oddiy amallarni keltiring?

11. NoTostilari orasidagi masofani hisoblashning qanday formulalari mavjud?

12. Noravshanlik darajasi va noravshanlik o'lchovi nima?

13. NoTdan ravshan to'plamni qanday hosil qilinadi?

14. α -pog'onali to'plam nima?

15. NM nima va NMlar matritsa yoki graf ko'rinishda qanday beriladi?
16. NMning birinchi, ikkinchi va global proyeksiyalari qanday aniqlanadi?
17. NMning max-min kompozitsiya qanday ifoda bilan aniqlanadi?
18. (Max-*)-kompozitsiya qanday aniqlanadi?
19. Mamdani, Larsen va Zade bo'yicha noravshan xulosa chiqarish qanday amalga oshiriladi?
20. LO' tushunchasi qanday ko'rinishda beriladi?
21. LO' tushunchasiga misollar keltiring?

Nazorat testlari

- Noaniqlikning turlarini to'g'ri ko'rsating ?
 - noma'lumlik, noishonchlik, nobirqiymatlik;
 - noma'lumlik, nochiziqlik, birqiymatlik;
 - noma'lumlik, notavakkallik, mantiqlik;
 - nodaxtlik, notarmoqlik, nobirqiymatlik.
- Noravshan to'plam tushunchasi to'g'ri ifodalangan javobni ko'rsating?
 - $A\{u, \mu_A(u)\}; u \in U;$
 - $A\{u, \mu_A(u)\}; \mu_A(u) \in U;$
 - $A\{u, \mu_A(u), U\}; A \in U;$
 - $A\{u, \mu_u(A)\}; u \in U.$
- Mansublik funksiyasi - bu bilan ifodalaniladigan tushunchaga mos bo'lishi darajasining sub'ektiv o'lchovi.
 - A noravshan to'plam; $u \in U$ elementi;
 - A noravshan to'plam; U to'plam;
 - U ravshan to'plam; $u \in U$ elementi;
 - A ravshan to'plam; $u \in U$ elementi;
- A noravshan to'plamda berilgan $u \in U$ elementning mansubligi to'g'risida quyilgan savolga ekspertlardan n_1 tasi to'g'ri va n_2 tasi salbiy javob bergan. Ekspertlarning umumiy soni $m = n_1 + n_2$ bo'lsin. Exspertlar javobi quyidagi jadvalda berilgan.

	U				
m	1	2	3	4	5
n_1	2	1	6	3	4

n_2	4	5	0	3	2
-------	---	---	---	---	---

Jadvaldagi ma'lumotlarga va $\mu_A(U) = \frac{n_1}{m}$ formulaga asoslanib $\mu_A(1) = ?$; $\mu_A(2) = ?$; $\mu_A(3) = ?$; $\mu_A(4) = ?$; $\mu_A(5) = ?$ hosil qiling va A ning mansublik funksiyasini quring?

- a) $\mu_A(U) = \{ \langle 0.3/1 \rangle, \langle 0.2/2 \rangle, \langle 1/3 \rangle, \langle 0.5/4 \rangle, \langle 0.7/5 \rangle \}$;
b) $\mu_A(U) = \{ \langle 0.3/1 \rangle, \langle 0.3/2 \rangle, \langle 1/3 \rangle, \langle 0.4/4 \rangle, \langle 0.7/5 \rangle \}$;
c) $\mu_A(U) = \{ \langle 0/1 \rangle, \langle 0/2 \rangle, \langle 2/3 \rangle, \langle 1/4 \rangle, \langle 0.2/5 \rangle \}$;
e) $\mu_A(U) = \{ \langle 0.2/1 \rangle, \langle 0.3/2 \rangle, \langle 0/3 \rangle, \langle 0.5/4 \rangle, \langle 1/5 \rangle \}$;

6. R munosabatning birinchi proyeksiyasini aniqlovchi ifodani to'g'ri ko'rsating?

- a) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigvee_y \mu_R(x, y)$; b) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigwedge_y \mu_R(x, y)$;
c) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigvee_y \bigvee_x \mu_R(x, y)$; e) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigwedge_y \bigvee_x \mu_R(x, y)$;

7. R munosabatning ikkinchi proyeksiyasini aniqlovchi ifodani to'g'ri ko'rsating?

- a) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigwedge_y \mu_R(x, y)$; b) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigvee_y \mu_R(x, y)$;
c) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigvee_y \bigvee_x \mu_R(x, y)$; e) $\mu_R^{(1)}(x) = \bigwedge_y \bigvee_x \mu_R(x, y)$;

8. R munosabatning global proyeksiyasini aniqlovchi ifodani to'g'ri ko'rsating?

- a) $H(R) = \bigvee_y \bigvee_x \mu_R(x, y)$; b) $H(R) = \bigvee_y \bigwedge_x \mu_R(x, y)$;
c) $H(R) = \bigwedge_y \bigvee_x \mu_R(x, y)$; e) $H(R) = \bigvee_y \mu_R(x, y)$;

9. Lingvistik o'zgaruvchi tushunchasining strukturasi to'g'ri keltirilgan javobni ko'rsating?

- a) $\langle A, T(A), U, V, M \rangle$; b) $\langle A, T(M), U, V, M \rangle$; c) $\langle A, T(V), U, V, M \rangle$;
e) $\langle A, T(U), U, V, M \rangle$.

Masala va topshiriqlar

1. Tibbiyot, iqtisod, boshqarish, sosiologiya, geologiya, qishloq xo'jaligi sohalaridan noravshan to'plamlarga misollar keltiring.

2. "O'rta bo'yli talaba" tushunchasini noravshan to'plam ko'rinishda tasvirlang.

3. Talabaning bo'yi noravshan to'plam ko'rinishda berilgan $P(U) = \{(155 | 0), (160 | 0.2), (170 | 1.0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.3)\}$. Markaziy og'irlik usuli yordamida "O'rta bo'yli talaba" noravshan to'plamini toping.

4. $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$, $M = [0,1]$ berilgan bo'lsin. U noravshan to'plamning $P(U)$ ($|P(U)|=15$) to'plamini aniqlang.

5. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0.8), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.3)\}$$

$$B = \{(155 | 0.2), (160 | 0.3), (170 | 1.0), (185 | 0.6), (190 | 0.5), (195 | 0.4)\}$$

$A \subset B$ *ëku* $B \subset A$ ekanligini aniqlang.

6. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0.8), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.3)\}$$

$$B = \{(155 | 0.3), (160 | 0.2), (170 | 1.0), (185 | 0.6), (190 | 0.4), (195 | 0.3)\}$$

$A = B$ ekanligini aniqlang.

7. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

$$B = \{(155 | 0.9), (160 | 0.8), (170 | 1), (185 | 0.5), (190 | 0.6), (195 | 0.3)\}$$

$\overline{A} = B$ *ëku* $\overline{A} = B$ ekanligini aniqlang.

8. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

$$B = \{(155 | 0.9), (160 | 0.8), (170 | 1), (185 | 0.5), (190 | 0.6), (195 | 0.3)\}$$

$A \cap B$ aniqlang.

9. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

$$B = \{(155 | 0.9), (160 | 0.8), (170 | 1), (185 | 0.5), (190 | 0.6), (195 | 0.3)\}$$

aniqlang.

10. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

$$B = \{(155 | 0.9), (160 | 0.8), (170 | 1), (185 | 0.5), (190 | 0.6), (195 | 0.3)\}$$

$A \oplus B$ aniqlang.

11. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

$$B = \{(155 | 0.9), (160 | 0.8), (170 | 1), (185 | 0.5), (190 | 0.6), (195 | 0.3)\}$$

$A * B$ aniqlang.

12. U – noravshan to'plamda A (erkak) va B (ayol) – noravshan to'plamostilari berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

$$B = \{(155 | 0.9), (160 | 0.8), (170 | 1), (185 | 0.5), (190 | 0.6), (195 | 0.3)\}$$

A va V orasidagi masofalarni 3.3-jadvalda keltirilgan formulalar yordamida aniqlang.

13. U – noravshan to'plamda A (erkak) to'plamosti berilgan bo'lsin.

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

Quyidagi

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & \text{agar } \mu_A(u_i) < 0.5, \\ 1, & \text{agar } \mu_A(u_i) > 0.5, \\ 0 \text{ yoki } 1, & \text{agar } \mu_A(u_i) = 0.5. \end{cases}$$

qoidadan foydalanib, noravshan A to'plamostini ravshan to'plamostiga keltiring.

14. U – noravshan to'plamda A (erkak) to'plamosti berilgan bo'lsin..

$$U = \{155, 160, 170, 185, 190, 195\}, \quad M = [0,1]$$

$$A = \{(155 | 0.1), (160 | 0.2), (170 | 0), (185 | 0.5), (190 | 0.4), (195 | 0.7)\}$$

Quyidagi α – *даражани* ($\alpha = A_{0.3}; \alpha = A_{0.6}$)

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & \text{agar } \mu_A(u_i) < \alpha, \\ 1, & \text{agar } \mu_A(u_i) > \alpha, \\ 0 \text{ yoki } 1, & \text{agar } \mu_A(u_i) = \alpha. \end{cases}$$

qoidadan foydalanib noravshan A to'plamostini ravshan to'plamostiga keltiring.

15. Quyidagi noravshan chin qiymatlar to'plami berilgan:

$$\text{Чин} = (0|0+0|0.2+0.25|0.4+0.5|0.6+0.9|0.8+1|1)$$

$$\text{Анча – мунча чин} = (0|0+0|0.2+0.3|0.5+0.6|0.5+0.93|0.7+1|1)$$

$$\text{Даярли чин} = (0|0+0|0.04+0.4|0.5+0.7|0.6+0.98|0.78+0.9|1)$$

Toping:

1)"Deyarli chin yoki chin" ifodaning noravshan chinligini va hosil qilingan noravshan ifodani "Ancha-muncha chin" noravshan ifoda bilan taqqoslang.

2)"Deyarli chin yoki ancha-muncha chin" ifodaning noravshan chinligini va hosil qilingan noravshan ifodani "Chin" noravshan ifoda bilan taqqoslang.

3)"Chin yoki ancha-muncha chin" ifodaning noravshan chinligini va hosil qilingan noravshan ifodani "Deyarli chin" noravshan ifoda bilan taqqoslang.

16. Quyidagi noravshan chin qiymatlar to'plami berilgan:

$$\text{Чин} = (0|0+0|0.2+0.25|0.4+0.5|0.6+0.9|0.8+1|1)$$

$$\text{Анча – мунча чин} = (0|0+0|0.2+0.3|0.5+0.6|0.5+0.93|0.7+1|1)$$

$$\text{Даярли чин} = (0|0+0|0.04+0.4|0.5+0.7|0.6+0.98|0.78+0.9|1)$$

Toping:

1) "Deyarli chin va chin" ifodaning noravshan chinligini va hosil qilingan noravshan ifodani "Ancha-muncha chin" noravshan ifoda bilan taqqoslang.

2) "Deyarli chin va ancha-muncha chin" ifodaning noravshan chinligini va hosil qilingan noravshan ifodani "Chin" noravshan ifoda bilan taqqoslang.

3) "Chin va ancha-muncha chin" ifodaning noravshan chinligini va hosil qilingan noravshan ifodani "Deyarli chin" noravshan ifoda bilan taqqoslang.

17. U to'plamdagi ikkita A va B NoT quyidagi jadval ko'rinishhda berilgan.

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7
$A=$	1	1	0	0	0	1	0
$B=$	1	1	0	1	0	1	1

A va B NoT ostilar orasidagi Xemming masofasini va n quvvatga ega bo'lgan chekli U to'plamdagi ikkita A va B NoTostilar orasidagi Xemmimng masofasini aniqlang.

18. $R_1:X \times Y$ va $R_2:Y \times Z$ noravshan munosabatlar matrisa ko'rinishhda berilgan:

$R_1:$

N_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	0.1	0.2	1	0.4	0.6
x_2	0.5	0.7	0	0.1	0.8
x_3	0.6	0.1	0.3	0	0.9
x_4	0.4	0.7	0.6	0.3	0
x_5	0.3	0.5	0.8	0.4	0.6
x_6	0.6	0.8	0.5	0.7	0.3
x_7	0.9	1	0.3	0.5	0.7

$R_2:$

N_0	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
y_1	0.1	0.2	1	0.4	0.6
y_2	0.5	0.7	0	0.1	0.8
y_3	0.6	0.1	0.3	0	0.9
y_4	0.4	0.7	0.6	0.3	0
y_5	0.3	0.5	0.8	0.4	0.6

“Max-min kompozisiya” amalini qo'llab $R_1: X \times Y$ va $R_2: Y \times Z$ noravshan munosabatlardan $R_1 \circ R_2$ ni toping.

19. Quyidagi noravshan qiymatlar to'plami berilgan:

N_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
x_1	0.1	0.2	1	0.4	0.6
x_2	0.5	0.7	0	0.1	0.8
x_3	0.6	0.1	0.3	0	0.9
x_4	0.4	0.7	0.6	0.3	0
x_5	0.3	0.5	0.8	0.4	0.6
x_6	0.6	0.8	0.5	0.7	0.3
x_7	0.9	1	0.3	0.5	0.7

Noravshan munosabatlarning birinchi, ikkinchi va global proyeksiyalarini aniqlang.

20. $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$ berilgan to'plamlar va R munosabatning $\mu_R(x_i, y_j)$ mansublik funksiyalari quyidagi jadvaldagidek berilgan bo'lsin.

	y_1	y_2	y_3	y_4
x_1	0	0	0.2	0.4
x_2	0	0.6	1	0.9
x_3	1	0.4	0.7	1

$R = X \times Y$ munosabatning graf ko'rinishdagi ifodasini keltiring.

21. $X = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ ko'rinishdagi asosiy to'plam va ekspert xulosalari bo'yicha bu munosabatning matritsasi quyidagi ko'rinishda berilgan.

	1	3	5	7	9
1	0	0	0	0	0
3	0.3	0	0	0	0
5	0.4	0.2	0	0	0

386

7	0.6	0.8	0	0	0
9	1	0.6	0.4	0	0

Bu X to'plamda R - "Ancha kichik" munosabatni aks ettiradigan graf ko'rinishda tasvirlang.

22. U noravshan to'plamda quyidagi noravshan to'plamostilari berilgan:

$$A = \{(A|0), (B|3), (C|0.7), (D|1), (E|0), (F|0.2), (G|0.6)\},$$

$$B = \{(A|0.3), (B|1), (C|0.5), (D|0.8), (E|1), (F|0.5), (G|0.6)\},$$

$$C = \{(A|1), (B|0.5), (C|0.5), (D|0.2), (E|0), (F|0.2), (G|0.9)\}$$

A, B, C noravshan to'plamostilaridan foydalanib S ni aniqlang:

- 1) $S = ((A \cap B) \oplus (A \cup C)) \subset (A \setminus C)$; 2) $S = ((A \cap B) \setminus (A \cup C)) \subset (A \oplus C)$;
- 3) $S = ((A \oplus B) \cup (A \oplus C)) \setminus (B \cap C)$; 4) $S = ((C \cap B) \oplus (A \cup C)) \setminus (A \setminus C)$;
- 5) $S = ((A \setminus B) \oplus (A \cap C)) \setminus (C \cup A)$; 6) $S = ((C \ominus B) \setminus (A \oplus C)) \setminus (A \cap B)$;
- 7) $S = ((A \cup B) \oplus (A \setminus C)) \subset (C \setminus B)$; 8) $S = ((A \ominus B) \cap (B \oplus C)) \ominus (A \cap B)$;
- 9) $S = ((A \cup B) \oplus (A \setminus C)) \setminus (C \setminus B)$; 10) $S = ((B \ominus C) \cap (B \cap C)) \ominus (A \cup B)$;
- 11) $S = ((A \cup B) \cap (A \oplus C)) \setminus (C \cap B)$; 12) $S = ((A \cap B) \ominus (A \oplus C)) \supset (A \cap B)$;
- 13) $S = ((A \cup B) \cap (A \cap C)) \subset (C \oplus B)$; 14) $S = ((A \cap B) \setminus (A \oplus C)) \ominus (B \setminus A)$;
- 15) $S = ((A \oplus B) \cap (B \setminus C)) \subset (A \cap B)$; 16) $S = ((A \cap B) \setminus (B \oplus C)) \ominus (B \cap A)$;
- 17) $S = ((B \setminus A) \cup (B \oplus C)) \cup (A \cap B)$; 18) $S = ((A \ominus B) \cup (A \oplus C)) \setminus (B \setminus A)$;
- 19) $S = ((B \setminus A) \oplus (B \oplus C)) \cap (A \cup B)$; 20) $S = ((A \setminus B) \ominus (C \oplus B)) \supset (A \oplus C)$;
- 21) $S = ((B \cap A) \oplus (B \setminus C)) \cup (A \cap B)$; 22) $S = ((A \setminus B) \setminus (A \oplus C)) \supset (B \ominus A)$;

4-BOB. QIDIRUV YORDAMIDA MUAMMOLARNI ECHISH

1-§. Sun'iy intellekt masalalarini yechishning umumiy uslublari

Masalani yechish jarayoni qoidaga ko'ra ikki pog'onadan iborat bo'ladi: *masalani tasvirlash* va *yechimni qidiruv*.

Mashina yordamida masalalarni tasvirlash shakllarini qidiruv masalasi qiyin formallashgan ijodiy jarayon hisoblanadi. Shuning uchun masalalarni tasvirlashda qo'llaniladigan ba'zi shakllarni quyidagicha keltirish mumkin [12, 16]:

- 1) Holatlar fazosi(HF)da tasvirlash;
- 2) Masalalarni masalalar ostilariga keltirish yo'li bilan tasvirlash;
- 3) Teoremlar ko'rinishida tasvirlash;
- 4) Kombinatsiyali tasvirlash.

Masalalarning holatini tavsiflashning turli shakllari mavjud. Xususan, masalalarni qatorlar, vektorlar, matritsalar va graflar ko'rinishda tavsiflash mumkin

HFda yechimlarni qidiruv protseduralari boshlang'ich holatni maqsad funksiyaga aylantiruvchi operatorlar ketma-ketligini aniqlashga asoslanadi.

Daraxt deb shunday yo'naltirilgan grafga aytiladiki, bunda uning ildizidan tashqari har bir tuguniga faqat bitta yoy kiradi.

Shunday qilib, daraxtda ildizdan tashqari har bir tuguni bitta yoyning oxiri va bitta yoki bir nechta yoyning boshi bo'ladi.

Daraxtda V tugundan V_i tugunlar hosil bo'ladi. Bunda V - bosh tugun, V_i - ichki tugunlar deb nomlanadi. Bosh tugun (ildiz) 0-pog'onali, ildizdan hosil bo'lgan tugunlar 1-pog'onali, 2-pog'onali va h.k. k -pog'onali bo'lishi mumkin.

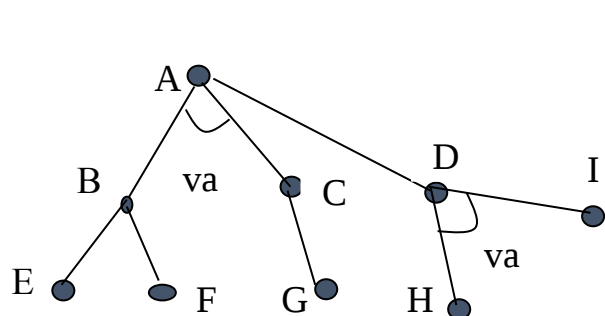
Masalalar ostilarining o'zaro aloqasi strukturasi ikki tipda bo'lishi mumkin: *VA-strukturalar* va *VA-YOKI-strukturalar*. *VA-strukturalarda* asosiy masalani echishda barcha masalalar ostilarini yechish talab etiladi. *VA-YOKI-strukturalarda* xususiy masalalar guruhlariga bo'linadi va bu *guruhlar* bir-biri bilan *YOKI munosabati* yordamida, guruhlar ichidagilar esa bir-biri bilan *VA munosabati* yordamida bog'lanadi.

Bunday holda boshlang'ich masalani yechish uchun, faqat qandaydir bitta guruhga taalluqli barcha masalalar ostilarini yechish yetarli hisoblanadi.

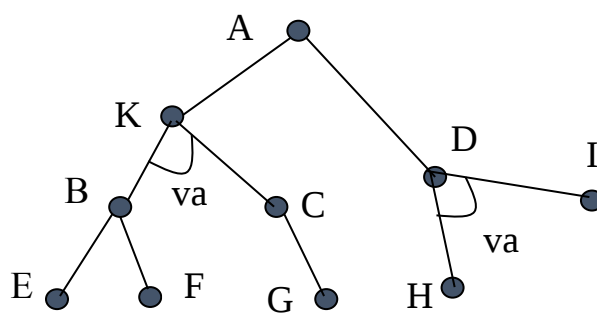


Masalalarni masalalar ostilariga keltirishni tasvirlashni tavsiflash uchun masalalarni reduksiya(tiklash)lash grafi deb nomlanuvchi grafdan foydalaniladi (4.1-rasm). Bunda grafning tugunlariga masalalar, yoylariga esa masalalarni reduksiyalash operatorlari mos qo'yiladi. Daraxt ildiziga boshlang'ich masala, 1-pog'ona tugunlarga esa boshlang'ich masaladan hosil qilingan masalalar ostilari mos qo'yiladi. 4.1-rasmda A masala yechiladi, agarda B va C masalalar yoki D masala yechilsa. B masala yechiladi, agarda E yoki F masala yechilsa. C- masala yechiladi, agarda G masala yechilsa. D masala yechiladi, agarda H va I masalalar yechilsa.

VA-strukturali tugunlarning bog'lanishini ko'rsatish uchun maxsus egri chiziqdan foydalaniladi. Agar daraxtda VA-strukturali bog'langan tugunlar bo'lsa, u holda ular uchun qo'shimcha tugunlar kiritiladi va ushbu tugunlar VA-strukturali tugunlarning bosh tugunlariga aylanadi (4.2-rasm).



4.1-rasm. Masalalarni reduksiyalash daraxti.



4.2-rasm. Almashtirilgan reduksiyalash daraxti

Bundan keyin faqat *almashtirilgan reduksiyalash daraxtlarini* qaraymiz.

Masalalarni masalalar ostilariga keltirishni tasvirlashda boshlang'ich masalani bir nechta masalalar ostilariga bo'lish qaraladi va bo'lingan har bir masala osti yechimi boshlang'ich masalaning yechimini beradi. Har bir masala ostilari oz navbatida yana masala ostilariga bo'linishi mumkin. Masala ostilariga bo'lish jarayoni nazariy jihatdan chegaralanmagan. Amaliy jihatdan masala ostilariga bo'lish jarayoni eng quyi pog'onadagi masala ostilari yordamida yechimni olguncha davom ettiriladi.

2-§. Sun'iy intellekt masalalarini yechishning usullari

2.1. Masalalarni yechishda qidiruv usullarini sinflash

Masalalarni qidiruvga keltirishga asoslangan yechish usullari masala yechilayotgan predmet soha xususiyatlariga va masala yechimiga

foydalanuvchi tomonidan qo'yilgan talablarga bevosita bog'liq bo'ladi.

Predmet soha xususiyatlari:

- 1) Yechim izlanayotgan fazo hajmi;
- 2) Sohaning vaqtli va fazoli o'zgarish darajasi (ststistik va dinamik sohalar);
- 3) Sohani tasvirlovchi modelning to'liqligi. Agar model to'liq bo'lmasa, u holda sohani tavsiflashda bir-birini to'ldiruvchi bir nechta modellardan foydalaniladi;
- 4) Yechilayotgan masala haqidagi ma'lumotlarning aniqligi, ya'ni ma'lumotlarning aniqlik (hatolik) va to'liqlik (to'liqmaslik) darajasi.

SITlari masalalarini yechishda qo'llaniladigan mavjud qidiruv usullarni quyidagicha sinflash mumkin [12, 16]:

- 1) *Bir o'lchovli fazoda yechimni qidiruv usullari* – bu usullardan o'lchovi katta bo'lmagan sohalar, modellar to'liq, ma'lumotlar aniq va to'liq bo'lganda foydalaniladi;
- 2) *Ierarhik fazoda yechimni qidiruv usullari* - bu usullardan o'lchovi katta bo'lgan sohalar, yechimlarni qidiruvda foydalaniladi;
- 3) *Ma'lumotlar xatoli va to'liqmas bo'lganda qidiruv usullari*;
- 4) *Bir nechta modellar yordamida qidiruv usullari*- bu usullardan sohani tavsiflashda bitta modelning o'zi yetarli bo'lmaganda foydalaniladi.

2.2. Qidiruv yordamida muammoni echish

2.2.1. Holatlar fazosida yechimni qidiruv usullari

HFda yechimni qidiruv usullari odatda quyidagilarga bo'linadi [12, 16]:

- 1) Chuqurligi bo'yicha qidiruv;
- 2) Kengligi bo'yicha qidiruv;
- 3) Evristikli qidiruv.

HFda yechimlarni qidiruv protseduralari boshlang'ich holatni maqsad funksiyaga aylantiruvchi operatorlar ketma-ketligini aniqlashga asoslanadi. Agar operatorlar ketma-ketligi bir nechta va optimallashtirish mezoni berilgan bo'lsa, u holda masala ushbu mezonni qanoqtlantiruvchi optimal operatorlar ketma-ketligini qidiruv masalasiga keltiriladi.

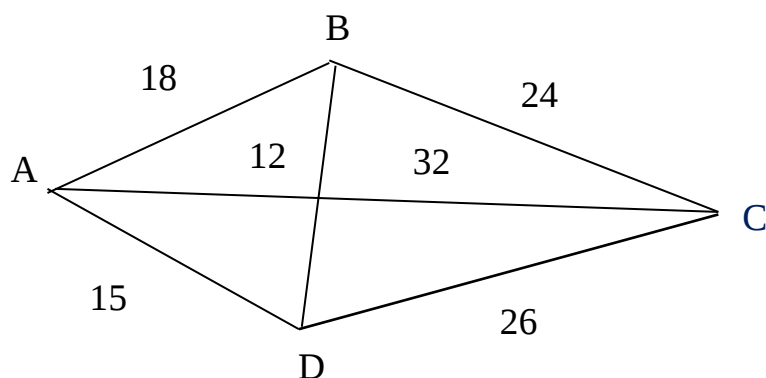
HFda yechimlarni qidiruv usullarini holatlar daraxti(grafi)dan foydalanib tavsivlash qulay hisoblanadi. Holatlar daraxtida yechimlarni qidiruv masalasi daraxt ildizidan maqsadli holatga mos tugungacha bo'lgan yo'lni (optimalli, agar optimallik mezoni berilgan bo'lsa) topishga

keltiriladi.

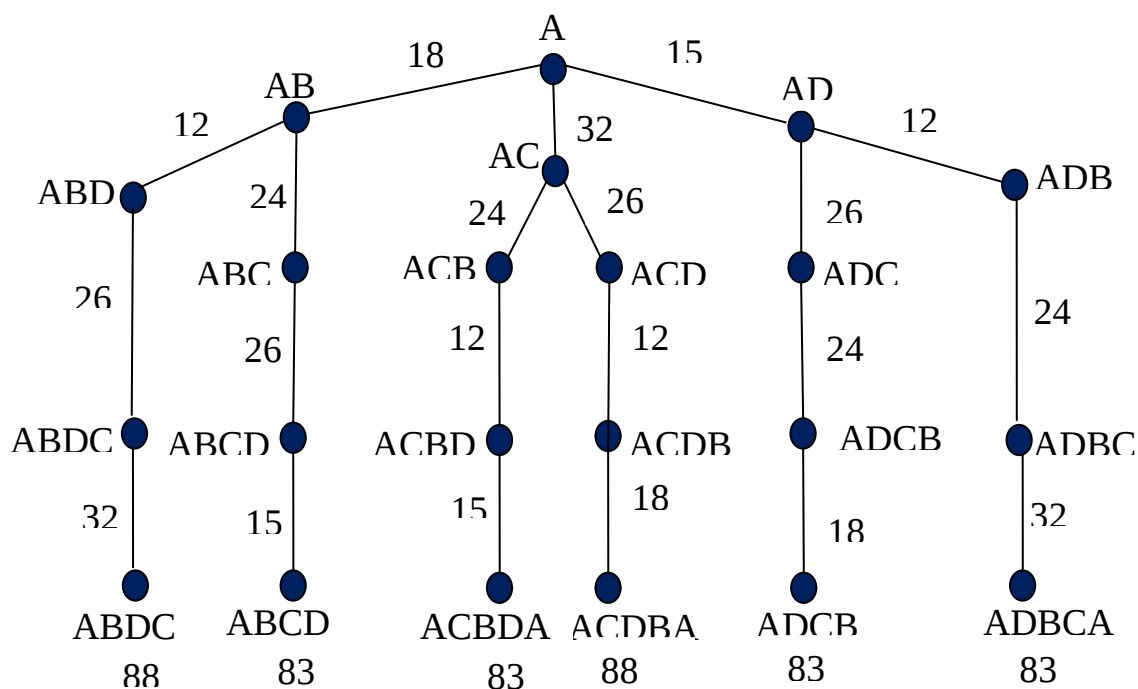
Umumiy holda holatlar daraxtini (S_0, F, G) uchlik ko'rinishda berish mumkin. Bu yerda S_0 – bitta elementdan iborat to'plam, F- operatorlar to'plami, G-maqсадli holatlar to'plami.

Holatlar daraxtini qurish quyidagicha amalga oshiriladi: avvalo daraxt ildiziga(boshlang'ich holat) F dagi operatorlarni qo'llab 1-pog'onali tugunlar quriladi; Keyin, F dagi operatorlardan 1-pog'onali tugunlarga qo'llaniladiganlaridan foydalanib 2-pog'onali tugunlar quriladi va h.k. Ushbu protsedura maqsadli tugunni topguncha davom ettiriladi.

Misol. Yuk tashuvchi robot A punktdan chiqib, (B, C, D) punktlarning har birida faqat bir martadan bo'lib, yana A punktga qaytib kelishi kerak. Punktlar orasidagi masofalar va marshrutlar sxemasi 4.3-rasmda keltirilgan.



4.3-rasm. Marshrutni tanlash masalasi



4.4-rasm. Masalaning holatlar grafi.

Marshrutni tanlash masalasi uchun HFda yechimlarni qidiruv 4.4-rasmda keltirilgan.

Ushbu grafda boshlang'ich tugunga A holat mos keladi. A tugun AB , AC , AD holatlarga mos keluvchi uhta 1-pog'onali ichki tugunlarni hosil qiladi. 1-pog'onali AB , AC , AD ichki tugunlar 2-pog'onali ichki tugunlarni hosil qiladi va h.k.

Grafda tugunlarning ochilish tartibi qidiruv strategiyasi deb ataladi.

2.2.2. Chuqurligi bo'yicha qidiruv strategiyasi

Masalani yechishning ba'zi strategiyalarini qarab chiqamiz [12, 16]. Graflarda hal qiluvchi yo'llarni qurishga yo'naltirilgan bir qator strategiyalar masalani yechishda baholash funksiyasi (BF) ga asoslanadi. BF grafning tugunlarida aniqlanadi va haqiqiy qiymatlarni qabul qiladi. Ixtiyoriy tugun uchun hosil qilingan BF qiymati ushbu tugundan hal qiluvchi yo'lni davom ettirish kerakligi yoki yo'qligini aniqlaydi.

Masalani BFni hisoblash asosida yechish strategiyasi evristik qidiruvning bir ko'rinishi hisoblanadi.

BFni hisoblash asosida masalani yechishning boshqa strategiyalariga chuqurligi bo'yicha qidiruv va kengligi bo'yicha qidiruv kiradi. Chuqurligi bo'yicha qidiruvda ixtiyoriy tugunning baholash funksiyasi qiymati ushbu tugundan boshlang'ich tugungacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional bo'ladi. Kengligi bo'yicha qidiruvda bu bog'lanish teskari proporsional bo'ladi.

Tugunlarning chuqurligi deganda tugunlarning pog'onalari tartib raqamiga teng bo'lgan son tushuniladi.

Chuqurligi bo'yicha qidiruv strategiyasini faqat tugunlar $N = \{n_1, n_2, \dots, n_r\}$ ro'yxati va yoylar $L = \{l_1, l_2, \dots, l_s\}$ ro'yxatidan iborat HF berilganda qo'llash maqsadga muvofiq. Bu yerda $l_k = (n_{ik}, n_{jk})$ qirralar bo'lib, n_{ik} tugundan n_{jk} tugunga yo'naltirilgan bo'ladi.

Chuqurligi bo'yicha qidiruv algoritmining g'oyasi quyidagidan iborat: *grafning boshlang'ich tuguni yo'lning bo'shlanish tuguni sifatida qabul qilinadi. Undan keyin boshlang'ich tugundan chiqadigan bir qancha alternativ tugunlardan boshlang'ich tugundan eng uzoqda (uzunligi bo'yicha) joylashgan tugun tanlanadi. Navbatdagi tugunlarni tanlash, xuddi boshlang'ich tugundagidek, o'zidan oldingi tugunga nisbatan eng uzoqda joylashgan tugunni tanlash bilan davom ettiriladi. Tugunlarni*

tanlash algoritm bo'yicha maqsadga erishuvchi yo'lni topishgacha davom ettiriladi.

Chuqurligi bo'yicha birma-bir qidiruv algoritmi. Tugunlarning chuqurligi - tugunlarning pog'onalari tartib raqamiga teng bo'lgan son bilan aniqlahadi. Chuqurligi bo'yicha birma-bir qidiruv algoritmidagi tugunlar orasidan eng katta chuqurlikga ega bo'lgan tugunlar ochiladi. Bunda bir xil chuqurlikga ega bo'lgan bir nechta tugunlardan bittasi tanlanadi. Bundan tashqari, odatda ba'zi mulohazalarga ko'ra tugunlarning chegaraviy chuqurliklari beriladi. Bu holda tugunlar orasidan, tugunlari chuqurliklari chegaraviy chuqurlikga teng bo'lganlari ochilmaydi.

Shunday qilib, chuqurligi bo'yicha birma-bir qidiruv algoritmidagi tugunlar orasidan, tugunlar chuqurliklari chegaraviy chuqurlikdan kichik bo'lgan tugunlar ochilmaydi.

Chuqurligi bo'yicha birma-bir qidiruv algoritmini strukturalashgan holda qaraymiz [12, 16]:

- 1) Boshlang'ich tugunni «ochiq» ro'yxatiga joylashtirish;
- 2) Agar «ochiq» ro'yxati bo'sh bo'lsa, u holda 1-qadamga, aks holda 3-qadamga o'tiladi;
- 3) «Ochiq» ro'yxatidan birinchi tugunni olish va uni «yopiq» ro'yxatiga o'tkazish va unga nomni berish;
- 4) Agar v tugunning chuqurligi chegaraviy chuqurlikga teng bo'lsa, u holda 2-qadamga o'tish, aks holda 5-qadamga o'tish;
- 5) v tugunni ochish. v tugunning barcha ichki tugunlarini «ochiq» ro'yxatining boshiga joylashtirish va barcha ichki tugunlardan v tugunga keladigan ko'rsatkichlarni qurish; Agar v tugun ichki tugunlarga ega bo'lmasa, u holda 2-qadamga o'tish;
- 6) Agar ushbu tugunlardan birortasi maqsadli yechimni hosil qilsa, u holda chiqishda yechimni hosil qilish, aks holda 2-qadamga o'tish.

Qaralgan algoritmda boshlang'ich tugun sifatida faqat bitta tugun qatnashadi. Agar boshlang'ich tugunlar bir nechta bo'lsa, u holda algoritmning 1-qadamidagi «ochiq» ro'yxatiga barcha boshlang'ich tugunlar joylashtiriladi.

Misol. Misol sifatida marshrutni tanlash masalasi uchun HFda yechimlarni qidiruvda A, AB, ABC, ABCD, ABCDA optimal marshrutni keltirish mumkin (4.3, 4.4-rasmlar).

Ta'kidlash lozimki, yechimni chuqurligi bo'yicha qidiruvda eng chuqurlikga ega bo'lgan tugunlar bir nechta bo'lsa, u holda ular orasidan *eng chapdagisi* tanlanadi.

Agar yechimni qidiruv tupikli holatga kelib qolsa, ya'ni joriy tugun maqsadli yechimga olib kelmasa va uning chuqurroq tugunlar bilan

aloqasi bo'lmasa, u holda oldingi tugunga qaytiladi va ushbu tugundan yechimni chuqurligi bo'yicha qidiruv davom ettiriladi.

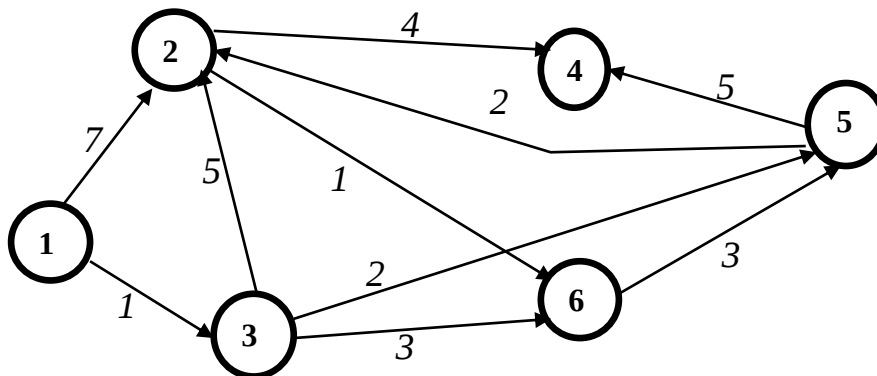
2.2.3. Kengligi bo'yicha qidiruv strategiyasi

Kengligi bo'yicha qidiruv algoritmining g'oyasi quyidagidan iborat: grafning boshlang'ich tuguni yo'lning bo'shlanish tuguni sifatida qabul qilinadi. Undan keyin boshlang'ich tugundan chiqadigan bir qancha alternativ tugunlardan boshlang'ich tugunga yaqin (uzunligi bo'yicha) joylashgan tugun tanlanadi. Navbatdagi tugunlararni tanlash, xuddi boshlang'ich tugundagidek, o'zidan oldingi tugunga nisbatan eng yaqin joylashgan tugunni tanlash bilan davom ettiriladi. Tugunlarni tanlash algoritmi bo'yicha maqsadli yechimga erishuvchi yo'lni topishgacha davom ettiriladi[12, 16].

Ta'kidlash lozimki, yechimni kenglik bo'yicha qidiruvda boshlang'ich tugunga yaqin bo'lgan tugunlar bir nechta bo'lsa, u holda ular orasidan eng chapdagisi tanlanadi.

Agar yechimni qidiruv tupikli holatga kelib qolsa, ya'ni joriy tugun maqsadli yechimga olib kelmasa va uning chuqurroq tugunlar bilan aloqasi bo'lmasa, u holda oldingi tugunga qaytiladi va ushbu tugundan yechimni kengligi bo'yicha qidiruv davom ettiriladi.

Misol. *Qisqa yo'l haqidagi masala.* Qisqa yo'l bilan grafning bir tugunidan boshqa tuguniga qanday borish mumkin? Ishlab chiqarishni boshqarish masalalarida: qisqa yo'l (masalan, eng kam yoqilg'i va vaqt, ancha arzon) bilan A punktdan B punktga qanday borish mumkin? Bu masalani yechish uchun yo'naltirilgan grafning boshlang'ich tugunidan oxirgi tugunigacha bo'lgan har bir yoyiga harakat vaqtini ifodalovchi son mos qo'yiladi (4.5-rasm).



4.5-rasm. Qisqa yo'l haqidagi masala uchun boshlang'ich qiymatlar. Boshlang'ich qiymatlarni 4.1-jadval ko'rinishda ham berish mumkin.

4.1-jadval. Qisqa yo'l haqidagi masala uchun boshlang'ich qiymatlar.

Yoyning boshi	Yoyning oxiri	Yo'ldagi vaqt
1	2	7
1	3	1
2	4	4
2	6	1
3	2	5
3	5	2
3	6	3
5	2	2
5	4	5
6	5	3

Talab qilinadi: qanday qisqa yo'l bilan 1–tugundan 4 – tugunga borish mumkin?

Yechimi. Quyidagi belgilashni kiritamiz: $C(T)$ – 1- tugundan T-tugungacha qisqa yo'lning uzunligi. Qaralayotgan masalada 1- tugundan 4- tugungacha bo'lgan $C(4)$ qisqa yo'lni hisoblash talab etiladi.

4.5-rasmda va 4.1-jadvalda keltirilgan boshlang'ich qiymatlarni hisobga olsak, u holda 1-tugundan 3-tugunga uning uzunligi 1 ga teng bo'lgan faqat bitta yo'naltirilgan yoy chiqayapti, shuning uchun $C(3)=1$. Bundan tashqari, ko'rinib turibdiki $C(1)=0$.

4-tugunga uzunligi 4 ga teng bo'lgan 2-tugundan yoki uzunligi 5 ga teng bo'lgan 5-tugundan borish mumkin. Shuning uchun quyidagi munosabat o'rinli

$$C(4) = \min \{C(2) + 4; C(5) + 5\}.$$

Demak, $C(4)$ ni topish uchun avval $C(2)$ va $C(5)$ ni topish talab etiladi.

5-tugunga uzunligi 2 ga teng bo'lgan 3-tugundan yoki uzunligi 3 ga teng bo'lgan 6-tugundan borish mumkin. Shuning uchun quyidagi munosabat o'rinli

$$C(5) = \min \{C(3) + 2; C(6) + 3\}.$$

Bilamizki, $C(3) = 1$. Shuning uchun

$$C(5) = \min \{1+2; C(6) + 3\} = \min \{3 ; C(6) + 3\}.$$

(4.1)

6-tugunga uzunligi 3 ga teng bo'lgan 3-tugundan yoki uzunligi 1 ga teng bo'lgan 2-tugundan borish mumkin. Shuning uchun quyidagi munosabat o'rinli

$$C(6) = \min \{ C(3)+3; C(2) +1\} = \min \{4 ; C(2) +1\}. \quad (4.2)$$

2-tugunga uzunligi 7 ga teng bo'lgan 1-tugundan yoki uzunligi 5 ga teng bo'lgan 3-tugundan yoki uzunligi 2 ga teng bo'lgan 5-tugundan borish mumkin. Shuning uchun quyidagi munosabat o'rinli

$$C(2) = \min \{C(1) + 7; C(3) + 5; C(5) + 2\}.$$

Bizga ma'lumki $C(1) = 0$, $C(3) = 1$, $C(5) = 3$. Shuning uchun

$$C(2) = \min \{0 + 7; 1 + 5; 3 + 2\} = 5. \quad (4.3)$$

(4.3) ni hisobga olsak

$$C(6) = \min \{4; C(2) + 1\} = \min \{4; 5 + 1\} = 4. \quad (4.4)$$

(4.4) ni hisobga olsak, (4.1) dan

$$C(5) = \min \{3; C(6) + 3\} = \min \{3; 4 + 3\} = 3.$$

Endi $C(4)$ ni topish mumkin:

$$C(4) = \min \{C(2) + 4; C(5) + 5\} = \min \{5 + 4; 3 + 5\} = 8.$$

(4.5)

Shunday qilib, 1-tugundan 4-tugungacha bo'lgan qisqa yo'lning uzunligi 8. (4.5) munosabatdan ma'lumki, 4-tugunga 5-tugundan borish kerak. 5-tugunga 3-tugundan borish kerak. 3-yugunga esa faqat 1-tugundan birish mumkin. Demak, qisqa yo'l:

$$1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4.$$

4.5-rasmda va 4.1-jadvalda keltirilgan boshlang'ich qiymatlar uchun qisqa yo'lni topish masalasi to'liq yechildi.

2.2.4. Evristikli qidiruv

Chuqurligi va kengligi bo'yicha qidiruv strategiyalari bosh tugundan chiquvchi yo'llar orasidan hal qiluvchi (qisqa, minimal) yo'lni izlab topishda barcha tugunlarni birma-bir tekshirishga asoslanadi [12, 16]. Ko'rinib turibdiki, bizga faqat tugunlar N va yoylar L ro'yxatidan iborat frag berilgan bo'lsa, u holda maqsadli hal qiluvchi yo'lni topishda tugunlarni birma-bir tekshirish yordamida erishish mumkin.

Ko'p hollarda maqsadli hal qiluvchi yo'lni topishda tugunlar N va yoylar L ro'yxatidan iborat grafda qidiruvni qisqartirish (vaqtni, hisoblash hajmini) maqsadida ba'zi bir qo'shimcha axborotlardan foydalanish imkoniyatlari mavjud. Shunday qo'shimcha axborotlar *evristikli* deyiladi. *Evristikli axborotlar yordamida qidiruv evristikli qidiruv deyiladi. Masala haqidagi evristik axborotlarni hisobga olib alternative tugunlarni tanlash protsedurasi evristike deyiladi*

Masala haqidagi qo'shimcha (evristikli) axborotlar ba'zi hollarda tugunlardan iborat HFda, ya'ni tugunlar to'plamida baholash funksiyasi $f(n)$ shaklida sonli ifoda ko'rinishida ifodalanishi mumkin.

HFdagi n -tugundagi baholash funksiyasi $f()$, n – tugunlardan qidiruvni davom ettirishni baholash uchun haqiqiy son $f(n)$ bilan taqqoslanadi. $f(n)$ ning qiymati qanchalik kichik (ba'zi masalalarda qanchalik katta) bo'lsa, ushbu n -tugundan qidiruvni davom ettirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Shuning uchun ham evristik qidiruvni ba'zi hollarda maqsadli (afzalli) qidiruv deb atashadi.

Evristik qidiruvning g'oyasi quyidagidan iborat: *yo'lning boshlanish tuguni sifatida nomzod tugunlar orasidan afzalroq tugunni tanlash kerak va ushbi tugun grafdagi hal qiluvchi yo'lning boshlang'ich tuguni sifatida qabul qilinadi. Undan keyin boshlang'ich tugundan boshlanadigan yo'lni davom ettirish uchun boshlang'ich tugundan chiqadigan bir qancha alternativ tugunlardan baholash funksiyasi kichikroq (ba'zi hollarda kattaroq) qiymatga ega bo'lgan tugun tanlanadi. Yo'lni davom ettirish uchun navbatdagi tugunlarni tanlashda bir qancha alternativ tugunlardan baholash funksiyasi kichikroq (ba'zi hollarda kattaroq) qiymatga ega bo'lgan tugunlar tanlanadi. Tugunlarni tanlash algoritm bo'yicha maqsadli yechimga erishuvchi yo'lni topishgacha davom ettiriladi.*

Baholash funksiyasidan foydalanishga asoslangan ko'plab evristik qidiruv usullari mavjud. Bular qatoriga chiziqli programmashtirishdagi simpleks usuli, A^* algoritmi, sonli tahlildagi ketma-ket yaqinlashish usullari, minimaxli usullar, al'fa-betta algoritm, dinamik programmalash, shoxlar va chegaralar usuli, bo'linish va baholash usulilarini kiritish mumkin.

Evristik qidiruvni tasvirlash uchun namuna sifatida A^* algoritmini keltiramiz.

2.2.5. A^* qidiruv algoritmi

Bu algoritm HFko'rinishida berilgan tugunlar to'plamida evristik axborotlar baholi funksiya shaklida ifodalanganda evristik qidiruvda qo'llaniladi [12, 16]. Aytaylik, yechiladigan masalaning HFni ifodalovchi grafda $N = \{n_1, n_2, \dots, n_r\}$ –tugunlar to'plami, $L = \{l_1, l_2, \dots, l_s\}$ – yoylar to'plami berilgan bo'lsin. Ushbu grafdagi ixtiyoriy $L = (n_i, n_j) \in L$ yoy uchun ushbu yoyning bahosini ifodalovchi $c(n_i, n_j)$ son aniqlangan bo'lsin. Dgar bir nechta maqsadli tugunlar mavjud bo'lsa, u holda boshlang'ich tugunni n_0 , maqsadli tugunni esa t yoki t_i bilan belgilaymiz.

Baholash funksiyasi $f(\odot)$ ning qiymatini shunday aniqlaymizki, uning n tugunlardagi qiymati $f(n)$ ikkita qiymatlar yig'indisi bahosidan iborat

bo'ladi:

1) boshlang'ich n_0 tugunlardan n tugungacha bo'lgan yo'lning minimal bahosi;

2) n tugunlardan qaysidir maqsadli t yoki t_i tugungacha bo'lgan yo'lning minimal bahosi;

Agar birinchi bahoni $g^*(n)$ va ikkinchi bahoni $h^*(n)$ bilan belgilasak, u holda $f(n)$ baholash funksiyasi

$$f^*(n) = g^*(n) + h^*(n)$$

bo'ladi.

$g^*(n)$ va $h^*(n)$ funksiyalarni $c(n_i, n_j)$ lar yordamida quyidagicha aniqlash mumkin:

$$g^*(n) = \min_{\{l_\alpha\}_{n_0}^n} \sum_{l_\alpha \in \{l_\alpha\}_{n_0}^n} c(n_{i_\alpha}, n_{j_\alpha}) ; \quad h^*(n) = \min_{l_\alpha} \min_{\{l_\alpha\}_{n_0}^n} \sum_{l_\alpha \in \{l_\alpha\}_{n_0}^n} c(n_{i_\alpha}, n_{j_\alpha})$$

Bu yerda formuladagi $g^*(n)$ uchun minimum boshlang'ich n_0

tugundan n tugungacha bo'lgan barcha $\{l_\alpha\}_{n_0}^n$ yo'llar bo'yicha hisoblanadi. Formuladagi $h^*(n)$ uchun tashqi minimum barcha maqsadli t_i tugunlar bo'yicha, ichki minimum esa boshlang'ich n tugundan tugallanadigan maqsadli t_i tugungacha bo'lgan barcha $\{l_\alpha\}_n^{t_i}$ yo'llar bo'yicha hisoblanadi. $\{l_\alpha\}_m^n$ belgilash, boshlang'ich m tugundan n tugallanadigan ixtiyoriy yo'l uchun foydalaniladi.

Umumiy holda baholash funksiyasini $f(n) = g(n) + h(n)$ aniqlash mumkin, bu yerda $g(n)$ funksiy - $g^*(n)$ funksiyalarning qandaydir bahosi (yaqinlashish), $h(n)$ funksiy esa - $h^*(n)$ funksiyalarning qandaydir bahosi (yaqinlashish). $g(n)$ funksiyning bahosi sifatida n_0 tugunlardan n tugungacha bo'lgan $\{l_\alpha\}_{n_0}^n$ yo'llardagi yo'ylar bahosining yig'indisi, ya'ni

$$g(n) = \sum_{l_\alpha \in \{l_\alpha\}_{n_0}^n} c(n_{i_\alpha}, n_{j_\alpha}).$$

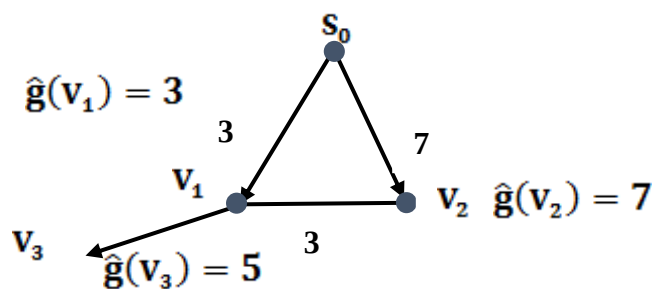
Barcha maqsadli bo'lmagan tugunlar uchun $h(n) \leq h^*(n)$ shartni qanoatlantiruvchi baholash funksiyasi $f(n) = g(n) + h(n)$ *A* algoritmi deb ataladi.*

Barcha maqsadli bo'lmagan tugunlar uchun $h(n) \leq h^*(n)$ shat qatnashmasa baholash funksiyasi $f(n) = g(n) + h(n)$ *A algoritmi deb ataladi.*

A va A* algoritmlarida $g(n)$ funksiy $g^*(n)$ funksiyalarning bahosi hisoblanadi. Ikkala algoritmda ham tugunlarni qidiruvni davom ettirish

uchun alternativ tugunlar orasidan $f(n)$ funksiyaning eng kichik qiymatiga mos keladigan tugun tanlanadi.

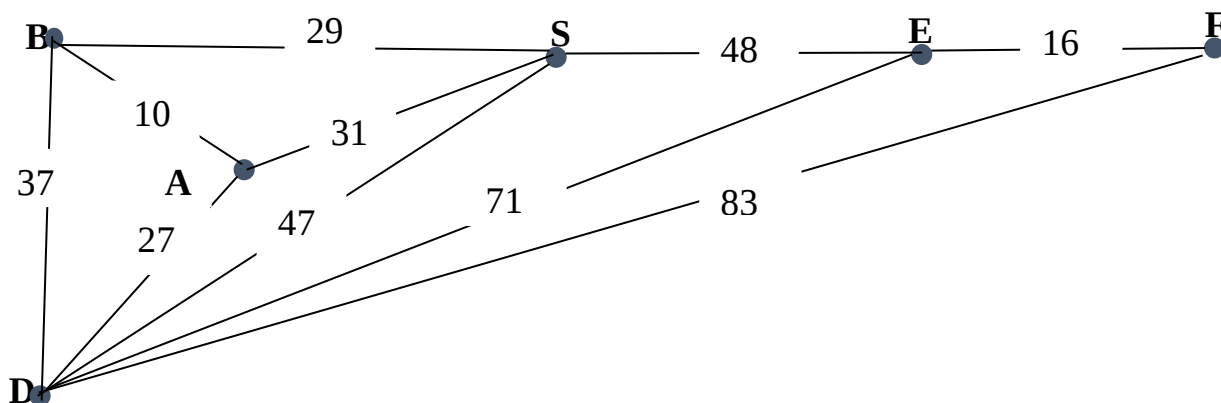
Misol. Aytaylik qidiruvning 1-qadamida S_0 tugun ochilgan bo'lsin va undan yo'lning baholash qiymatlari $\hat{g}(V_1) = 3$ va $\hat{g}(V_2) = 7$ ega bo'lgan V_1 va V_2 tugunlar chiqqan bo'lsin. 2-qadamda V_1 tugun ochiladi va undan V_3 va yana V_2 tugun chiqadi, bunda V_1 tugundan V_2 tugunga olib boruvchi yolning baholash funksiyasi qiymati qiymatlari $\hat{g}(V_1) = 3$. Ko'rinib turibdiki, S_0 tugundan V_2 tugungacha bo'lgan qisqa yo'lning bahosi $\hat{g}(V_2) = 6$ (4.6-rasm).



4.6-rasm.

Ta'kidlash joizki, $\hat{g}(V) = 7 \geq g(V) = 6$.

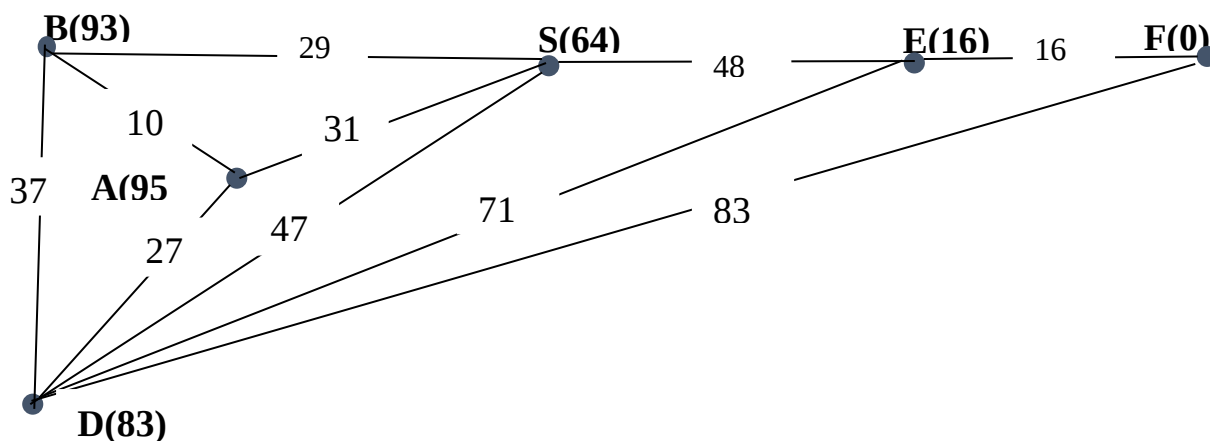
Misol. Aytaylik, A, B, S, D, E, F zavodlar va ular orasidagi yo'l masofalari berilgan bo'lsin (4.7-rasm). Biz A zavoddan F zavodga kelishimiz kerak. Zavodlar orasidagi masofa ikki yoqlama, ya'ni harakat ikki tomonga ham yo'naltirilgan bo'lishi mumkin.



4.7-rasm. Zavodlarga borish yo'lini qidiruv masalasi.

Bizga tugunlar orasidagi masofalar berilganligi uchun ular orasidagi yo'lni qidiruv uchun BFdan foydalanamiz. A zavodga eng yaqin zavod- B (10km), keyin -S(29), D(47), E(71), F(16). Yo'lning umumiy uzunligi - 173 km bo'lib, u optimal 95 km (A-S-E-F) yo'ldan ancha farq qiladi.

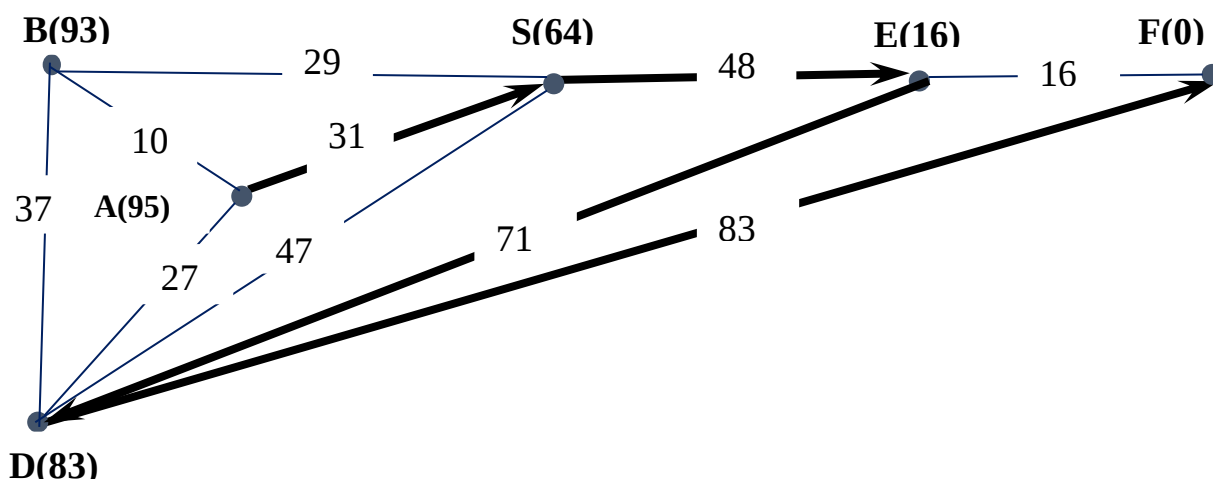
Faraz qilaylik, bizga har bir zavoddan F gacha bo'lgan masofalar ma'lum bo'lsin (4.8-rasm).



4.8-rasm. Zavodlarga to'g'ri borish yo'lini qidiruv masalasi.

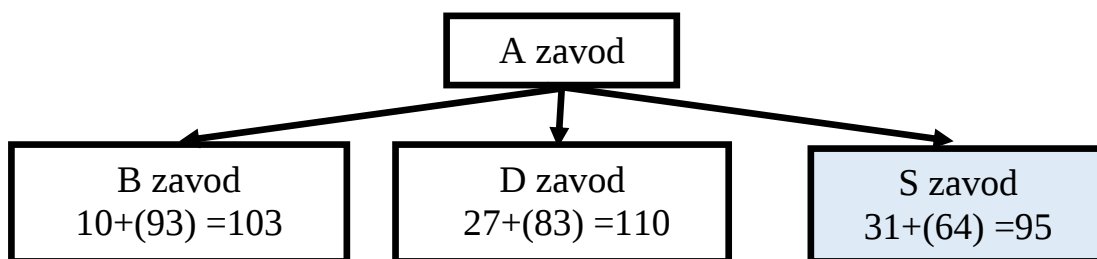
Optimal marshrut minimal yo'llardan iborat bo'lgani uchun, ulardan qidiruvning oxirida natijalarni baholash uchun emas, balki qidiruvning har bir qadamida foydalanish kerak. Biz to'liq ma'lumotlarga ega bo'lmasakda, bizda bosib o'tilgan yo'l haqidagi aniq axborot va evristik funksiya mavjud. Ulardan foydalanib, har bir etapda yo'lning umumiy uzunligini baholash mumkin. *Yechimlar bahosini baholashlar yig'indisini minimallashtirish usuli A* algoritm deb ataladi.*

Baholash funksiyasi $f(n)$ har bir qadamda $f(n) = g(n) + h(n)$ hisoblanadi, bu yerda $g(n)$ -n-tugunda erishiladigan bahosi, $h(n)$ - n-tugunda evristik funksiyaning maqsadga erishiladigan bahosi.



4.9-rasm. Zavodlarga borish yo'lini xasisli qidiruv masalasi.

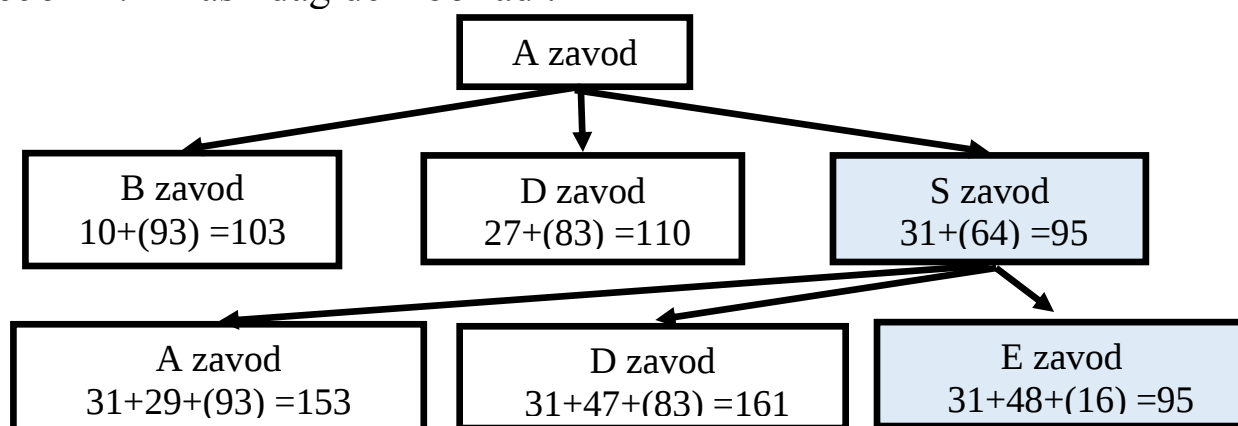
Baholash funksiyasini 4.10-rasmida keltirilgan zavodlarga borish yo'lining oxirgi varianti uchun qaraymiz. Adan chiqadigan punktlarni qaraydigan bo'lsak, u holda baholash funksiyasi quyidagi qiymatlarga ega bo'ladi (4.10-rasm).



4.10-rasm.

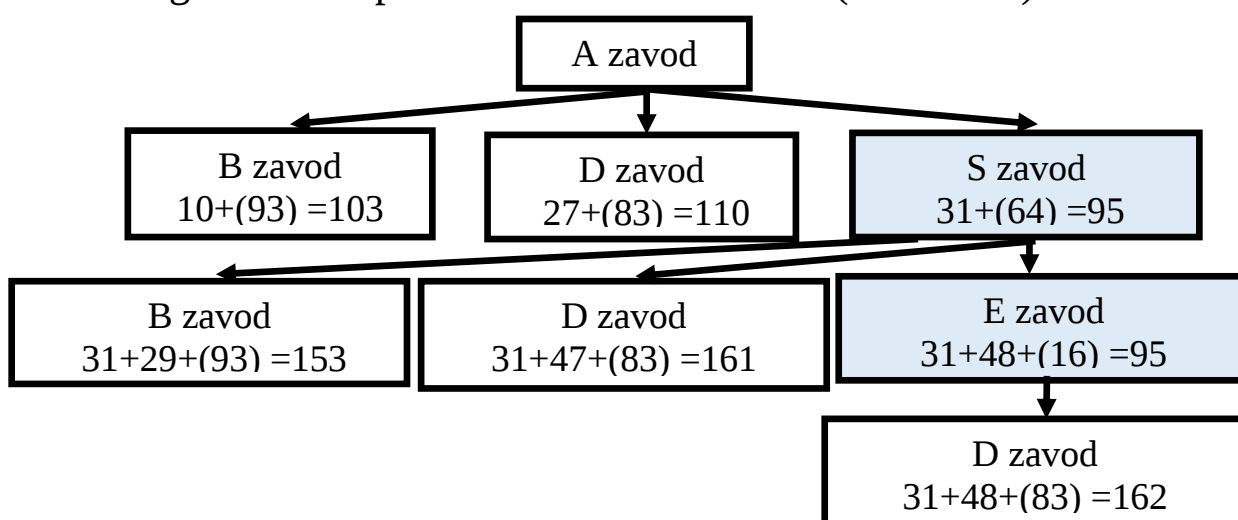
Ko'rinib turibdiki, S minimal BFGa ega. Shuning uchun navbatdagi punkt sifatida S punkti tanlanadi.

Ikkinchi qadamda biz uchib o'tilgan 31 km. yo'lga ega bo'lamiz. Shuning uchun S dan navbatdagi punktlargacha baholash funksiyasi qiymatlari 4.11-rasmdagidek bo'ladi.



4.11-rasm.

Navbatdagi marshrut punkti sifatida E tanlanadi (4.12-rasm)

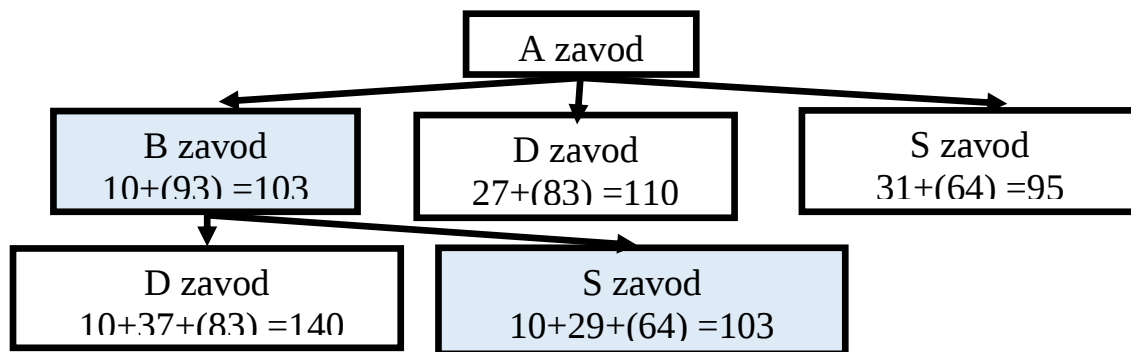


4.12-rasm.

Edan faqat Dgacha yo'l bor, lekin uning baholash funksiyasining qiymati A-D marshruti baholash funksiyasining qiymatiga nisbatan katta. Bundan kelib chiqadiki, bu marshrut (A-S-E -D - ...) optimal yechimni

bermaydi. Shuning uchun S punktining o'rniga boshqa zavodni tanlash kerak.

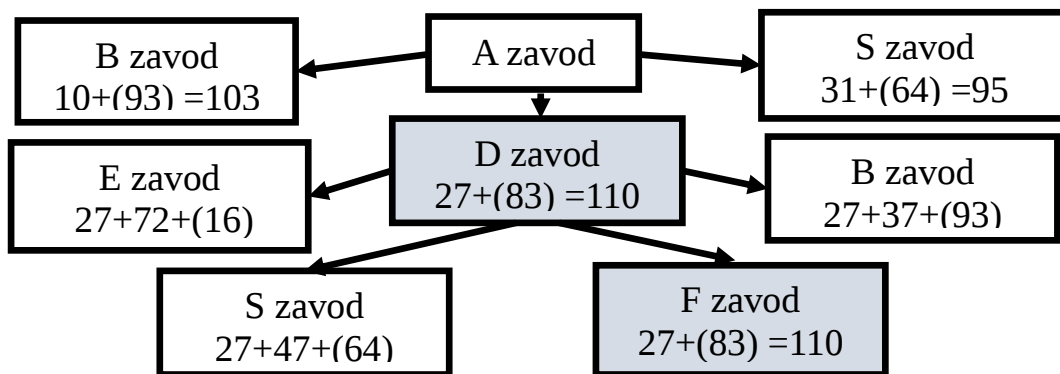
Baholash funksiyasi qiymatining o'sishini e'tiborga olsak, u holda S punktidan keyin B tanlanadi. B tanlanadigan bo'lsa baholash funksiyalari bo'yicha punktlar 4.13-rasmdagidek joylashadi:



4.13-rasm.

Bu yerda D va S punktlari uchun ham olingan baholash funksiyalarining qiymatlari oldingi marshrutlarda olingan baholash funksiyalarining qiymatlaridan yuqori bo'layapti. Shuning uchun marshrutni Ddan boshlash kerak.

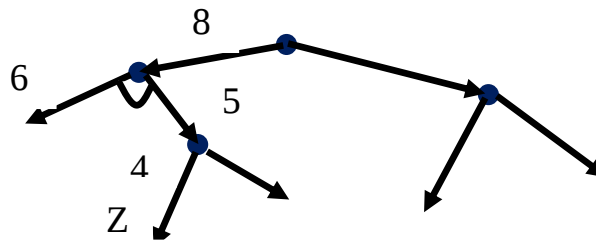
Ddan to'g'ri Fga boriladi (4.14-rasm). Maqsadli yechimga erishildi va u optimal yechim hisoblanadi.



4.14-rasm.

Yechimlar daraxti bahosi. Yechimlar daraxtini aniqlashda ikkita baholash qaratiladi. Birinchisi yechimlar daraxtida barcha yo'lar baholari yig'indisidan iborat *yig'indi baho* bo'lsa, ikkinchisi esa yechimlar daraxtida ikkita tugun orasidagi maksimal baholardan tashkil topgan yo'llarning *maksimal bahosidan* iborat. Yo'ning bahosi ushbu yo'lni tashkil etuvchi yo'lar baholari yig'indisi bilan aniqlanadi.

Misol. Keltirilgan tushunchalarni 4.17-rasmda keltirilgan daraxtli yechimda tushuntirish mumkin, bu yerda yo'lardagi raqamlar baholarni anglatadi. Bu misolda *yig'indi baho* 23, *maksimal baho* 17ga teng.



4.17-rasm. Reduksiyali grafda yechimlar daraxti.

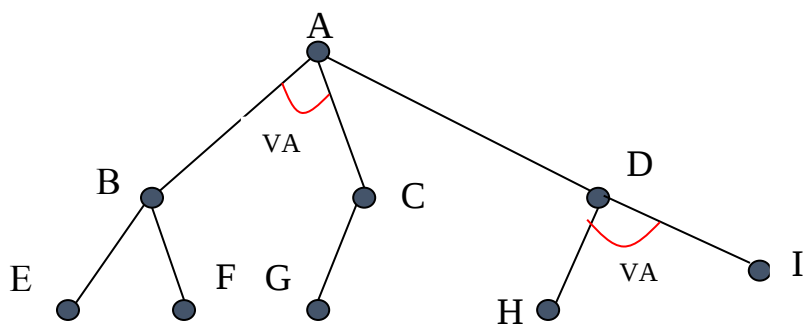
Minimal bahoga ega bo'lgan echinlar daraxti optimal deyiladi.

Nazorat savollari

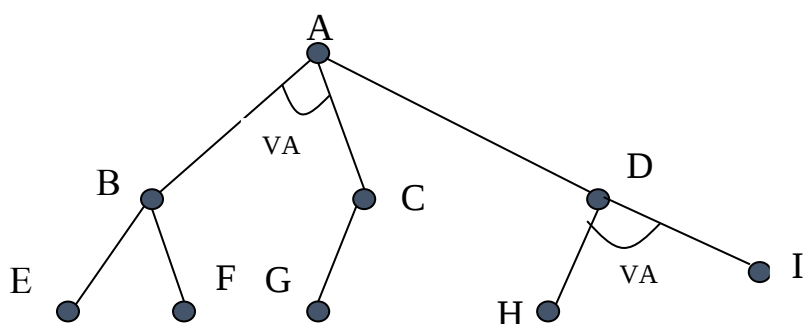
1. Masalalarning holatini tavsiflashning qanday shakllari mavjud ?.
2. Daraxtda tugunlarning pog'onalari qanday aniqlanadi ?
3. Daraxtda masalalar ostilarining o'zaro aloqasi strukturasi qanday tiplarda bo'lishi mumkin ?
4. SITlari masalalarini yechishda qo'llaniladigan mavjud usullarni qanday sinflarga ajratiladi?
5. Holatlar fazosida yechimni qidiruv usullari odatda qanday tiplarga bo'linadi?
6. Umumiy holda holatlar daraxtini qanday ko'rinishda beriladi?
7. Holatlar daraxtini qurish qanday amalga oshiriladi?
8. Baholash funksiyasi nima va qanday aniqlanadi?
9. Tugunlarning chuqurligi deganda nima tushuniladi?
10. Chuqurligi bo'yicha qidiruv algoritmining g'oyasi nimadan iborat?
11. Kengligi bo'yicha qidiruv algoritmining g'oyasi nimadan iborat ?
12. Evristik qidiruvning g'oyasi nimadan iborat ?
13. Umumiy holda A* algoritmda baholash funksiyasi qanday ko'rinishda aniqlanadi?

Nazorat testlari

1. Daraxtda masalalar ostilarining o'zaro aloqasi strukturasi tiplarda bo'lishi mumkin.
 - a) VA-strukturalar va VA-YOKI-strukturalar;
 - b) VA-strukturalar va VA-U HOLDA-strukturalar;
 - c) VA-strukturalar va U HOLDA-YOKI-strukturalar;
 - e) AGAR –U HOLDA -strukturalar va VA-YOKI-strukturalar.
2. Daraxtda A masala yechiladi, agardamasalalar yechilsa.



- a) B va C yoki D; b) B yoki E; c) B va C yoki G; e) B va C yoki H.
3. Berilgan daraxtga mos mantiqiy formulani quring?.



- a) $((E \vee F) \rightarrow B) \wedge (G \rightarrow C) \vee ((H \wedge I) \rightarrow D) \rightarrow A$;
 b) $((E \wedge F) \rightarrow B) \wedge (G \rightarrow C) \vee ((H \vee I) \rightarrow D) \rightarrow A$;
 c) $((E \rightarrow F) \rightarrow B) \wedge (G \rightarrow C) \vee ((H \rightarrow I) \rightarrow D) \rightarrow A$;
 e) $((E \vee F) \rightarrow B) \rightarrow (G \rightarrow C) \vee ((H \wedge I) \rightarrow D) \rightarrow A$.

4. SITlari masalalarini yechishda bir o'lchovli fazoda yechimni qidiruv usullaridanfoydalaniladi;

a) o'lchovi katta bo'lmagan sohalarda, modellar to'liq, ma'lumotlar aniq va to'liq bo'lganda;

b) o'lchovi kichik bo'lmagan sohalarda, modellar to'liq, ma'lumotlar aniq va to'liqmas bo'lganda;

c) o'lchovi katta bo'lgan sohalarda, modellar to'liqmas, ma'lumotlar aniqmas va to'liq bo'lganda;

e) o'lchovi katta bo'lmagan sohalarda, modellar to'liqmas, ma'lumotlar aniq va to'liqmas bo'lganda.

5. SITlari masalalarini yechishda ierarhik fazoda yechimni qidiruv usullaridanfoydalaniladi;

a) o'lchovi katta bo'lgan sohalarda yechimlarni qidiruvda;

b) o'lchovi kichik bo'lgan sohalarda yechimlarni qidiruvda;

c) o'lchovi aniqmas bo'lgan sohalarda yechimlarni qidiruvda;

e) o'lchovi aniq, lekin yechimi aniqmas sohalarda yechimlarni qidiruvda.

6. Grafda yo'lni chuqurligi bo'yicha qidiruvda ixtiyoriy tugunning

baholash funksiyasi qiymati ushbu bo'ladi.

a) tugundan boshlang'ich tugungacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional;

б) tugundan oxirgi tugungacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional;

c) tugundan boshlang'ich tugungacha bo'lgan masofaga teskari proporsional;

e) tugundan oxirgi tugungacha bo'lgan masofaga teskari proporsional.

7. Grafda yo'lni kengligi bo'yicha qidiruvda ixtiyoriy tugunning baholash funksiyasi qiymati ushbu bo'ladi.

a) tugundan boshlang'ich tugungacha bo'lgan masofaga teskari proporsional;

б) tugundan oxirgi tugungacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional;

c) tugundan boshlang'ich tugungacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional;

e) tugundan oxirgi tugungacha bo'lgan masofaga teskari proporsional.

8. Grafda yo'lni kengligi bo'yicha qidiruv strategiyasida yechimni qidiruv tupikli holatga kelib qolsa, u holda qidiruv davom ettiriladi.

a) oldingi tugunga qaytiladi va ushbu tugundan yechimni kengligi bo'yicha;

б) keyingi tugunga o'tiladi va ushbu tugundan yechimni kengligi bo'yicha;

c) oldingi tugunga qaytiladi va ushbu tugundan yechimni chuqurligi bo'yicha;

e) faqat boshlang'ich tugunga qaytiladi va ushbu tugundan yechimni kengligi bo'yicha.

9. A^* algoritmda baholash funksiyasi umumiy holda qanday beriladi?

a) $f(n) = g(n) + h(n)$; б) $f(n) = h(n)$; c) $f(n) = g(n)$;

e) $f(n) = g(n) + h(n) + 1$.

Masala va topshiriqlar

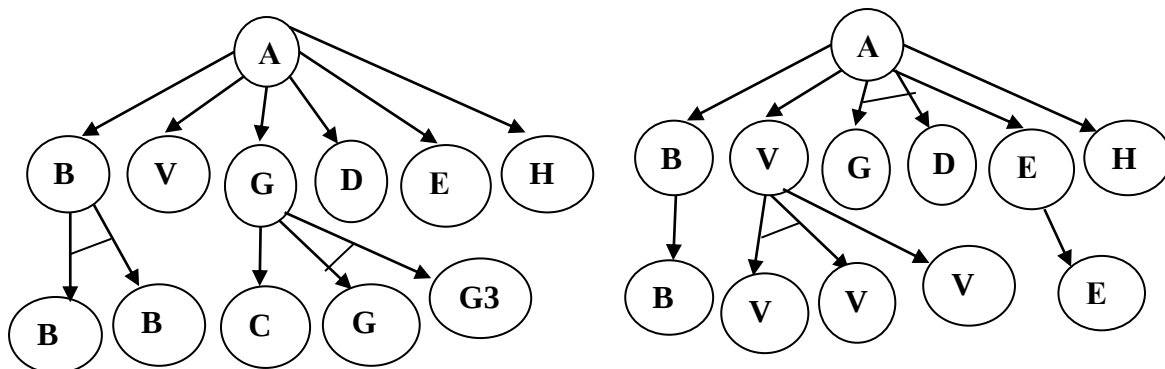
1. A boshlang'ich tugunli 3 va 5 qatlamli "va-yoki" tipli daraxtni quring.

2. "Agar B va C yoki D va K masalalar yechilsa, u holda A va E

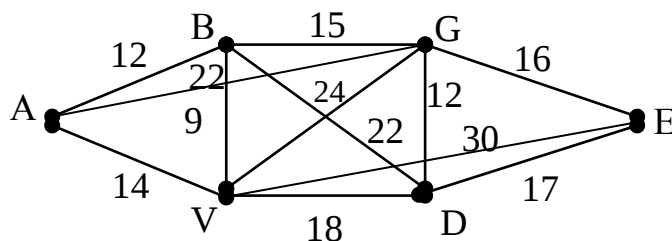
yoki F va G masalalar yechiladi” mulohazani graf ko’rinishda tasvirlang.

3. $((E \rightarrow F) \rightarrow B) \wedge (G \rightarrow C) \vee ((H \rightarrow I) \vee D) \rightarrow A$ mantiqiy formulani graf ko’rinishda tasvirlang.

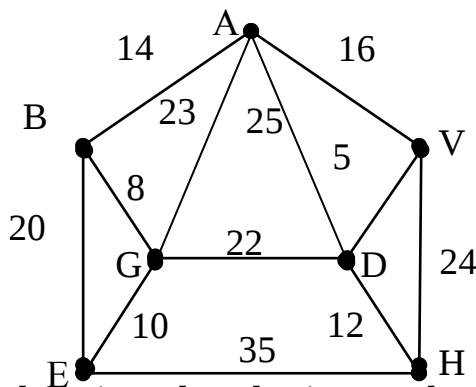
4. Quyidagi “va-yoki” graflar uchun mantiqiy formulalarni tuzing:



5. Robot o’z harakatini n punktlarning ixtiyoriy bittasidan boshlab, har birida faqat bir martadan bo’lib, yana boshlang’ich punktiga qaytib kelishi kerak. Quyidagi grafda berilgan $A \rightarrow G, G \rightarrow V, B \rightarrow E, A \rightarrow E$ marshrutlar uchun eng uzun yo’lni toping. Ushbu marshrutlarni daraxt ko’rinishda tasvirlang.

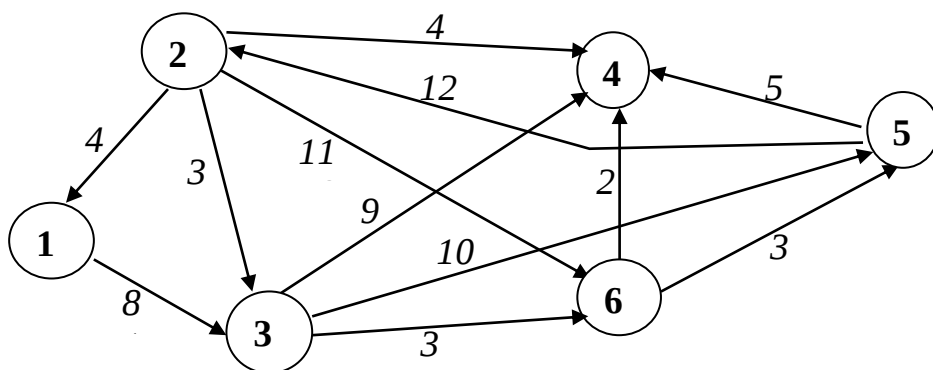


6. Robot o’z harakatini n punktlarning ixtiyoriy bittasidan boshlab, har birida faqat bir martadan bo’lib, yana boshlang’ich punktiga qaytib kelishi kerak. Quyidagi grafda berilgan $A \rightarrow E, A \rightarrow H, B \rightarrow H, V \rightarrow E$ marshrutlar uchun eng qisqa yo’lni toping. Ushbu marshrutlarni daraxt ko’rinishda tasvirlang.



7. Quyida robotning harakati marshruti keltirilgan. Kyeltirilgan ma’lumotlardan foydalanib, robotning bir tugun(punkt)dan boshqa tugungacha bo’lgan eng uzun yo’lni toping:

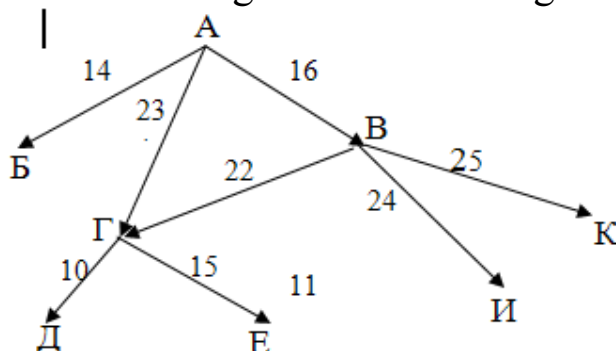
1) 1-tugundan 5 –tugungacha; 2) 2-tugundan 5 -tugungacha..



8. O'zbekiston Respublikasi kartasidan foydalanib, viloyatlarni bog'lovchi transport harakati marshrutini cuqurligi va kengligi bo'yicha qidiruv algoritmlari asosida aniqlang va graf ko'rinishda tasvirlang.

9. O'zbekiston Respublikasi kartasidan foydalanib, viloyatlarini bog'lovchi transport harakati marshrutlari orasidan A^* algoritmi asosida optimal transport harakati marshrutini toping va graf ko'rinishda tasvirlang.

10. Aytaylik, zavodlar orasidagi masofalar berilgan bo'lsin.



Zavodlar orasidagi masofa biryoqlama, ya'ni harakat bir tomonga yo'naltirilgan bo'lishi mumkin. Zavodlar orasidagi masofaning yig'indi qiymati va maksimal qiymatini aniqlang:

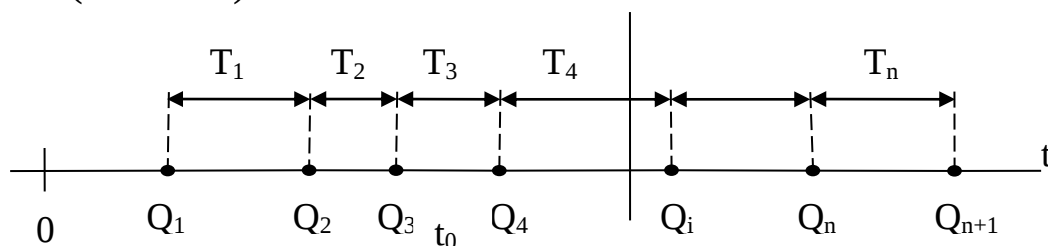
1) A-K; 2) A-Д; 3) A-E; 4) A-И; 5) A-Γ; 6) A-B.

5-BOB. QAROR QABUL QILISHNING MARKOV JARAYONLARI VA O'YINLAR NAZARIYASI

1-§. Hodisalar oqimi

Hodisalar oqimi - bu turli vaqt momentlarida birin-ketin paydo bo'ladigan bir jinsli hodisalar ketma-ketligidir. Masalan: telefon stantsiyasidagi qo'ng'iroqlar oqimi; kompyuterdagi uzilishlar oqimi; hisoblash markazidagi hisoblashlar uchun talablar oqimi va h.k.

Hodisalar oqimi absissa o'qidagi $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ nuqtalar yordam ifodalanadi (5.1-rasm).



5.1-rasm. Hodisalar oqimi realizatsiyasi.

Ular orasidagi intervallar bilan birga:

$$T_1 = Q_2 - Q_1; T_2 = Q_3 - Q_2; T_n = Q_{n+1} - Q_n.$$

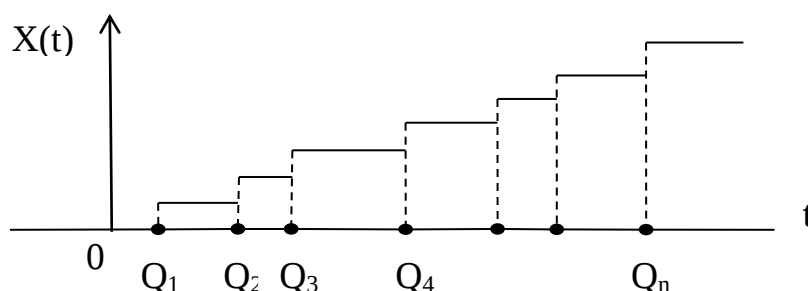
Hodisalar oqimini ehtimoliy izohlash tasodifiy miqdorlar ketma-ketligi sifatida

$$Q_1; Q_2 = Q_1 + T_1; Q_3 = Q_1 + T_1 + T_2; \dots;$$

ifodalanishi mumkin.

5.1-rasmda nuqtali qator sifatida hodisalar oqimi emas, balki uning bitta aniq tatbiqi ifodalangan.

Hodisalar oqimi *asoratsiz* deyiladi, agarda ixtiyoriy τ vaqt oralig'iga tushadigan hodisalar soni kesishmaydigan boshqa oraliqqa tushgan hodisalar soniga bog'liq bo'lmasa. Amaliy jihatdan oqimda asoratlar bo'lmasligi, oqim hosil qiluvchi hodisalarning u yoki bu vaqt momentlarida paydo bo'lishi bir-biriga bog'liqmasligini bildiradi.



5.2-rasm.- Hodisalar oqimi tasodifiy jarayon sifatida.

Hodisalar oqimi *statsionar* deyiladi, agarda uning tasodifiy tavsiflari hisob boshini tanlashga bog'liq bo'lmasa, aniqrog'i biror sondagi hodisalarning biror vaqt oralig'iga tushishi faqatgina shu oraliq uzunligiga bog'liq bo'lsa va $(0-t)$ o'qning qayerida joylashganligiga bog'liq bo'lmasa.

Hodisalar oqimi *ordinar* deyiladi, agarda elementer Δt vaqt oraig'iga ikki yoki undan ortiq hodisalarning tushish ehtimoli bu oraliqqa bitta hodisaning tushish ehtimoliga nisbatan yetarlicha kichik bo'lsa.

Hodisalarning *ordinar* oqimini t vaqt momentigacha paydo bo'ladigan $X(t)$ hodisalar oqimining tasodifiy jarayoni sifatida qarash mumkin (5.2-rasm).

$X(t)$ tasodifiy jarayon $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ nuqtalarda sakrashsimon bir qiymatga oshadi.

Hodisalar oqimi *oddiy* deyiladi, agarda u statsionar, ordinar va asoratlarsiz bo'lsa. Oddiy oqimdagi ikki qo'shni hodisalar orasidagi T vaqt oralig'i musbat taqsimotga ega:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (t > 0 \text{ bo'lganda}).$$

Bu yerda $\lambda = 1/M[T]$ - T oraliq o'rtacha qiymatiga teskari kattalik.

Asoratlarsiz hodisalarning ordinar oqimi *Puasson oqimi* deyiladi. Oddiy oqim statsionar Puasson oqimining xususiy holi hisoblanadi.

Hodisalar oqimining *intensivligi* λ deb, vaqt birligida kelib tushadigan hodisalarning o'rtacha soniga aytiladi. Statsionar oqim uchun $\lambda = \text{const}$; nostatsionar oqim uchun u vaqtga bog'liq bo'ladi, ya'ni $\lambda = \lambda(t)$.

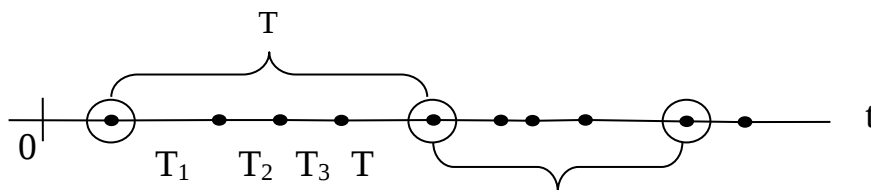
Oqimning *oniy intensivligi* $\lambda(t)$ - $(t, t + \Delta t)$ vaqt oralig'ida sodir bo'ladigan hodisalarning o'rtacha soni $\Delta t \rightarrow 0$ oraliq uzunligiga nisbatiga aytiladi. t_0 momentdan keyin keladigan τ vaqt oralig'ida kelib tushadigan hodisalarning o'rtacha soni teng bo'ladi (5.2-rasmga qarang):

$$a_0(t_0, \tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \lambda(t) dt.$$

Agar hodisalar oqimi statsionar bo'lsa, u holda $a_0(t_0, \tau) = a(\tau) = \lambda \tau$.

Hodisalarning ordinar oqimi *Palma oqimi* (rekurrent oqim yoki chegaralangan asoratli oqim) deyiladi, agarda hodisalar orasidagi $T_1, T_2, \dots$ vaqt intervallari o'zaro mustaqil ravishda bir xil taqsimlangan tasodifiy miqdorlarni ifodalasa. $T_1, T_2, \dots$ taqsimotlarning bir xilligidan Palma oqimi har doim statsionardir. Oddiy oqim Palma oqimi xususiy holi bo'lib, unda hodisalar orasidagi intervallar ko'rsatilgan qonun bo'yicha taqsimlangan, bu yerda λ - oqim intensivligi.

k -tartibli *Erlang oqimi* deb, shunday oqimga aytiladiki, bunda oddiy oqimdan k -nuqta (hodisa) saqlanib, boshqa oraliq nuqtalar tashlab yuboriladi. 5.3-rasmda oddiy oqimdan 4-tartibli Erlang oqimini olish ko'rsatilgan.



5.3-rasm.

k -tartibli *Erlang oqimida* ikki qo'shni hodisa orasidagi vaqt intervali λ parametr bilan ko'rgazmali taqsimotga ega k ta $T_1, T_2, \dots, T_k$ mustaqil tasodifiy miqdorlar yig'indisini ifodalaydi:

$$T = \sum_{i=1}^k T_i.$$

T tasodifiy miqdor taqsimot qonuni k -tartibli *Erlang qonuni* deyiladi va

$$f_k(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda t} \quad (t > 0 \text{ bo'lganda}).$$

zichlikka ega.

T tasodifiy miqdorning matematik kutilma, dispersiya va o'rtacha kvadratik chetlashishi mos ravishda

$$m_t = k / \lambda; \quad D_t = k / \lambda^2; \quad \sigma_t = \sqrt{k} / \lambda.$$

aniqlanadi.

T tasodifiy miqdorning kovariatsiya koeffisienti

$$U_t = \sigma_t / m_t = 1 / \sqrt{k}$$

hisoblanadi.

Erlang oqimi tartibi ortishi bilan hodisalar orasidagi tasodifiylik darajasi nolga intiladi.

Agar oddiy oqimni siyraklashtirish bilan birga $[0-t]$ o'qi masshtabini (k ga bo'lish orqali) o'zgartirsak, intensivligi k ga bog'liq bo'lmagan normallangan k -tartibli Erlang oqimi paydo bo'ladi.

Normallangan k -tartibli Erlang oqimidagi tasodifiy miqdorning sonli tavsiflari quyidagilarga teng:

$$M[\bar{T}] = 1 / \lambda; \quad D[\bar{T}] = 1 / k \lambda^2; \quad \bar{\sigma}_t = 1 / \lambda \sqrt{k}; \quad u_t = 1 / \sqrt{k}.$$

k ortishi bilan normallangan Erlang oqimi chegaralanmagan holda hodisalar orasidagi $I = 1 / \lambda$ o'zgarmas intervallik regulyar oqimga intiladi.

2-§. Markov modeli va Markov tasodifiy jarayonlari

2.1. Markov modeli

Markov zanjirlarining asosiy tushunchalarini 1907 yilda A.A. Markov kiritgan. Shu vaqtdan boshlab bu nazariyani ko‘plab matematiklar rivojlantirdi. Oxirgi vaqtlarda Markov zanjirlari biologik va sotsiologik tadqiqotlarda keng qo‘llanila boshladi. Inson faoliyatining ko‘plab sohalarida biz kutish holatlariga duch kelamiz. Bunday holatlar bilek sotuvchi kassalarda, aeroportlarda samolyotlarning uchishi yoki qo‘nishiga ruxsat olishni xizmatchilar tomonidan kutish, telefon stantsiyalarida abonentlar tomonidan liniyalarning bo‘shashini kutish, ta‘mirlash sexlarida stanoklarning va jihozlarning ta‘mirlanishini kutish, materiallarni transportga ortish yoki tushirishda transportning bo‘shashini kutish va h.k. misollarni keltirish mumkin. Keltirilgan barcha misollarda biz ommaviylik va xizmat ko‘rsatish holatlariga duch kelamiz. Bunday holatlarni o‘rganish bilan ommaviy xizmat ko‘rsatish nazariyasi shug‘ullanadi. Ommaviy xizmat ko‘rsatish nazariyasida xizmat ko‘rsatiladigan ob‘ektlarni talablar deb atashadi. Umumiy holda talab deganda qandaydir ehtiyojni qondirish tushuniladi, masalan, abonent bilan gaplashish, samolyotni qo‘ndirish, bilekni sotish, omborxonadan xomashyolarni olish.

2.2. Markov tasodifiy jarayonlari

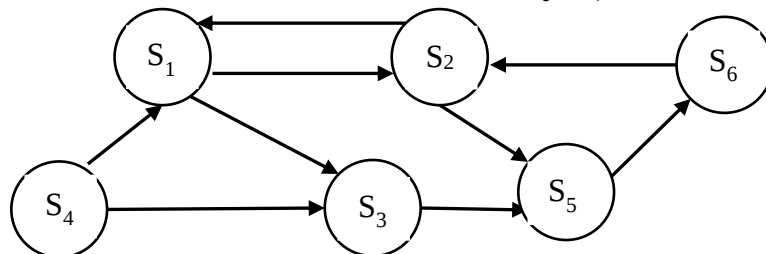
Asosiy faktorlardan biri - bu hodisalarning tasodifiylik faktori hisoblanadi. Bunda tasodifiylik faktori statistik turg‘unlik xossasiga ega bo‘lishi kerak. Tasodifiylik faktorining statistik turg‘unligi-bu tasodifiy hodisalarning statistik qonunlarga bo‘ysinishi hisoblanadi. Tasodifiylik faktorining statistik turg‘unligi sharti tasodifiy jarayonlar nazariyasining samarali matematik usullaridan, xususiyl holda Markov jarayonlari nazariyasidan foydalanish imkoniyatini yaratadi. Markov tasodifiy jarayonlari rus matematigi A.A.Markov tomonidan ishlab chiqilgan. Ushbu nazariya diffuziyali tasodifiy jarayonlar, ishonchlilik nazariyasi, ommaviy xizmat ko‘rsatish nazariyalarining rivojlanishi uchun baza bo‘lib xizmat qildi. Hozirgi vaqtda Markov tasodifiy jarayonlari va uning ilovalari mexanika, fizika, ximiya va boshqa sohalarida keng miqyosda qo‘llanilmoqda.

Markov tasodifiy jarayonlari tasodifiy jarayonlarning xususiyl holi hisoblanadi. O‘z navbatida tasodifiy jarayonlar tasodifiy funksiyalarga

asoslanadi. Tasodifiy funksiya deb - argumentlarning ixtiyoriy qiymatlarida tasodifiy qiymat qabul qiluvchi funksiyaga aytiladi. Boshqacha aytganda, tasodifiy funksiyaning ko‘rinishi har bir sinovda oldindan noma’lum bo‘ladi. Bunga misollar sifatida: elektr zanjiridagi kuchlanishning tebranishi, yo‘l qismida chegaralangan tezlikda harakatlanayotgan avtomobil harakat tezligi, aniq sohada detal sirtining notekisligi va h.k.larni keltirish mumkin. Qoidaga ko‘ra, agarda tasodifiy funksiyaning argumenti vaqt hisoblansa, u holda jarayon tasodifiy bo‘ladi.

Agar holatni S_i va bog‘liqlikni $S_i(t)$ bilan belgilasak, u holda bunday bog‘liqlik tasodifiy funksiya bo‘ladi.

Tasodifiy jarayon *Markov jarayoni* deyiladi, agarda u quyidagi xossalarga ega bo‘lsa: ixtiyoriy t_0 vaqt momenti uchun tizimning keying ixtiyoriy holatlari ehtimoli ($t > t_0$) uning hozirgi holatiga bog‘liq ($t = t_0$) bo‘lib, tizimning bunday holatga qanday kelganligiga bog‘liq bo‘lmasa. Bu yerda faqat $S_1, S_2, \dots, S_n$ uzlukli (diskretli) holatli Markov jarayonlarini qarab chiqamiz. Bunday jarayonlarni holatlar grafi orqali ko‘rsatish qulayroq (5.4-rasm), bu yerda to‘rtburchaklar (yoki doirachalar bo‘lishi mumkin) $S_1, S_2, \dots, S_n$ tizim holatlari, strelkalar bir holatdan boshqa holatga mumkin bo‘lgan o‘tishlar (grafda faqat bevosita o‘tishlar belgilanib, boshqa holatlardan bilvosita o‘tishlar ko‘rsatilmaydi).



5.4-rasm. Tasodifiy jarayon holatlar grafi.

Ba‘zan holatlar grafida nafaqat mumkin bo‘lgan o‘tishlar, balki oldingi holatlardagi kutilishlar ham ifodalanadi. Bu shu holatga qaytib keluvchi strelka (“sirtmoq”) shaklida tasvirlanadi, lekin ko‘rsatilmaslgi ham mumkin. Holatlar soni chekli yoki cheksiz bo‘lishi mumkin.

Uzlukli vaqtli va uzlukli holatli Markov tasodifiy jarayoni *Markov zanjiri* deyiladi. Bunday jarayon uchun S tizim o‘z holatini o‘zgartiradigan $t_1, t_2, \dots$ momentlarni jarayonning ketma-ket qadamlari sifatida qarash qulay bo‘lib, jarayon bog‘liq bo‘lgan argument sifatida t vaqtni emas, balki qadam raqami $1, 2, \dots, k$ olinadi.

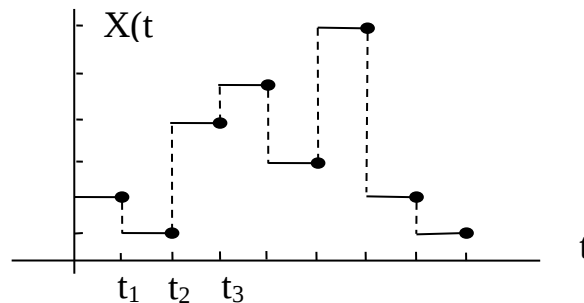
Tasodifiy jarayon bu holda quyidagi holatlar ketma-ketligi bilan tavsiflanadi;

$$S(0), S(1), S(2), \dots, S(k),$$

bu yerda $s(0)$ - tizim boshlang'ich holati (birinchi qadamdan oldin); $s(1)$ - birinchi qadamdan keyingi tizim holati; $s(k)$ - k -qadamdan keyingi tizim holati.

S_i ($i=1,2,\dots$) hodisa tasodifiy hisoblanadi, shuning uchun holatlar ketma-ketligini tasodifiy hodisalar ketma-ketligi sifatida qarash mumkin. Boshlang'ich $s(0)$ holat oldindan berilgan yoki tasodifiy bo'lishi mumkin. Yuqoridagi hodisalar ketma-ketligi Markov jarayonlarini tashkil etadi.

n ta mumkin bo'lgan $S_1, S_2, \dots, S_n$ holatli jarayonni qaraymiz. Agar $X(t)$ orqali t momentdagi S tizim holati raqamini belgilasak, u holda jarayon qiymatlari $1, 2, \dots, n$ ga teng butun sonli tasodifiy funksiya $X(t) > 0$ orqali ifodalanadi. Bu funksiya berilgan $t_1, t_2, \dots$ vaqt momentlarida bir butun qiymatdan boshqa butun qiymatga sakrashni amalga oshiradi va chapdan uzluksizdir.



5.5-rasm. Tasodifiy jarayon grafigi.

$X(t)$ tasodifiy funksiya bir o'lchovli taqsimot qonunini qaraymiz. $P_i(k)$ orqali k qadamdan keyin [va $(k+1)$ qadamgacha] S tizim S_i ($i=1,2,\dots, n$) holatda bo'lish ehtimolini belgilaymiz. $P_i(k)$ ehtimolni Markov zanjiri *holatlari ehtimoli* deyiladi. Ixtiyoriy k uchun $\sum_{i=1}^n P_i(k) = 1$.

Jarayon boshida holatlar ehtimollari $P_1(0), P_2(0), \dots, P_i(0), \dots, P_n(0)$ taqsimlanadi. Bu esa Markov jarayonlari ehtimollarini *boshlang'ich taqsimlash* deyiladi. Xususan, agar S tizim boshlang'ich holati $s(0)$ aniq ma'lum bo'lsa, masalan $s(0) = S_i$, u holda boshlang'ich ehtimol $P_i(0) = 1$, qolgan barchasi nolga teng bo'ladi.

k -qadamda S_i holatdan S_j holatga o'tish ehtimoli $(k-1)$ qadamdan keyin S_i holatda bo'lganligi va k - qadamda S_j holatga o'tishining shartli ehtimolidir. Bunday ehtimollar *o'tish ehtimollari* deb nomlanadi.

Markov zanjiri *bir jinsli* deyiladi, agar o'tish ehtimollari qadam raqamiga bog'liq bo'lmasdan, faqat qaysi holatdan qaysiga holatga o'tishiga bog'liq bo'lsa:

$$P\{S(k) = S_j | S(k-1) = S_i\} = P_{ij}$$

P_{ij} bir jinsli Markov zanjiri o'tish ehtimollari $n \times n$ o'lchovli kvadrat matritsani tashkil qiladi:

$$\|P_{ij}\| = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nj} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix}. \quad (5.1)$$

Agar $\sum_{j=1}^n P_{ij}(k) = 1$ ($i = 1, \dots, n$) bo'lsa, u holda P_{ij} matritsa *stoxastik* deyiladi.

P_{ij} - ehtimol tizimning S_j holati keying qadamda ham qolishi ehtimolidir.

Agar bir jinsli Markov zanjiri uchun ehtimollarning boshlang'ich taqsimoti va o'tish ehtimollari matritsasi berilgan bo'lsa, u holda tizim holatlari ehtimollari $P_i(k)$ ($i = 1, \dots, n$) recurrent

$$P_i(k) = \sum_{j=1}^n P_j(k-1)P_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

formula orqali aniqlanadi.

Bir jinsli Markov zanjiri uchun matritsa va formulada o'tish ehtimollari k - qadam raqamiga bog'liq bo'ladi.

Bir jinsli Markov zanjiri uchun barcha holatlar o'rinli va chekli, y'ani $P_i = \sum_{j=1}^n P_j P_{ji}$ va $\sum_{j=1}^n P_j = 1$ bo'lsa, u holda tenglamalar tizimi orqali aniqlanadigan $\lim_{u \rightarrow \infty} P_i(u) = P_i$ mavjud. Matritsa ixtiyoriy satridagi o'tish ehtimollari yig'indisi birga teng. Formula bo'yicha hisoblashlarda barcha S_j holatlarni hisobga olish shart emas, balki faqat o'tish ehtimollari noldan farqli bo'lganlarini olish kerak.

Tasodifiy jarayonlar S_i holatning va t argumentning ko'rinishiga qarab sinflashtiriladi. Shundan kelib chiqib, tasodifiy jarayonlar uzlukli holatli yoki vaqtli, uzluksiz holatli yoki vaqtli bo'lishi mumkin. Masalan, ixtiyoriy tanlab olingan mahsulot uzlukli holatli (S_1 -yaroqli, S_2 -yaroqsiz) va uzlukli vaqtli (t_1, t_1 -tekshirish vaqtlari) tasodifiy jarayonga qarashli bo'ladi. Shuningdek, ixtiyoriy mashinaning rad etish holatini uzlukli holatli va uzluksiz vaqtli tasodifiy jarayon sifatida qarash mumkin. Termometrni qandaydir aniq vaqtdan keyin tekshirishlarni uzluksiz holatli va uzlukli vaqtli tasodifiy jarayon sifatida qarash mumkin.

Yuqorida sinflashtirishga oid ko'rsatilgan misollaridan tashqari tasodifiy jarayonlarning yana bir muhim xususiyati mavjud. Bu xususiyat tasodifiy jarayonlar o'rtasidagi ehtimolli aloqalarni tavsiflaydi.

Agarda tasodifiy jarayonda tizimning har bir navbatdagi holatga o'tish ehtimolligi faqat oldingi holatga $P_{i(i+1)} = f(S_i)$ bog'liq bo'lsa, u holda bunday jarayon *Markovning oddiy zanjiri* deb ataladi.

Agarda tasodifiy jarayonda tizimning har bir navbatdagi holatga o'tish ehtimolligi faqat oldingi holatga bog'liq bo'lmasdan, balkim undan oldingi holatlarga ham $P_{i(i+1)} = f(S_i, S_{i-1}, S_{i-2}, \dots)$ bog'liq bo'lsa, u holda bunday jarayon *Markovning mutakkab zanjiri* deb ataladi.

Uzlukli holatli va vaqtli tasodifiy jarayonlar tasodifiy ketma-ketlik deyiladi.

Agar tasodifiy ketma-ketlik Markovli xususiyatga ega bo'lsa, u holda u Markov zanjiri deyiladi. Boshqa tomondan, agar tasodifiy jarayonda holat uzlukli, vaqt uzluksiz va natijaviylik xususiyati saqlansa, u holda bunday tasodifiy jarayon uzluksiz vaqtli Markov jarayoni deb ataladi.

Markov zanjiri berilgan deb hisoblanadi, agarda ikkita shart berilgan bo'lsa:

1. O'tish ehtimollarining barchasini ifodalovchi (5.1) o'tish matritsa mavjud bo'lsa. Matritsaning elementlari jarayonning bir qadamida i -holatdan j -holatga o'tish ehtimolligini bildiradi.

2. Tizimning boshlang'ich holatini tavsiflovchi boshlang'ich ehtimollar vektori

$$P(0) = \langle P_{01}, P_{02}, \dots, P_{0n} \rangle. \quad (5.2)$$

(5.2) ko'rinishdagi matritsa *stoxastikli* deyiladi.

Markov zanjirlarini matritsa ko'rinishdan tashqari yo'naltirilgan graf ko'rinishda ham tasvirlash mumkin. Bunda grafning tugunlari S_i holatni, yoylari esa-o'tish ehtimollarini bildiradi.

Markov zanjirlari tizimining holati tizimlar munosabatini hisobga olib quyidagicha sinflashtiriladi:

- a) muhim holat-bunda S_i holatdan S_j holatga va S_j holatdan S_i holatga o'tishlar mavjud bo'lsa;

- б) muhim bo'lmagan holat - bunda S_i holatdan S_j holatga o'tishlar mavjud va S_j holatdan S_i holatga o'tishlar mavjud bo'lmasa.

Aytaylik qandaydir S tizim (texnik qurilma, texnik qurilmalar to'plami, texnologik tizim - stanok, maydon, sex, tashkilot, ishlab chiqarish korxonasi va b.q) berilgan bo'lsin. S tizimda tasodifiy jarayon

ketadi, agarda u oldindan noma'lum tasodifiy holda o'zining holatini vaqt o'tishi bilan o'zgartirsa (bir holatdan boshqa holatga o'tadi).

Misollar: 1. S tizim - texnologik tizim (stanoklar uchastkasi). Stanoklar vaqti-vaqti bilan ishdan chiqadi va ta'mirlanadi. Bu tizimda kechayotgan jarayon tasodifiy hisoblanadi.

2. S tizim - samolyot. Samolyot aniq marshrut bilan belgilangan balandlikda uchadi. Ta'sir etuvchi faktorlar: ob-havo sharoiti, shaxsiy tarkib hatolari va h.k., natija - «chayqalish», uchish jadvalining buzilishi va h.k.

Tasodifiy jarayon Markov jarayoni deyiladi, agarda u quyidagi xossalarga ega bo'lsa: ixtiyoriy t_0 vaqt momenti uchun tizimning keying ixtiyoriy holatlari ehtimoli ($t > t_0$) uning joriy holatiga bog'liq ($t = t_0$) bo'lib, tizimning bunday holatga qanday kelganligiga bog'liq bo'lmasa.

Aytaylik joriy t_0 vaqt momentida tizim S_0 holatda bo'lsin. Biz joriy t_0 va $t < t_0$ (jarayonning oldingi holatlari) vaqt momentlarida tizimning S_0 holatining xarakteristikalarini bilamiz. Biz bu jarayon kelajakda, y'ni $t > t_0$ bo'lganda qanday kechishini oldindan ayta olamizmi? Buni aniqlikda aytolmaymiz, lekin kelajakdagi jarayonni qandaydir ehtimollik bilan aniqlash mumkin. Masalan, qandaydir τ vaqtdan keyin S tizim S_1 holatga o'tadi yoki S_0 holatda qoladi va h.k.

Misol. S tizim - havo jangida qatnashuvchi samolyotlar guruhi bo'lsin. Aytaylik x -«qizil» samoyotlar soni, y -«ko'k» samoyotlar soni. t_0 vaqtda saqlangan (urib tushirilmagan) samolyotlar soni mos ravishda - x_0, y_0 . Bizni qiziqtirayotgan masala-bu $(t_0 + \tau)$ vaqtda yutuq - «qizil» samoyotlar tarafida bo'lishi. Bu ehtimol t_0 vaqt momentigacha urib tushirilgan samolyotlarning qachon va qanday ketma-ketlikda yo'q qilinganligi emas, balkim t_0 vaqtda tizim qanday holatda bo'lganligidan bog'liq bo'ladi.

Jarayon *uzlukli* holatli jarayon deyiladi, agarda uning mumkin bo'lgan $S_1, S_2, S_3, \dots$ holatlarini oldindan aniqlash mumkin bo'lsa va tizimning bir holatdan boshqa holatga o'tishida amaliy jihatdan juda tez «sakrash» ro'y bersa.

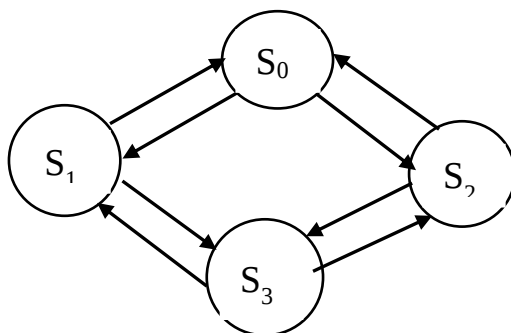
Jarayon *uzluksiz* holatli jarayon deyiladi, agarda uning mumkin bo'lgan $S_1, S_2, S_3, \dots$ holatlarida bir holatdan boshqa holatga o'tish oldindan qayd qilinmagan, aniqlanmagan, tasodifiy va ixtiyoriy holatda sodir etiladigan bo'lsa.

Misol. S texnologik tizim ikkita stanokdan iborat bo'lib, ulardan ixtiyoriy bittasi tasodifiy vaqt momentida buzilishi mumkin. Bu holda

tizimda quyidagi holatlar bo'lishi mumkin:

S_0 - ikki stanok ham soz; S_1 - birinchi stanok ta'mirlanadi, ikkinchisi soz; S_2 - ikkinchi stanok ta'mirlanadi, birinchisi soz; S_3 - ikki stanok ham ta'mirlanadi.

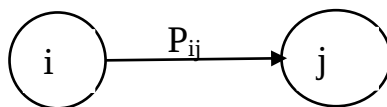
Agar S tizimda tasodifiy momentda u yoki bu stanok buzilsa yoki stanokni ta'mirlash tugatilsa, u holda bu tizimda bir holatdan boshqa holatga o'tishlar juda tez amalga oshiriladi. Bu jarayonni o'tish grafi yordamida tasvirlaymiz. Grafning tugunlariga tizimning holatlarini va yoylariga esa-tizimning bir holatdan boshqa holatga o'tishlarini mos qo'yamiz. U holda misolda qaralgan tasodifiy jarayonlar graf ko'rinishida 5.6-rasmdagidek tasvirlanadi.



5.6-rasm. Tizimning holatlar grafi.

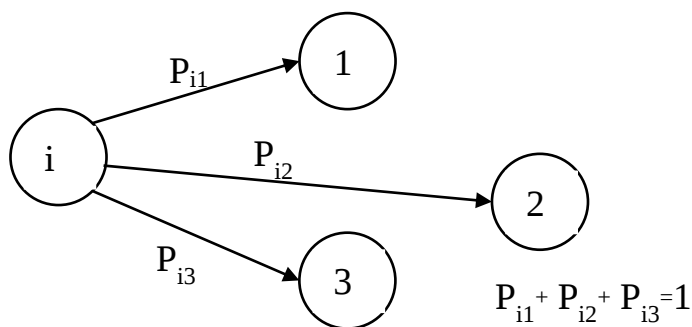
5.6-rasmda S_0 holatdan S_3 holatga o'tish ko'rsatilmagan, sababi stanoklar bir-birida bog'liq bo'lmagan holda buzilish mumkin.

Uzlukli vaqtli Markov jarayoni. Bu holda i - va j - holatlarning bir-biri bilan bo'lganishlarini (i - holatdan j - holatga o'tish) ifodalovchi Markov jarayoni modeli 5.7-rasmda ko'rsatilgan.



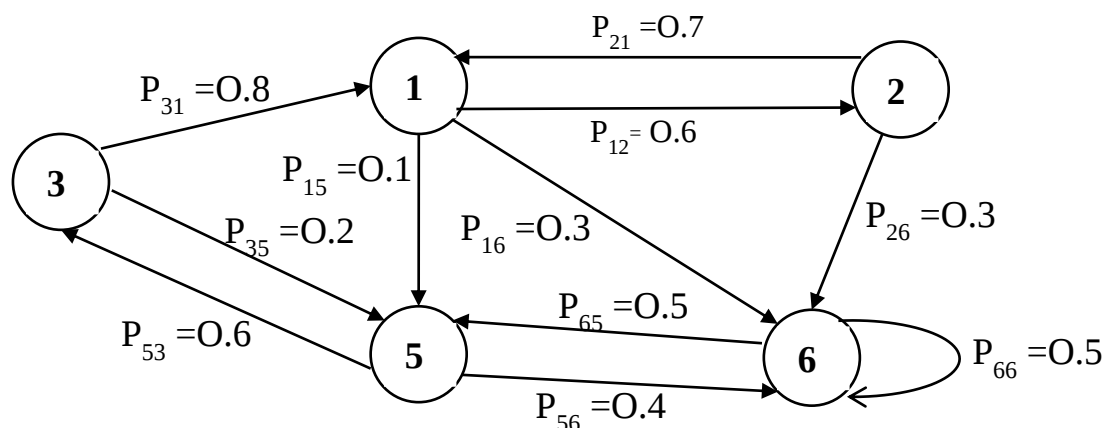
5.7-rasm.

Har bir o'tish P_{ij} o'tish ehtimoli bilan xarakterlanadi. Bir holatdan boshqa holatlarga o'tish ehtimollari yig'indisi 1 ga teng bo'lishi kerak (5.8-rasm).



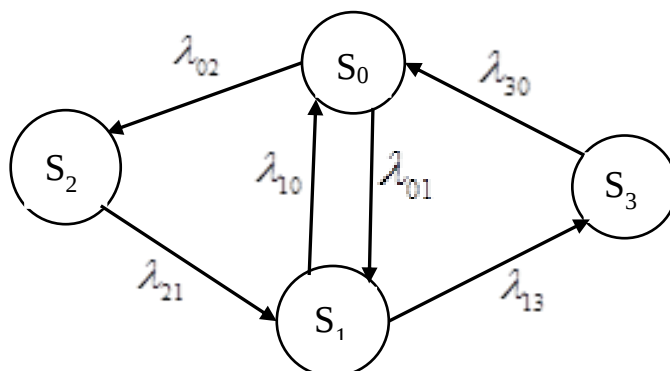
5.8-rasm. Bir holatdan boshqa holatlarga o'tishning Markovli grafi.

Har bir holatdan boshqa holatlarga o'tish ehtimollari yig'indisi 1 ga teng bo'lishi kerak (5.9-rasm).



5.9-rasm. Har bir holatdan boshqa holatlarga o'tishning Markovli grafi.

Uzluksiz vaqtli Markov tasodifiy jarayonlari. Uzluksiz vaqtli Markov jarayoni modelida holatlar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik aloqalarini (i -holatdan j -holatga o'tishlar) graf yordamida tasvirlash mumkin (5.10-rasm).



5.10-rasm. Uzluksiz vaqtli Markov jarayoni grafi.

5.10-rasmda har bir o'tish λ_{ij} o'tish ehtimollari zichligi bilan xarakterlanadi. Ta'rifga asosan:

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}$$

Bu holda zichlik vaqt bo'yicha ehtimolli taqsimot kabi tushuniladi. Tasodifiy vaqt momentlarida i -holatdan j -holatga o'tishda λ_{ij} o'tishning intensivligini aniqlaydi. Jarayon uzluksiz, ya'ni vaqt bo'yicha taqsimlanganda intensivlik o'tishlarga (bu yerda intensivlik o'tishlar vaqt bo'yicha ehtimolli taqsimot tushunchasi bilan mos tushadi) o'tiladi.

Oqimlar yordamida hodisalarning yuzaga kelish λ_{ij} intensivligi ma'lum bo'lganda, oqimda ikki hodisa o'rtasidagi tasodifi intervalni hosil qilish mumkin:

$$\tau_{ij} = -\frac{1}{\lambda_{ij}} \ln(R),$$

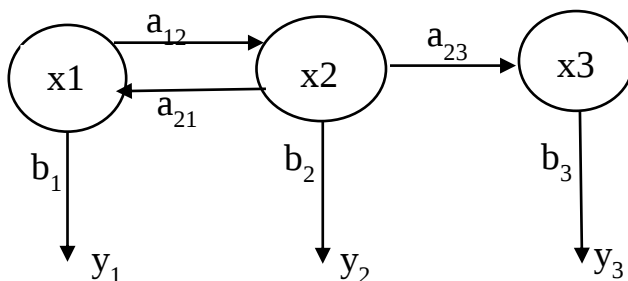
bu yerda τ_{ij} -i- va j-holatlarda tizimlarni topish o'rtasidagi vaqtli interval.

Tizim $\lambda_{ij}, \lambda_{i(j+1)}, \lambda_{i(j+2)}, \dots$, o'tishlar bilan bog'liq holda ixtiyoriy i-holatdan j, j+1, j+2, ..., holatlarning biriga o'tishi mumkin. Bu holda tizim j-holatga τ_{ij} orqali, (j+2) -holatga $\tau_{i(j+2)}$ orqali o'tadi va h.k. Tizim i-holatdan keltirilgan barcha holatlar orasidan bittasiga otishni tanlaydi, qachonki u holat qolganlarga nisbatan oldin kelsa. Shuning uchun $\tau_{ij}, \tau_{i(j+1)}, \tau_{i(j+2)}, \dots$, ketma-ketlikdan minimalini tanlash kerak va qaysi holatda o'tish sodir bo'lishini ko'rsatuvchi j-indeksni aniqlash kerak bo'ladi.

2.3. Yashirin Markov modeli

Bu model noma'lum parametrli Markov jarayonlariga o'xshash bo'lgan jarayonlarning ishlashini taqlid (imitatsiya) qiluvchi va kuzatuv asosida noma'lum parametrlarni o'ylab topish masalasini qo'yuvchi statistik model hisoblanadi. Bundan hosil qilingan parametrlarni tahlil qilishda, masalan, timsollarni aniqlashda foydalanilish mumkin.

Oddiy Markov modelida holatlar kuzatuvchiga ko'rinadi, shuning uchun ham ehtimolli o'tishlar yakkayu-yagona parametr hisoblanadi. Yashirin Markov modelida biz joriy holatga ta'sir ko'rsatadigan o'zgaruvchilarnigina kuzatishimiz mumkin (5.11-rasm).

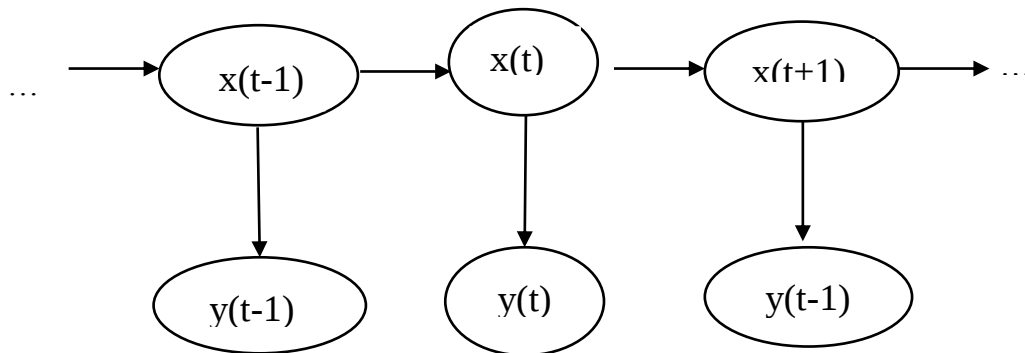


5.11-rasm. Yashirin Markov modelida o'tishlar diagrammasi.

Bu yerda x-yashirin holat, y-kuzatilayotgan natijalar, a-ehtimolli o'tishlar, b-natija ehtimolligi.

Mumkin bo'lgan barcha chiqish qiymatlari orasida har bir holat ehtimolli taqsimotga ega bo'ladi.

Yashirin Markov modelining umumiy strukturasi diagramma ko'rinishda 5.12-rasmda keltirilgan. Bunda ovallar (yassi chiziqlar)-tasodifiy qiymatli o'zgaruvchilarni tasvirlaydi, $x(t)$ tasodifiy o'zgaruvchi- t vaqt momentida yashirin o'zgaruvchi qiymatini va $y(t)$ tasodifiy o'zgaruvchi- t vaqt momentida kuzatilayotgan o'zgaruvchi qiymatini ifodalaydi. Strelkalar diagrammadagi shartli bog'lilqlikni bildiradi.



5.12-rasm. Yashirin Markov modelining strukturasi.

Model strukturasi ko'rinib turibdiki, t vaqt momentidagi $x(t)$ o'zgaruvchining qiymati faqat $(t-1)$ vaqt momentidagi $x(t-1)$ o'zgaruvchining qiymatidan bog'liq bo'ladi. Bu Markov xossasi deb ataladi. Shuningdek, kuzatilayotgan $y(t)$ o'zgaruvchining qiymati faqat yashirin o'zgaruvchi $x(t)$ qiymatidan bog'liq bo'ladi.

Misol. Yashirin Markov modeliga misol keltiramiz. Zarrux Baxmalda va Davron Samarqandda yashaydi. Ular har kuni kechqurun telefon orqali kunduz kuni qanday ish bilan shug'ullanganligi to'g'risida gaplashishadi. Davron har kuni uchta ishni amalga oshirishi mumkin: istirohat bog'ida sayr qilish, bozorga borish yoki uyni yig'ishtirish. Uning ushbu ishlardan qaysi birini tanlashi uchun qaror qabul qilishi faqat ob-havoga asoslanadi. Zarrux Samarqandda ob-havoning holati to'grisidagi ma'lumotni bilmaydi, lekin Davronning qabul qilgan qarorlariga asoslanib, u Samarqandda ob-havo holati qanday bo'lganligini oldindan sezishga harakat qiladi.

Ob-havoni holati Markov zanjiri ko'rinishida tasvirlanishi mumkin bo'lib, u ikki holatda: quyoshli yoki yomg'irli bo'ladi. Zarrux Samarqanddagi ob-havo holatini ko'ra olmaydi, shuning uchun ushbu holat Zarruxga nisbatan yashiringan holat bo'ladi. Har kuni Davron uchta mumkin bo'lgan qarorlardan bittasini qabul qiladi: sayr, savdo yoki yig'ishtirish. Zarrux Davronning qabul qilgan qarorlarini bilishi mumkin, shuning uchun bu jarayon kuzatiladigan jarayon bo'ladi. Zarrux Davronning qabul qilgan qarorlarini kuzatish orqali Samarqandda ob-

havoning holati qanday bo'lganligini oldindan sezishi mumkin. Bu yerda biz yashirin Markov modelini hosil qilamiz.

Yashirin Markov modellari asosan nutqni, yozuvni, harakatni tanishda, kriptotahlilda, mashinali tarjimada va bioinformatikada qo'llaniladi.

3-§. Monte-Karlo usuli

3.1. Monte-Karlo usuli yordamida statistik modellshtirish

Monte-Karlo usuli-ko'p sonli stoxastik (tasodifiy) jarayonlarni amalga oshirishga asoslangan sonli usullar guruhining umumiy nomidir. U shunday tashkillashtiriladiki, uning ehtimollik harakteristikalari, yechiladigan masalaning analog kattaliklari bilan mos keladi. Fizika, matematika, iqtisodiyot, optimallashtirish, boshqarish nazariyasi va boshqa sohalarda masalalarni hal qilish uchun ishlatiladi.

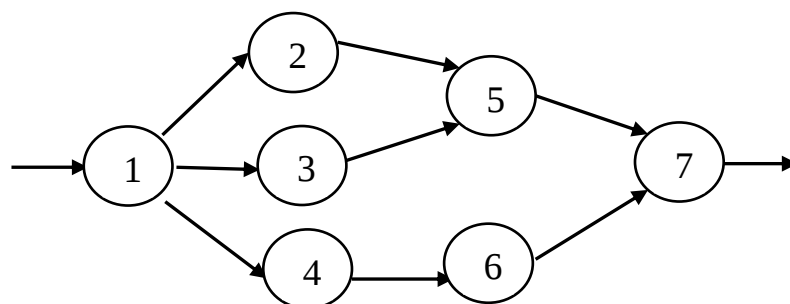
Bu usul yordamida statistik modellshtirish quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Har bir sinovda tasodifiy qiymatlarni EHM da taqlid qiluvchi, korrelyatsiyali va ehtimolning taqsimot qonuni bilan berilgan psedotasodifiy ketma-ketliklarni EHMda modellashtirish.

2. Hosil qilingan sonli ketma-ketliklarni imitatsiyali matematik modellarda foydalanish.

3. Modellashtirish natijalarini statistik qayta ishlash.

Monte-Karlo usulining ma'nosini oddiy misolda ko'rsatamiz. Aytaulik tizimning ishonchliligini baholash talab etilsin (5.13-rasm).



5.13-rasm.

Tizim o'zining funksiyasini bajaradi, agarda $\langle 1,2,5,7 \rangle$; $\langle 1,3,5,7 \rangle$; $\langle 1,4,6,7 \rangle$ bloklar zanjiri ishlasa. Qaysidir bloklar zanjiri to'xtab qolishi ham mumkin. Har bir blok to'xtamasdan ishlaydigan τ_i vaqt bilan xarakterlanadi. Aytaylik $P_i(\tau_i)$ ehtimolning taqsimot zichliklari berilgan bo'lin. Butun tizimning ishonchliligi qanday bo'ladi?

Tasodifiy miqdorni qaraymiz:

$$\gamma = \min \{ \tau_1, \max [\min (\tau_4, \tau_6), \min [\max (\tau_2, \tau_3),]], \tau_7 \}, \quad (5.3)$$

bu yerda γ —tizimning to'xtamasdan ishlash vaqti. Bitta tajribada $P_i(\tau_i)$ ga mos holda barcha τ_i lar qiymatlari qatnashadi. (5.3) ifodada hosil qilingan τ_i lar bo'yicha γ ni hisoblaymiz. Bitta tajriba bitta γ ning qiymatini (bitta tanlangan qiymat) beradi. M ta tajriba o'tkazib statistik tanlovni hosil qilamiz. Tizimning ishonchlilik bahosi sifatida P ehtimol bilan γ tizimning to'xtamasdan ishlash vaqtlarining o'rta arifmetigini olamiz. Zaruriyat bo'lganda γ tasodifiy miqdor qiymatini ehtimolning taqsimot qonuniga mos gistogrammalar ko'rinishida qurish mumkin.

Demak, haqiqiy tizimlar sinovi matematik modellar sinoviga almashtiridi. Har bir sinov hisoblashlar bilan amalga oshiriladi. Shuning uchun imitatsionli modellashtirishni EHMda matematik modeli sonli tajriba deb atashadi (model tadqiqot obyekti sifatida qatnashadi).

Mote-Karlo usulidan ommaviy xizmat ko'rsatish, o'yinlar nazariyasi va matematik iqtisodiyot, xalaqitlar bo'lganda ma'lumotlarni uzatish va boshqa masalalarni yechishda foydalanish mumkin.

3.1.1. Statistik modellashtirishning umumiy sxemasi

Faraz qilaylik, bizdan qandaydir noma'lum m miqdorni qiymatni hisoblash talab qilinsin va buni biz shunday ξ tasodifiy qiymat sifatida qarab, uning matematik kutilishi $M\xi = m$ orqali amalga oshiramiz. Bu holda ushbu tasodifiy qiymatning dispersiyasi $D\xi = b$. Qaqalayotgan ξ tasodifiy miqdor taqsimotiga taqsimotlari mos tushadigan bir-biridan bog'liq bo'lmagan N ta tasodifiy $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ miqdorlarni qaraymiz.

Ehtimollar nazariyasining markaziy limit teoremasiga asosan yig'indilar taqsimoti

$$PN = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_N$$

o'rtacha $\mu = Nm$ va $\sigma^2 = Nb^2$ dispersiyaga taxminan normal bo'ladi. U holda m va σ lar qanday bo'lishidan qat'iy nazar "Uchta sigma qoidasi" ga ko'ra

$$P\{\mu - 3\sigma < P_N < \mu + 3\sigma\} = 0,997,$$

y'ni

$$P\left\{m - \frac{3b}{\sqrt{N}} < \frac{P_N}{N} < m + \frac{3b}{\sqrt{N}}\right\} \approx 0,997,$$

Oxirgi munosabatni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$P\left\{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i - m < \frac{3b}{\sqrt{N}}\right\} \approx 0,997.$$

Hosil qilingan formula Mote-Karlo usuli bo'yicha hisobni va ushbu usulning yaqinlashish bahosini beradi.

Mote-Karlo usulining mohiyati qandaydir qaror qabul qilish momentida statistikalar asosida natijalarni aniqlashdan iborat. Shuning uchun Mote-Karlo usulidan foydalanib olinadigan natijalarning ishonchliligi tasodifiy sonlarning generatsiyasini sifati bilan aniqlanadi.

EHMda tasodifiy sonlarni olish uchun ba'zi amallarni bir necha bor takrolanishiga asoslangan generatsiy uslubiyotidan foydalaniladi. Shunday olingan ketma-ketlik ko'proq psevdotasodifiy sonlar nomiga mos keladi, chunki ketma-ketlikni generatsiya qilish davriy hisoblanadi va qandaydir momentdan boshlab sonlar takrorlana boshlaydi.

Masalan, C^{++} da sonlarni generatsiya qilishda ko'proq quyidagi algoritmdan foydalanadi:

1. Dasturning boshida X butun o'zgaruvchiga qandaydir X_0 ning qiymati ta'minlanadi.

2. Keyin tasodifiy sonlar $X = (aX) \bmod m$ qoida bo'yicha generatsiya qilinadi. Masalan, $a = 4871$ va $m = 2^{31} - 1$ deb qabul qilish mumkin.

3.1.2. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini modellashtirish

N ta xizmat ko'rsatiluvchi liniya (kanal yoki punkt) lardan iborat ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini qaraymiz. Tizimga tasodifiy vaqt momentlarida byurtmalar kelib tushadi. Har bir byurtma №1-liniyaga kelib tushadi. Agar T_k byurtmaning kelib tushish vaqt momentida ushbu liniya bo'sh bo'lsa, u holda byurtmaga t_b vaqtda (liniyaning band vaqti) xizmat

ko'rsatiladi. Agar liniya band bo'lsa, u holda byurtma tezda №2-liniyaga uzatiladi va h.k. Agar joriy vaqtda barcha liniyalar band bo'lsa, u holda tizim rad javobini beradi. Ushbu tizimning xarakteristikalarini aniqlash masalasi tabiiy hisoblanadi va ular ushbu tizimning samaradorligini baholashga imkoniyat yaratadi, y'ani xizmat ko'rsatishda kutishning o'rtacha vaqti, tizimning to'xtab turish vaqtli ulushi, navbatning o'rtacha uzunligi va h.k. Bunday holatli tizimlar uchun hisobni amalga oshirishning yagona usuli Monte-Karlo usuli hisoblanadi. Bir birlik vaqtda xizmat ko'rsatish tizimiga kelib tushadigan byurtmalarning o'rtacha soni byurtmalar kelib tushishining *intensivligi* deb ataladi va

$$\lambda = 1/T$$

aniqlanadi. Bu yerda T - navbatdagi tushadigan byurtmalar orasidagi intervallarning o'rtacha qiymati. Ushbu sohadagi ko'plab tadqiqotlar ko'rsatdiki, juda ko'pchilik haqiqiy jarayonlar uchun byurtmalar oqimi Puasson taqsimoti bilan yetarlicha yaxshi tavsiflanadi. Bu holda ehtimolning taqsimot fuksiyasi

$$P = 1 - \exp(-\lambda t), \quad 0 \leq t < \infty$$

bo'ladi. Uning taqsimot zichligi funksiyasi

$$P(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$$

aniqlanadi.

Tizimga navbatdagi byurtmaning kelish vaqti va xizmat ko'rsatish vaqtini hisoblash uchun

$$\int_0^{\tau} P(t) dt = \gamma \quad (5.4)$$

integral tenglamani yechish talab etiladi. Bu yerda τ - izlanayotgan vaqt momenti, $P(t)$ - ehtimolning zichlik funksiyasi, γ - $[0, 1]$ kesmada tekis taqsimlangan tasodifiy miqdor. Agar taqsimot Puassonli bo'lsa, u holda (5.4) integral analitik hisoblanadi va τ miqdor

$$\tau = -(1/\lambda) \ln(\gamma) \quad (5.5)$$

aniqlanadi, bunda tasodifiy miqdor γ tekis taqsimlangan bo'ladi.

Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi algoritmi. Bu algoritm quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Liniyalarning bo'sh qolgan momentlarini EHMning yacheykasiga yozish uchun har bir liniya EHMning yacheykasiga mos qo'yiladi. Aytaylik, dastlabki hisobning $t = T_1$ vaqt momentida barcha liniyalar bo'sh bo'lsin. Oxirgi hisob vaqti sifatida $T = T_{oxir}$ ni qabul qilamiz.

2. Birinchi byurtma №1-liniya orqali keladi va shu vaqtda xizmat ko'rsatiladi, chunki liniya bo'sh bo'ladi. Ushbu liniya τ_1 vaqt davomida

band bo'ladi. Shuning uchun t ning qiymatini yangi $t_1 \leftarrow T_1 + \tau_1$ ga almashtiramiz va bajarilgan byurtmalar sanagichiga 1 ni qo'shamiz. Undan keyin navbatdagi byurtmani qarashga o'tamiz. Buning uchun $[0, 1]$ kesmada tekis taqsimlangan γ ning qiymatini generatsiy qilamiz va (5.2) formula yordamida navbatdagi $\tau = \tau_2$ qiymatni hisoblaymiz.

3. Ikkinchi byurtmaning kelish vaqt momenti $t_2 = T_1 + \tau_2$ ni hisoblaymiz.

4. $t_2 = T_1 + \tau_2$ vaqt momentida №1-liniyaning bo'sh ekanligini tekshiramiz, ya'ni $t_1 \leq t_2$ shartning bajarilganligini tekshiramiz.

5. Agar $t_1 \leq t_2$ shart bajarilsa, u holda №1-liniya bo'sh bo'ladi va u ikkinchi byurtmaga xizmat ko'rsatishga kirishadi. t_1 ni $(t_2 + t_3)$ ga almashtiramiz va bajarilgan byurtmalar sanagichiga 1 ni qo'shamiz. Undan keyin navbatdagi byurtmani qarashga o'tamiz.

6. Agar №1-liniya band bo'lsa, u holda №2-liniyaganing bandligini tekshiramiz va h.k. Agar qandaydir vaqt momentida barcha liniyalar band bo'lsa, u holda bandliklar sanagichiga 1 qo'shamiz. Har bir t_k hisoblashdan keyin tajribaning tugash sharti $t_k > T_{oxir}$ ni tekshiramiz. Agar ushbu shart bajarilsa, u holda tajriba tugallangan hisoblanadi. Shunday tajriba N marta takrorlanadi va barcha tajribalar natijalarning o'rtachasi olinadi.

Xuddu shunday tarzda murakkabroq masalalarni ham qarash mumkin. Masalan, t_3 miqdor tasodifiy bo'lishi mumkin yoki har xil liniyalar uchun har xil bo'lishi mumkin. Bu esa qurilmalar quvvatini va/yoki xizmat ko'rsatuvchi xodimning malakasini farqida o'zining aksini ko'rsatadi.

Bunga o'xshash hisoblar liniyalarni ko'paytirish to'g'risidagi savollarga, xizmat ko'rsatuvchi xodimning malakasini oshirish va h.k larni masalalarni yechishda foydali bo'lishi mumkin.

3.2. Monte-Karlo usuli yordamida imitatsion modellashtirish

Imitatsion modellashtirishning maqsadi tekshirilayotgan tizimning elementlari orasidagi muhim o'zaro bog'lanishlarni tekshirish natijalari asosida uni qayta shakllantirishdan iborat. Imitatsion modellarning tadqiqoti natijalari, odatda, imitatsiya qilinayotgan tizimning funksional xarakteristikalarini qiymatlarining baholanishini anglatadi. Masalan, har qanday ommaviy xizmat ko'rsatish tizimi faoliyatini imitatsion modellashtirishda mijozga xizmat ko'rsatishning o'rtacha davomiyligi,

navbatning o'rtacha uzunligi, xizmat ko'rsatuvchi tizimning bo'sh turish vaqti va shu kabi muhim ko'rsatkichlar amaliy qiziqish uyg'otadi.

Imitatsion modellashtirishga xuddi statistik tajriba sifatida qarash kerak bo'ladi. An'anaviy matematik modellardan farqli ravishda, imitatsion modellar shunday kuzatishlardan iboratki, bunda tajribadan kelib chiqadigan xatolar albatta mavjud bo'ladi.

Imitatsion modellashtirish, tajriba sifatida oddiy laboratoriya tajribasidan shunisi bilan farqlanadiki, uni to'liq EHMda amalga oshirish mumkin. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, murakkab tizimlarni chuqurroq o'rganishda imitatsion modellashtirish ("klassik" ma'nodagi matematik modellashtirishdan farqli holda) ko'proq imkoniyatga ega. Biroq bu modellarni yaratish ko'p vaqt va resurslarni talab qiladi. Ayniqsa, bu modellashtirilayotgan tizimni optimallashtirish masalalarida namoyon bo'ladi.

Imitatsion modellashtirishdan ikki xil turdagi masalalarni yechishda foydalaniladi.

1. Matematika, fizika, ximiya kabi fanlar sohalaridagi nazariy masalalarda, shu jumladan quyidagilarda:

a) jismlarning hajmini hisoblashda; b) teskari matrisani hisoblashda; v) differensial tenglamalarni yechishda; g) chiziqli tenglamalar tizimlarini yechishda; d) zarralar harakati trayektoriyalarini hosil qilishda.

2. Inson amaliy faoliyatida vujudga keladigan tashkiliy boshqaruv masalalarida, jumladan:

a) ishlab chiqarish – texnologik jarayonlarning imitatsion modellashtirish masalalari (masalan, zahiralarini boshqarish sohasida, ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini loyihalashda va shu kabilar);

b) iqtisodiy harakterdagi tizimlarni imitatsion modellashtirish masalalari(rejalashtirish jarayonida, iqtisodiy prognoz);

v) sotsial va sotsial–psihologik masalalar (masalan, aholining migratsiyasi masalasi, guruhlardagi o'zgarishlar muammolari);

g) biotibbiy tizimlarni imitatsion modellashtirish masalalari (masalan, qon aylanishi tizimi, miya faoliyati).

Yuqorida sanab o'tilgan masalalarni yechishda zamonaviy imitatsion modellashtirish asosi bo'lgan *Monte – Karlo usulidan* foydalanish mumkin.

Monte – Karlo usulining asosiy g'oyasi izlanayotgan baholarni olishda tanlanmalardan foydalanishdan iborat. Tanlanmalarni olish jarayoni shuni talab qiladiki, bunda yechilayotgan masala shu

tanlanmalarni amalga oshirishga imkon beruvchi ehtimollar taqsimoti asosida ifodalanishi lozim.

Imitatsion modellashtirish, Monte-Karlo usuli kabi tizim ishi natijalarini baholash tanlanmalaridan foydalanishga asoslangan. Monte-Karlo usuli bilan bog'liq holda paydo bo'lgan ko'pgina g'oyalar imitatsion modellashtirishda bevosita qo'llaniladi.

Murakkab tizimlarni imitatsion modellashtirish yutuqlari keyingi yillarda hisoblash mashinalarini takomillashtirish sohasidagi erishilgan yutuqlar bilan bevosita bog'liq. Zamonaviy tez ishlovchi EHMlarsiz omilkorona imitatsion yondoshuvni tasavvur qilish qiyin. Shuni ta'kidlash lozimki, imitatsion modellashtirishda hisoblash qiyin bo'lmasada, ularni bajarish ko'p vaqt talab qiladi.

3.2.1. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini imitatsion modellashtirish

Imitatsion modellashtirish usulining mohiyati shundan iboratki, tizimni va tashqi muhit ta'sirlarini mantiq-analitik (matematik) modelini yaratishdan iborat bo'lib, tizimni ishlash jarayonini imitatsiya qilishdan iboratdir, ya'ni tashqi ta'sirlar ostidagi tizim holatini vaqt bo'yicha o'zgarishini aniqlashdan iborat. Natijada chiqish parametrlarini bir qancha qiymatlarini aniqlash bilan tizimni asosiy ehtimollik harakteristikalarini aniqlashdan iborat. Bu ta'rif asosan stoxastik tizimlar uchun mos keladi. Deterministik tizimlar uchun chiqish harakteristikalarini qiymatlarini to'plamini olish shart emas. Strukturali prinsipli boshqarishdagi tizim modeli elementlarning majmuasi modeli va ularning funksional o'zaro bog'lanishi ko'rinishida ifodalanadi. Element modeli (agregat, xizmat ko'rsatish pribori) bu-birinchi galda qurilmani kirish ta'sirlariga (talablarga) bo'lgan harakat qoidalari (algoritm(lari)) majmuasi va elementlar holatlarini o'zgarish qoidasidir. Hisoblash tizimlarini tizim sathida modellashtirish jarayonida element u yoki bu detallashtirish sathida funksional qurilmani aks ettiradi.

Imitatsion modellashtirish - bu tadqiq etish usuli bo'lib, tahlil etilayotgan dinamik tizim imitator bilan almashtiriladi va u bilan o'rganilayotgan tizim haqida axborot olish uchun tajribalar o'tkaziladi.

Stoxastik tizimlarni imitatsion modellashtirish usulining mohiyati tasodifiy miqdorlarni hisoblash usuli bilan tadqiq etiladi. Bu usul statik sinash usuli yoki *Monte-Karlo usuli* deyiladi.

Monte-Karlo usulining mohiyati quyidagicha: tasodifiy miqdorni u taqsimlanish funksiyasini aniqlash talab etilsin. Faraz qilaylik, qidirilayotgan u

$$y = y(\alpha, \beta, \gamma, \dots, \varpi)$$

ifodalanishi mumkin. Bu yerda $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \varpi$ - ma'lum taqsimlanish funksiyasiga ega bo'lgan tasodifiy kattaliklar bo'lsin. Bu masalani yechish uchun quyidagi algoritmlardan foydalaniladi:

1) Har bir kattalik bo'yicha $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \varpi$ tasodifiy miqdorlarni aniq qiymatlari $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \varpi$ topiladi;

2) Topilgan miqdorlar bo'yicha u_i ni xususiy qiymati yuqoridagi bog'lanish bilan topiladi.

3) Oldingi amallar N marta takrorlanadi va natijada tasodifiy miqdor U topiladi.

4) U miqdorini N ta qiymatiga asosan uning empirik taqsimlanish funksiyasi topiladi.

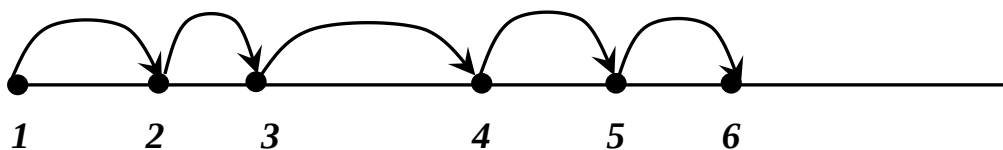
Δt prinsipi bo'yicha modellashtirish algoritmi. Modellashtiruvchi algoritmni umumlashgan sxemasi model vaqtini (Δt prinsipi bo'yicha) o'zgarmas orttirma prinsipi bo'yicha amalga oshiradi.

Oldingi algoritm singari, avval dastur inisializatsiya qilinadi, xususan, $z_i(t_0)$, $i = 1, \dots, n$ larning qiymatlari kiritiladi. Bu miqdorlarning qiymatlari n o'lchamli fazoda tizimni holatlarini harakterlaydi. Model vaqti $t = t_0 = 0$ deb belgilanadi. Tizimni ishlash jarayoni imitatsiya qiluvchi asosiy amallar siklda bajariladi. Tizimni ishlash jarayoni holatlarini $Z_i(t)$ ketma-ket o'zgarishi bo'yicha kuzatib boriladi. Buning uchun model vaqtiga biror bir ortirma Δt beriladi. So'ngra holatlarning joriy vektori bo'yicha yangi holat $z_i(t + \Delta t)$ aniqlanadi. Model vaqti berilgan modellashtirish vaqtidan kichik bo'lguncha sikl davom ettiriladi.

Imitatsiya vaqtida talab qilingan tizim harakteristikalarini o'lchanadi, belgilanadi va qayta ishlanadi. Agar $t \geq T_m$ bo'lsa, u holda o'lchash natijalarini qayta ishlash tugallanadi va modellashtirish natijalari chiqariladi.

Hodisalarni qo'llanilishini imitatsion modellashtirishda ko'rib chiqamiz. Har bir imitatsion modelni ishlatish uchun bir vaqtni tanlash kerak. Tabiatan mavjud bo'lgan modellashtirish tizimi bir paytda, ya'ni bir daqiqa, soatda, sutkada, oyda bo'lish mumkin. Endi oddiy imitatsion modelni ishlashini ko'rsatamiz. Tizimning ishini T vaqt momentida modellashtirish kerak. 0 vaqt momentida ish boshlanadi va kelib chiqqan hodisalar vaqt shkalasida ko'rsatilgan (5.14-rasm). Har bir hodisa vaqt

shkalasida nuqta bilan belgilangan ($\bullet$) va raqamlangan (1, 2, 3, 4, 5, 6) iborat. Bir hodisadan boshqasiga o'tish uzlukli vaqtlarda amalga oshiriladi.



5.14-rasm.

Misol. Tizimni modellashtishni ommaviy xizmat ko'rstish masalasi uchun qarab chiqamiz. Bunda tizimga kelib tushgan talablar oqimi Puasson taqsimoti bilan etarlicha yaxshi tavsiflanadi, ya'ni 1 soatda 3 ta mijozga xizmat ko'rsatiladi, xizmat ko'rsatish vaqti $0 \leq \tau \leq 0.5$ oraliqda 0.2 soatga teng va $0.5 \leq \tau \leq 1$ oraliqda 0.6 soatga teng. Mijozlarga xizmat ko'rsatish ketma-ket, ya'ni birinchi kelgan byurtmaga, birinchi bo'lib xizmat ko'rsatiladi va h.k. Xizmat ko'rsatish vaqti kutib turish uzunligiga va kelib tushayotgan mijozlar soniga bog'liq bo'ladi. Faraz qilaylik boshlang'ich momentda mijozlarni modellashtirish mavjud emas.

Tizimga mijozlar tomonidan 1 soat mobaynida byurtmalar oqimining kirib kelish o'rtacha intensivligi $\lambda = 3$ bo'lsin. Taqsimot Puassonli bo'lgani uchun τ miqdor

$$P = -(1/\lambda) \ln \tau = -(1/3) \ln \tau$$

aniqlanadi.

Xizmat ko'rsatish vaqti 0.2 yoki 0.6 soatga teng bo'lishi mumkin. U holda xizmat ko'rsatish vaqti τ miqdor oralig'ida

$$q = \begin{cases} 0.2 \text{ s agar } 0 \leq \tau \leq 0.5, \\ 0.6 \text{ s agar } 0.5 \leq \tau \leq 1. \end{cases}$$

ifodalanadi.

Yuqorida ko'rsatilgandek, bitta liniyada 2 ta holat uchun xizmat ko'rsatiladi, ya'ni mijozlarni kelishlari va ularning ketishlari (xizmat ko'rsatish tugatiladi).

Tizim bo'sh bo'lgan holatda navbatdagi mijozga xizmat ko'rsatishga so'rov $P_1 = -(1/3) \ln 0.058962 = 0.95$ s dan keyin keladi. Shunday qilib, model $t=0$ dan $t=0.94$ ga o'tadi. $t=0.94$ momentda xizmat ko'rsatishga bo'lgan talab kelishiga bog'liq hodisa sodir bo'ladi, shuning uchun navbatdagi talab kelish vaqti

$$t = 0.94 + [-(1/3) \ln 0.673284] = 1.07$$

hisoblanadi.

Endi, $t \in [0; 0.94]$ da tizim to'xtab turganligi uchun $t = 0.94$ momentda kelib tushgan mijozga xizmat ko'rsatish boshlanadi. Unga xizmat qilish

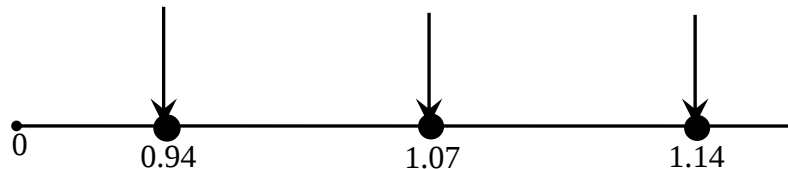
uchun berilgan vaqt $\tau = 0.479909$, $q = 0.2$ bo'ladi. Xizmat ko'rsatish vaqtining tugashi $t = 0.94 + 0.2 = 1.14$ hisoblanadi.

Bu momentda tizim ishchi (ya'ni harakatda) deb e'lon qilinadi, to'xtab turish vaqti esa

$$To'xtab turish vaqti = 0 + 0.94 = 0.94$$

aniqlanadi.

$t = 1.14$ momentgacha sodir bo'lgan hodisalar 5.15-rasmda ko'rsatilgan.



5.15-rasm. Xizmat ko'rsatishga kelishning tugashi.

Navbatdagi hodisa $t = 1.07$ momentda talabning kelishi bilan bog'liq. Tizim ishni davom ettiradi va talablar navbatga qo'yiladi va navbatlarning uzunligi $Q = 0 + 1 = 1$ ($t = 1.07$ momentda) rostlab chiqiladi.

Navbatdagi talab vaqtning

$$t = 1.07 + [-(1/3) \ln 0.948578] = 1.09$$

momentida qo'yiladi.

Keyingi hodisa $t = 1.09$ momentda xizmat ko'rsatishga qo'yiladigan talabdan iborat bo'ladi. Tizim xali ham ishchi holatda turganligi sababli, navbatlarning uzunligi $Q = 1 + 1 = 2$ ($t = 1.09$ momentda) rostlanishi zarur.

Keyingi talab esa

$$t = 1.09 + (-1/3) \ln 0.61396 = 1.25$$

momentda qo'yiladi. $t = 1.14$ momentda sodir bo'ladigan navbatdagi hodisa, xizmat ko'rsatish tugaganini bildiradi. Navbat bo'sh bo'lmaganligi sababli, navbat bo'yicha mijozga xizmat ko'rsatish boshlanadi.

Navbat uzunligi $Q = 2 - 1 = 1$ ($t = 1.14$ momentda) o'lchanadi.

Kutish vaqtining yig'indisi

$$W = 0 + (1.14 - 1.07) = 0.07 \text{ s}$$

aniqlanadi.

$\tau = 0.934123$ dan foydalanib, mijozga xizmat ko'rsatish vaqti tugashi $t = 1.14 + 0.6 = 1.74$ hosil qilinadi. Shu yo'sinda davom etib, shunga o'xshash modellardan foydalanish jarayoni haqidagi ma'lumotlarni olish mumkin. Bu jarayon soni T interval modellashtirilguncha davom ettiriladi. Shundan so'ng modellashtirish jarayonidan kelib chiqib, har xil amallarni bajaradigan karakteristiklarni aniqlash mumkin. Masalan, tizimning to'xtab turish vaqti ulushi

$$\left(\begin{array}{l} \text{Tizimning to'xtab} \\ \text{turish vaqti ulushi, \%} \end{array} \right) = \frac{\text{to'xtab turish vaqti yig'indisi}}{T - \text{ni modelshtirish davri}} \times 100,$$

va mijozlarga xizmat ko'rsatishning o'rtacha vaqti

$$\left(\begin{array}{l} \text{Mijozga xizmat ko'rsatishning} \\ \text{o'rtacha vaqti} \end{array} \right) = \frac{\text{kutish vaqti yig'indisi } W}{\text{keladigan mijozlar soni}}.$$

aniqlanadi.

Dasturiy ta'minot. Interfeys oynada o'rtacha intensivlik, kuzatish vaqti, xizmat ko'rsatish davomiyligi kabi parametrlarning qiymatlari kiritiladi va ular asosida xizmat ko'rsatishga talab vaqti, xizmat ko'rsatish boshlanish vaqti, xizmat ko'rsatish tugash vaqti, tizimning to'xtab turish vaqti, mijozning kutish vaqti, navbatning uzunligi kabi parametrlar hisoblanadi (5.16-rasm).

Xizmat ko'rsatish sistemasining imitasion modeli

Nº	R	P	M	T	T*	W	Q
1	0,353150273837685	0,346953869237618	0,346953869237618	0,346953869237618	0,546953869237618	0	0
2	0,276862867305457	0,775031522323817	0,228077653086199	0,775031522323817	0,975031522323817	0	0
3	0,0759880938921068	1,63409105908466	0,659059536760843	1,63409105908466	1,83409105908466	0	0
4	0,159239967893455	2,24653871990922	0,41244766082456	2,24653871990922	2,44653871990922	0	0
5	0,187700314534689	2,80417493979595	0,35763621988673	2,80417493979595	3,00417493979595	0	0
6	0,511368251643781	3,02773003956657	0,0235550997706201	3,02773003956657	3,62773003956657	0	0
7	0,888345604244781	3,06719484547889	0	3,62773003956657	4,22773003956657	0,56053519408768	1
8	0,075453904026865	3,92860596277048	0	4,22773003956657	4,42773003956657	0,29912407679609	1
9	0,317269102817992	4,31127428291452	0	4,42773003956657	4,62773003956657	0,11645575665205	1
10	0,283543666956734	4,73140399611764	0,10367395655107	4,73140399611764	4,93140399611764	0	0
11	0,280059740543393	5,15565477594669	0,22425077982905	5,15565477594669	5,35565477594669	0	0
12	0,234108317286758	5,6396452347264	0,28399045877971	5,6396452347264	5,8396452347264	0	0
13	0,840452019050928	5,69758370604658	0	5,8396452347264	6,4396452347264	0,14206152867982	1
14	0,196473439315554	6,23999304794209	0	6,4396452347264	6,6396452347264	0,19965218678431	1
15	0,567089240330779	6,42907258037037	0	6,6396452347264	7,2396452347264	0,21057265435603	2
16	0,467682446105258	6,68239449614903	0	7,2396452347264	7,4396452347264	0,55725073857737	1
17	0,93307299070669	6,70548511245773	0	7,4396452347264	8,0396452347264	0,73416012226867	2

Belgislashlar

R Tasodifiy son

P Xizmat ko'rsatishga talab vaqti

T Xizmat ko'rsatish boshlanish vaqti

T* Xizmat ko'rsatish tugash vaqti

M Sistemaning to'xtab turish vaqti

W Mijozning kutish vaqti

Q Navbat uzunligi

Parametrlar

O'rtacha intensivlik

Kuzatish vaqti

Xizmat ko'rsatish davomiyligi

R = [0, 0,5]

R = [0,5, 1]

Natija

Sistemaning to'xtab turish vaqt ulushi **21%**

Mijozga xizmat ko'rsatishning o'rtacha kutish vaqti **40%**

Save to file

Yechish

5.16-rasm. Dastur yordamida olingan natijalar.

4-§. O'yinlar nazariyasi

4.1. Asosiy tushunchalar va ta'riflar

Amaliyotda ko'pincha boshqarish qarorlarini noaniqlik sharoitida qabul qilishga to'g'ri keladi. Bunda noaniqlik qabul qilingan qarorning natijasiga ta'sir qiluvchi raqibning ongli hatti-harakati tufayli yoki boshqa

faktorlar tufayli bo'lishi mumkin. Bir tomon qabul qilayotgan qarorlarning samaradorligi boshqa tomonning hatti-harakatlariga bog'liq bo'lgan vaziyatlar konfliktli (nizoli, ixtilofli) vaziyatlar deb ataladi. Konflikt tomonlar o'rtasida albatta antagonistik ziddiyat bo'lishini taqozo qilmaydi, lekin hamisha ma'lum bir tarzda tafovut bilan bog'lik bo'ladi.

Konfliktli vaziyatlarni matematik tomondan tahlil qiluvchi, uning matematik modelini tuzuvchi va tomonlarning ratsional harakat qilish yo'llarini o'rganuvchi fan sohasiga *o'yinlar nazariyasi* deyiladi. O'yinlar nazariyasining paydo bo'lishi Dj. Fon Neyman va O. Morgenshternlarning 1944 yilda chop etilgan "O'yinlar nazariyasi va iqtisodiy muomala" nomli monografiyasi bilan bog'liq.

Hozirgi vaqtda o'yinlar nazariyasi gurkirab rivojlanmoqda. Uning antagonistik, noantagonistik (kooperativ), chekli, cheksiz, pozitsiyali, differensial o'yinlar va boshqa bir qator yo'nalishlari mavjud. Keyingi paytlarda muhim ahamiyat kasb etayotgan *differensial o'yinlar* bir boshqariladigan obyektning boshqa boshqariladigan obyektga ta'qib qilishini ular harakatlari dinamikasini hisobga olgan holda o'rganadi. Bunda obyektlar harakati differensial tenglamalar yordamida tavsiflanadi.

O'yin haqiqiy konfliktli vaziyatning matematik modeli bo'lib, u ma'lum qoidalar bo'yicha tahlil qilinadi. Umumiy holda o'yin qoidalari yurishlar ketma-ketligini, har bir tomonning qarshi tomon harakatlari haqidagi ma'lumoti hajmini va o'yin natijasini (yechimini) belgilaydi. Qoida, shuningdek, tanlashlarning mumkin bo'lgan ma'lum ketma-ketligi amalga oshirilib, ortiq yurishlar qilish mumkin bo'lmay qolganda o'yinning tugashini ham belgilaydi.

Ishtirokchilarning soniga qarab o'yinlar *juft* va *ko'p tomonli* bo'ladilar. Juft o'yinda ishtirokchilar soni ikkiga teng, ko'p tomonli o'yinda esa ularning soni ikkitadan ortiq bo'ladi. Ko'p tomonli o'yin ishtirokchilari koalitsiyalar (ittifoqlar) tashkil qilishlari mumkin (bu holda o'yin koaliesion o'yin deb ataladi). Agar ko'p tomonli o'yin ishtirokchilari doimiy koalitsiyaga birlashsalar, u juft o'yinga aylanadi.

O'yinda ishtirok etuvchi tomonlar o'yinchilar deb ataladilar. Sport o'yinida o'yinchilar - bu alohida sportchilar yoki komandalar bo'lishi mumkin; harbiy o'yinda - urushuvchi tomonlar; xalq xo'jaligida - korxonalar, firmalar. Ba'zan o'yinchi rolini tabiat ham bajaradi, chunki u qabul qilinishi kerak bo'lgan qarorning shart-sharoitini shakllantiradi.

O'yinchining strategiyasi deb - uning har bir shaxsiy yurishda o'yin jarayonida yuz bergan vaziyatdan kelib chiqib tadbir variantini tanlash yo'lini belgilovchi qoidalar majmuiga aytiladi.

Agar o'yinchilarning strategiyalari soni chekli bo'lsa, o'yin chekli, agar o'yinchilardan hech bo'lmaganda bittasining strategiyalari soni cheksiz bo'lsa - cheksiz deyiladi. O'yinchining strategiyasi unga maksimal yutuq yoki minimal qiymatli yutqazish bersa, bunday strategiya *optimal strategiya* deyiladi.

Yurishlar shaxsiy va tasodifiy bo'ladi. Agar o'yinchi o'zining tadbirlarining mumkin bo'lgan variantlaridan birini ongli ravishda tanlasa (masalan, shaxmat va shashka o'yinlaridagi har qanday yurish), bunday yurishga shaxsiy yurish deyiladi. Agar tanlashni o'yinchi emas, balkim biror tasodifiy tanlash mexanizmi (masalan, o'yin soqqasini yoki tangani tashlash) bajarsa, u holda o'yin tasodifiy deyiladi.

O'yinlarni ta'riflashning ikki usuli mavjud: *pozitsion va normal*. *Pozitsion usul* o'yinning yopiq shakli bilan bog'liq bo'lib, qoidalar ketma-ketligining grafika (o'yin daraxtiga) keltiriladi. *Normal usul* o'yinchilar strategiyalari to'plami va to'lov funksiyasini oshkora ko'rsatishdan iborat. O'yinda to'lov funksiyasi o'yinchilar tanlagan strategiyaning har bir to'plami uchun har bir tomonning yutug'ini aniqlaydi. Agar juft o'yinda bir o'yinchining yutug'i ikkinchisining yutqazig'iga teng bo'lsa, bunday o'yin *nol yig'indili o'yin* deb ataladi.

Agar nol yig'indili o'yinda ikki o'yinchi qatnashsa, o'yin *antagonistik o'yin* xisoblanadi.

4.2. Matritsaviy o'yin. Alfa-betta parchalanish

Ikkita A va B o'yinchilar qatnashgan antagonistik o'yinni qaraymiz. O'yinchilar qarama-qarshi maqsadni ko'zlaydi. Biri qandaydir yutuqqa ega bo'lsa, ikkinchisi shu miqdorda yutqazadi. Demak A o'yinchining yutug'i B o'yinchi yutug'ining teskari ishora bilan olinganiga teng bo'lgani uchun biz bu o'yinda A o'yinchining yutugini tahlil qilsak yetarli.

A o'yinchi (biz uni I o'yinchi deymiz) m ta $A_1, A_2, \dots, A_m$ strategiyalariga, B o'yinchi (biz uni II o'yinchi deymiz) n ta $B_1, B_2, \dots, B_n$ strategiyalarga ega bo'lsin.

Bunday o'yinga $m \times n$ o'lchamli o'yin (ba'zan qisqacha $m \times n$ -o'yin) deyiladi.

I o'yinchi o'zining mumkin bo'lgan A_i ($i=1, 2, \dots, m$) strategiyalaridan birini, II o'yinchi esa, I o'yinchining tanlash natijasidan bexabar holda, B_j strategiyani ($j=1, 2, \dots, n$) tanlagan bo'lsin. Strategiyalarni tanlash natijasida I o'yinchining yutug'i $W_1(A_i, B_j)$ va II o'yinchining yutug'i $W_2(A_i, B_j)$ bo'lsa,

ular $W_1(A_i, B_j) + W_2(A_i, B_j) = 0$ munosabatni qanoatlantiradi. Agar $W(A_i, B_j) = W_1(A_i, B_j)$ deb olsak, $W_2(A_i, B_j) = -W(A_i, B_j)$ bo'ladi. $W(A_i, B_j) = a_{ij}$ deb belgilaylik. Bu qiymatlarni satrlari I o'yinchining strategiyalariga, ustunlari esa II o'yinchining strategiyalariga mos keladigan jadval (5.1-jadval) ko'rinishida yozamiz.

5.1-jadval

	B_1	B_2	...	B_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...	...	...	...	...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

Bunday jadval *to'lovlar matritsasi* deb ataladi.

To'lovlar matritsasining har bir musbat a_{ij} elementi mos strategiyalar qo'llanilganda I o'yinchining yutug'i (yoki II o'yinchining yutqazig'i) miqdorini bildiradi. Matritsaning har bir manfiy a_{ij} elementi esa mos strategiyalar qo'llanilganda I o'yinchining yutqazig'i (yoki II o'yinchining yutug'i) miqdorini bildiradi. Ikkala o'yinchining ham maqsadi - o'z yutug'ini maksimallashtirishdan (yoki o'z yutqazig'ini minimallashtirishdan) iborat.

Misol. O'yinda I va II o'yinchilar ishtirok qiladilar. O'yinchilardan har biri boshqasidan bexabar holda 1, 2 yoki 3 ta barmog'ini ko'rsatishi mumkin. Agar I va II o'yinchilar ko'rsatgan barmoqlar soni o'rtasidagi ayirma musbat bo'lsa, I o'yinchi shu sonlar ayirmasiga qadar ochko yutadi va aksincha, agar ayirma manfiy bo'lsa, II o'yinchi shuncha yutadi. Agar sonlar o'rtasidagi ayirma nol bo'lsa, o'yin durang bilan tugaydi.

O'yinda har bir o'yinchining uchtdan shaxsiy yurishi bor. I o'yinchi strategiyalari: A_1 - 1 ta barmoqni ko'rsatish, A_2 - 2 ta barmoqni ko'rsatish, A_3 - 3 ta barmoqni ko'rsatish. II o'yinchining (ya'ni, I o'yinchi raqibining) strategiyalari esa, V_1 - 1 ta, V_2 - 2 ta, V_3 - 3 ta barmoqni ko'rsatishdan iborat. O'yinchilarning ular tegishli strategiyalarni qo'llaganlardagi yutuqlarini to'lov matritsasi (5.2-jadval) ko'rinishida yozib qo'yamiz.

5.2-jadval

	B_1	B_2	B_3
A_1	0	-1	-2
A_2	1	0	-1
A_3	2	1	0

Bu matritsa elementlari qanday hosil qilinganligini ko'ramiz. Agar I o'yinchi A_1 strategiyasini, II o'yinchi B_3 strategiyasini qo'llasa, u vaqtda I

o'yinchi ikki ochko yutqazadi. Bu yutqazish to'lov matritsasida birinchi satr va uchinchi ustunlar kesishishidagi (1;3) katakka yozilgan ($a_{13}=-2$). Agar I o'yinchi A_2 strategiyasini, raqib esa V_1 strategiyani qo'llasa, u holda I o'yinchi bir ochko yutadi. To'lov matritsasida bu yutuq (2;1) katakka musbat ishora bilan yozib qo'yilgan ($a_{21}=1$). Jadvalning boshqa elementlari ham shu tariqa hosil qilingan.

To'lov matritsasi 5.1-jadvalda keltirilgan $m \times n$ -o'yinni qaraymiz. Masala $A_1, A_2, \dots, A_m$ strategiyalar orasidan I o'yinchining eng yaxshi strategiyasini, $B_1, B_2, \dots, B_n$ strategiyalardan esa II o'yinchining eng yaxshi strategiyasini topishdan iborat. Bu masalani yechishda o'yinda ishtirok etuvchi raqiblar bir xil aql-idrokka ega va ulardan har biri o'z maqsadiga erishish uchun hamma chora-tadbirlarni ko'radi deb hisoblaymiz. Bu tamoyildan foydalanib I o'yinchining eng yaxshi strategiyasini topamiz. Buning uchun uning hamma strategiyalarini ketma-ket tahlil qilamiz. I o'yinchi o'zining A_i strategiyasini tanlaganda, biz unga II o'yinchi o'zining I o'yinchi yutug'ini minimallashtiruvchi V_j strategiyasi bilan javob beradi deb hisoblashimiz kerak. Shunga ko'ra to'lov matritsasining har bir satridagi a_{ij} sonlardan minimalini topamiz va uni $\alpha_i (i = \overline{1, m})$, bilan belgilab, to'lov matritsasining yonida qo'shimcha ustunga yozib qo'yamiz:

$$\alpha_i = \min_{j=1, n} a_{ij}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (5.6)$$

α_i sonlarni bilgan I o'yinchi o'zining strategiyalaridan shundayini tanlaydiki, bu unga eng katta yutuq bersin. Bu maksimal yutuqni α deb belgilaymiz, ya'ni $\alpha = \max_{i=1, m} \alpha_i$. Shunday qilib, (5.4) ni hisobga olsak,

$$\alpha = \max_{i=1, m} \min_{j=1, n} a_{ij} \quad (5.7)$$

hosil bo'ladi.

α soni I o'yinchining kafolatli yutug'i bo'lib, o'yinning quyi bahosi (maksimini) deb ataladi. O'yinning quyi bahosi α ni ta'minlovchi strategiya *maksimin strategiya* deb ataladi. Agar I o'yinchi o'zining maksimin strategiyasiga amal qilsa, II o'yinchi qanday yo'l tutishidan qat'iy nazar, unga α dan kam bo'lmagan yutuq ta'minlanadi.

II o'yinchi o'z yutqazig'ini kamaytirishga, ya'ni I o'yinchi yutug'ini minimumga aylantirishga harakat qiladi. Shu sababli o'zining eng yaxshi strategiyasini tanlab olish uchun u to'lov matritsasi ustunlarining har biridagi maksimal sonni topishi va bu qiymatlar orasidan eng kichigini tanlab olishi kerak.

Har bir ustundagi maksimal elementni β_j deb belgilaymiz va bu elementlarni 5.3-jadvalning qo'shimcha satriga yozib qo'yamiz.

5.3-jadval

	B_1	B_2	...	B_n	α_i
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	α_1
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	α_2
...	...	...	...	...	...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	α_m
β_j	β_1	β_2	...	β_n	

β_j lar orasidan eng kichik qiymatlisini β deb belgilaymiz. β - o'yinning yuqori bahosi (minimaksi) bo'lib, u

$$\beta = \min_{j=1,n} \max_{i=1,m} a_{ij} \quad (5.8)$$

bo'yicha topiladi.

II o'yinchiga β "yutuqni" ta'minlaydigan strategiya uning *minimaks strategiyasi* deb ataladi. Agar II o'yinchi o'zining minimaks strategiyasiga amal qilsa, har qanday holda ham uning yutqazig'i β dan oshmaydi.

O'yinning quyi va yuqori baholari uchun

$$\max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \leq \min_{1 \leq j \leq n} \max_{1 \leq i \leq m} a_{ij} \quad (5.9)$$

tengsizlikning hamisha o'rinli, ya'ni $\alpha \leq \beta$ ekanligini ko'rsatish mumkin.

Haqiqatan ham, faraz qilaylikki $\alpha = a_{i_1 j_1}$ va $\beta = a_{i_2 j_2}$ bo'lsin. U vaqtda, α va β larning aniqlanishiga ko'ra, $\alpha = a_{i_1 j_1} \leq a_{i_1 j_2} \leq a_{i_2 j_2} = \beta$.

4.3. O'yinning egar nuqtasi. Sof strategiyalar

Quyi va yuqori baholari o'zaro teng, ya'ni $\alpha = \beta$ bo'lgan o'yinlar mavjud. Bunday o'yinlar *egar nuqtali o'yinlar* deb ataladi. Egari nuqtali o'yilarda yuqori va quyi baholarining umumiy qiymati o'yining *sof bahosi*, bu qiymatga erishishni ta'minlovchi A_i^* va B_j^* strategiyalar esa *optimal strategiyalar* deyiladi.

Optimal strategiyalarning (A_i^*, B_j^*) jufti matritsaviy o'yinning *egar nuqtasi (muvozanat vaziyati)* deb ataladi. To'lovlar matritsasida shu egar nuqtaga mos $a_{i^* j^*} = \gamma$ element bir vaqtning o'zida i - satrda minimal, j - ustunda maksimaldir.

O'yinda optimal strategiyalar va sof baho shu o'yinning yechimi hisoblanadi. Optimal strategiyalar muhim xususiyatga egadir. Ular o'yinda shunday "muvozanat holatini bildiradiki, har bir o'yinchi o'zining optimal strategiyasidan chetga chiqishdan manfaatdor emas, chunki u bundan foyda qilmaydi. Egar nuqtali o'yinda raqiblar bir xil aql-idrokli deb hisoblansa, o'yinning sof bahosi γ ni I o'yinchi oshira olmaydi, II o'yinchi esa kamaytira olmaydi.

Agar o'yin egar nuqtaga ega bo'lsa, u sof strategiyalarda yechiladi deyiladi. Sof strategiyalar deganda o'yinchi tomonidan, tasodifiy tanlash mexanizmini ishlatmasdan, ongli ravishda tanlangan strategiya tushuniladi. O'yin bir necha egar nuqtalarga ega bo'lishi ham mumkin.

Misol. To'lov matritsasi 5.2-jadvalda keltirilgan o'yinning yechimini topamiz. Shu jadvalga mos α_i va β_j larning qiymatlarini topib, ular yordamida 5.4-jadvalni hosil qilamiz.

5.4- jadval

	B_1	B_2	B_3	α_i
A_1	0	-1	-2	-2
A_2	1	0	-1	-1
A_3	2	1	0	0
β_j	2	1	0	

O'yinning quyi bahosi

$$\alpha = \max_i \alpha_i = \max(-2; -1; 0) = 0, \quad \alpha = \alpha_3.$$

O'yinning yuqori bahosi

$$\beta = \min_j \beta_j = \min(2; 1; 0) = 0, \quad \beta = \beta_3.$$

$\alpha = \beta$ bo'lgani uchun o'yin egar nuqtaga ega. O'yinning sof bahosi $\gamma = 0$. Optimal strategiyalar: I o'yinchining A_3 strategiyasi va II o'yinchining B_3 strategiyasi. Egar nuqta esa (A_3, B_3) bo'ladi.

Misol. To'lov matritsasi 5.5-jadvalda keltirilgan o'yinning yechimi topilsin. α_i va β_j larning qiymatlarini topamiz va ularni 5.5-jadvalga kiritamiz.

5.5- jadval

	B_1	B_2	B_3	B_4	α_i
A_1	6	5	8	5	5
A_2	7	3	2	3	2

A_3	6	5	7	5	5
β_j	7	5	8	5	

O'yinning quyi va yuqori baholarini topamiz:

$$\alpha = \max_i \alpha_i = \max(5, 2, 5) = 5, \quad \alpha = \alpha_1 = \alpha_3 = 5$$

$$\beta = \min_j \beta_j = \min(7, 5, 8) = 5, \quad \beta = \beta_2 = \beta_4 = 5.$$

α va β ning qiymatlaridan ko'rinib turibdiki, o'yinda optimal strategiyalarning A_1B_2 , A_1B_4 , A_3B_2 , A_3B_4 juftlariga mos to'rtta egar nuqta mavjud. O'yinning sof bahosi $\gamma = 5$.

4.4. Matritsaviy o'yinni soddalashtirish

Agar o'yinning to'lovlar matritsasi egar nuqtaga ega bo'lmasa, optimal aralash strategiyalarni va o'yin bahosini topish masalasi matritsa o'lchamlari kattalashgan sari murakkablashadi.

To'lov matritsasini tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, takrorlanuvchi va befoydaligi ayon bo'lgan strategiyalardan voz kechish yordamida o'yin o'lchamini kichraytirish va natijada, uni yechishni bir muncha osonlashtirish mumkin.

To'lovlar matritsasi $H = (a_{ij})$, $i \in M = \{1, 2, \dots, m\}$, $j \in N = \{1, 2, \dots, n\}$, bo'lgan $m \times n$ -o'lchamli o'yin berilgan bo'lsin. O'yinning bahosini γ_N deb, I va II o'yinchi sof strategiyalarini A_i B_j , aralash strategiyalarini esa $p = (p_1, \dots, p_m)$, $q = (q_1, \dots, q_n)$ deb belgilaymiz.

1. Agar $H = (a_{ij})$ matritsaning biror i' satrining (j' ustunining) hamma elementlari boshqa bir i'' satri (j'' ustuni) mos elementlariga teng bo'lsa, ya'ni $a_{i'j} = a_{i''j}$, $j = 1, 2, \dots, n$, ($a_{ij'} = a_{ij''}$, $i = 1, 2, \dots, m$) bo'lsa, $A_{i'}$ ba $A_{i''}$ ($B_{j'}$ ba $B_{j''}$) strategiyalar *takrorlanuvchi* yoki *ekvivalent strategiyalar* deb ataladi.

2. Agar $H = (a_{ij})$ matritsa biror i' satrining (j' ustunining) barcha elementlari boshqa bir i'' satr (j'' ustuni) elementlaridan katta bo'lmasa (kichik bo'lmasa), ya'ni ($a_{i'j} \leq a_{i''j}$, $j = 1, 2, \dots, n$) ($a_{ij'} \geq a_{ij''}$, $i = 1, 2, \dots, m$) bo'lsa, $A_{i'}$ ($B_{j'}$) strategiya *befoyda strategiya* deb ataladi.

Berilgan $m \times n$ -o'lchamli $H = (a_{ij})$ matritsaning i' -satrini (j' -ustunini) o'chirgandan keyin hosil bo'lgan $(m-1) \times n$ ($m \times (n-1)$)-o'lchamli matritsani $H_{i'}(H^{j'})$ bilan belgilaymiz.

Quyidagi teorema o'rinlidir.

Teorema. Faraz qilaylikki, I (II) o'yinchining $i' \in M$ ($j' \in N$) strategiyasi befoyda yoki biror $i'' \in M$ ($j'' \in N$) strategiyaga ekvivalent bo'lsin. U holda:

$$1) \gamma_H = \gamma_{H_{i'}} (\gamma_H = \gamma_{H_{j'}});$$

2) II (I) o'yinchining $\Gamma_{H_{i'}}$ ($\Gamma_{H_{j'}}$) o'yindagi q^* (p^*) optimal strategiyasi Γ_H o'yinda ham optimal bo'ladi;

3) agar $p_{(i')}^* = (p_i^*, \dots, p_{i'-1}^*, p_{i'+1}^*, \dots, p_m^*)$ I o'yinchining $(q_{(j')}^* = (q_i^*, \dots, q_{j'-1}^*, q_{j'+1}^*, \dots, q_n^*))$ II o'yinchining $\Gamma_{H_{i'}}$ ($\Gamma_{H_{j'}}$) o'yindagi optimal strategiyasi bo'lsa, $p^* = (p_i^*, \dots, p_{i'-1}^*, 0, p_{i'+1}^*, \dots, p_m^*)$ ($q^* = (q_i^*, \dots, q_{j'-1}^*, 0, q_{j'+1}^*, \dots, q_n^*)$) I o'yinchining (II o'yinchining) G_H o'yindagi optimal strategiyasi bo'ladi.

Bu teoremadan foydalangan holda matritsaviy o'yin o'lchamini kichraytirish quyidagicha bajariladi.

Agar to'lovlar matritsasining biror i - satri (j - ustuni) shu matritsa qolgan satrlari (ustunlari) qavariq kombinatsiyasidan katta (kichik) bo'lmasa, o'yinni yechish uchun shu satrni (ustunni) o'chirish mumkin. Bunda I (II) o'yinchining r^* (q^*) optimal strategiyasida $p_i^* = 0$ ($q_j^* = 0$) deb olinadi.

Misol. To'lovlar matritsasi 5.6-jadvalda berilgan o'yin soddalashtirilsin va yechimi topilsin.

5.6-jadval

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
A_1	8	6	4	5	1
A_2	5	4	3	2	3
A_3	6	7	6	3	5
A_4	3	3	2	1	2

Jadvaldan ko'rinadiki, $\alpha = \max_i \min_j a_{ij} = 3$, $\beta = \min_j \max_i a_{ij} = 5$,

$\alpha < \beta$, ya'ni o'yin egar nuqtaga ega emas. A_2 va A_3 satr elementlarini solishtirib, A_2 satr elementlari A_3 satrning mos elementlaridan kichik ekanligini aniqlaymiz. Demak, A_2 strategiya I o'yinchi uchun shubhasiz befoydadir va uni hisobdan chiqarish mumkin.

Shunga o'xshash A_3 va A_4 satrlarning elementlarini solishtirib, A_4 strategiyani hisobdan chiqaramiz. Natijada qaralayotgan o'yin 5.7-jadval ko'rinishiga keladi.

5.7-jadval

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
--	-------	-------	-------	-------	-------

A_1	8	6	4	5	1
A_3	6	7	6	3	5

Bu jadvaldan ko'rinadiki, II o'yinchining B_1, B_2 va B_3 strategiyalari B_5 ga nisbatan shubhasiz befoyddir, ya'ni B_1, B_2, B_3 ustun elementlari B_5 ustuning mos elementlaridan katta. Bu stretegiyalarni hisobdan chiqarib 5.8-jadval bilan aniqlangan 2×2 -o'yinga kelimiz. Endi bu o'yinda takrorlanuvchi va befoyda strategiyalar yo'q.

5.8-jadval

	V_4	V_5
A_1	5	1
A_3	3	5

Hosil bo'lgan o'yinni yechamiz. Quyidagi keltirilgan

$$p_1 = \frac{a_{22} - a_{21}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}}; \quad p_2 = \frac{a_{11} - a_{12}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}};$$

$$q_1 = \frac{a_{22} - a_{12}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}}; \quad q_2 = \frac{a_{11} - a_{21}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}};$$

formulalarga ko'ra

$$p_1^* = \frac{5-3}{5+5-1-3} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}; \quad p_3^* = \frac{5-1}{5+5-1-3} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3};$$

$$q_4^* = \frac{5-1}{5+5-1-3} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}; \quad q_5^* = \frac{5-3}{5+5-1-3} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3};$$

bo'ladi.

Demak, 1-teoremaga asosan $p^* = \left(\frac{1}{3}, 0, \frac{2}{3}, 0\right)$, $q^* = \left(0, 0, 0, \frac{2}{3}, \frac{1}{3}\right)$

strategiyalar o'yinchilarning optimal strategiyalaridir. O'yin bahosi esa

$$\gamma = \frac{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}} \text{ ko'ra } \gamma = \frac{5 \cdot 5 - 1 \cdot 3}{5 + 5 - 1 - 3} = \frac{22}{6} = \frac{11}{3} = 3\frac{2}{3} \text{ bo'ladi.}$$

Misol. To'lovlar matritsasi

$$H = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 & 0 \\ 2 & 3 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 6 \end{pmatrix}$$

bo'lgan o'yinni yechish talab qilinadi.

Bu o'yin to'lovlar matritsasi a_1 satr elementlari a_3 satr mos elementlaridan katta emas. Shuning uchun a_1 satrni o'chiramiz va

$H_1 = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 6 \end{pmatrix}$ matritsani hosil qilamiz. Bu matritsada a^1 ustun elementlari a^3 ustun elementlaridan kichik emas. Shuning uchun a^1 ustunni o'chirib $H_1^1 = \begin{pmatrix} 3 & 1 & 3 \\ 1 & 2 & 0 \\ 3 & 0 & 6 \end{pmatrix}$ matritsani hosil qilamiz. Endi bu matritsada shubhasiz befoyda strategiyalarga mos keluvchi satr yoki ustunlar yo'q. Ammo H_1^1 matritsaning a^1 ustuni qolgan a^2 , a^3 ustunlarining qavariq kombinatsiyasidan kichik emas, ya'ni $a^1 \geq \frac{1}{2}a^2 + \frac{1}{2}a^3$, chunki $3 > 1 \cdot \frac{1}{2} + 3 \cdot \frac{1}{2}$; $1 = 2 \cdot \frac{1}{2} + 0 \cdot \frac{1}{2}$; $3 = 0 \cdot \frac{1}{2} + 6 \cdot \frac{1}{2}$.

Demak, H_1^1 matritsadan birinchi ustunni o'chirish mumkin (bu ustun dastlabki N matritsaning 2-ustuniga mos keladi). Natijada $H_1^{12} = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 0 \\ 0 & 6 \end{pmatrix}$ matritsaga ega bo'lamiz. Bu matritsada birinchi satr qolgan satrlarning qavariq kombinatsiyasidan iborat, ya'ni $a_1 = \frac{1}{2}a_2 + \frac{1}{2}a_3$, chunki $1 = 2 \cdot \frac{1}{2} + 0 \cdot \frac{1}{2}$; $3 = 0 \cdot \frac{1}{2} + 6 \cdot \frac{1}{2}$. Shuning uchun H_1^{12} matritsadan birinchi satrni o'chiramiz (bu satr dastlabki N matritsaning 2-satrga mos keladi). Nihoyat, $H_{12}^{12} = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 6 \end{pmatrix}$ to'lov matritsasiga kelimiz. Bu matritsa N matritsadan 1-2-satr va 1-2-ustunlarni o'chirishdan hosil qilingan. To'lovlar matritsasi H_{12}^{12} bo'lgan o'yinni yechamiz: $p_3^* = \frac{6}{8} = \frac{3}{4}$, $p_4^* = \frac{1}{4}$, $q_3^* = \frac{6}{8} = \frac{3}{4}$, $q_4^* = \frac{1}{4}$, $\gamma_{H_{12}^{12}} = \frac{12}{8} = \frac{3}{2}$.

Shunday qilib, I o'yinchining optimal strategiyasi $p^* = \left(0, 0, \frac{3}{4}, \frac{1}{4}\right)$, II o'yinchining optimal strtegiyasi $q^* = \left(0, 0, \frac{3}{4}, \frac{1}{4}\right)$, o'yin bahosi $\gamma_H = \gamma_{H_{12}^{12}} = \frac{3}{2}$ bo'ladi.

5-§. Noaniqlik sharoitida qaror qabul qilish

5.1. Noaniqlik sharoitida optimal strategiyani tanlash mezonlari

Qaror qabul qilish (QQQ) maqsaddan kelib chiqqan holda eng qulay strategiyani aniqlaydi va uni masalani echish jarayonida amalga oshiradi. QQQ masalani echish natijasini *QQQning mezonlaridan* biri orqali aniqlaydi.

QQQ mezoni – QQQ ning tanlagan baholash funksiyasi bo'lib, unga ko'ra qarorning maqbul yoki optimal variantini tanlash qoidasi aniqlanadi.

Bir qiymatli va imkoniyati boricha qulay qaror variantiga kelish uchun baholovchi(maqsad) kiritish kerak bo'ladi. Bunda QQQning har bir (A_i) strategiyasiga shu qarorning barcha oqibatlarini xarakterlaydigan qandaydir W_i natija mos qo'yiladi. QQQ natijalari massividan QQQ uning tutadigan harakat yo'lini eng qulay tarzda asoslaydigan W elementni tanlaydi.

Ma'lumotlar to'liq bo'lmagan sharoitda har bir qaror shu qaror qabul qilinadigan vaziyatlarning sonli xarakteristikalarini hisobga olgan holda qabul qilinadi. Ko'pgina hollarda QQQda quyidagi mezonlar ishlatiladi: Sevidj mezoni, Gurvits mezoni, Xodja-Leman mezoni, Germeyer mezoni, minimaksli mezoni, Bayes-Laplas mezoni, ko'paytmalar mezoni, Bayes-Laplas tashkil etuvchi mezoni.

Bu mezonlarni navbat bilan alohida ishlatish mumkin. Ammo bir necha variantlar bo'yicha hisoblashlar bajarilgandan so'ng qandaydir oxirgi natijali qarorga kelish lozim.

Bayes-Laplas mezoni (yutuqning maksimal matematik kutilishi mezoni). Yutuqning maksimal matematik kutilishi mezoni QQQga atrof muhit holatlarining ehtimollari ma'lum bo'lgan sharoitda ishlatiladi. Bu mezon bo'yicha ish ko'rilganda to'lovlar matrisasi shunday ustun bilan to'ldiriladiki, uning har bir elementi QQQning tanlagan strategiyasiga to'g'ri keladigan yutuqning matematik kutilishini ifodalaydi:

$$W_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} p_j, \quad (5.10)$$

bu yerda p_j –tabiyat j -holatining ehtimoli.

Ushbu mezon bo'yicha optimal strategiya QQQning shunday strategiyasi hisoblanadiki unda yutuqning matematik kutilishi maksimaldir:

$$W = \max_{i=1,m} \sum_{j=1}^n a_{ij} p_j . \quad (5.11)$$

Yutuqning maksimal matematik kutilishi mezonini qo'llash quyidagi vaziyatlarda maqsadga muvofiqdir:

1. QQQga atrof muhitning hamma holatlari ehtimollari ma'lum bo'lsa;
2. QQQda QQQga mag'lubiyat xavfining minimaliashtirilishi o'rtacha yutuqning maksimallashtirilishiga qaraganda muhimroq factor hisoblansa.

Atrof muhitning ehtimollari haqida zarur ma'lumotiga ega bo'lish kerakligi qaralayotgan mezonning qo'llanish sohasini chegaralaydi.

Laplasning yetarlicha asoslanmaganlik mezoni. Bu mezon QQQ masalasida atrof muhit holatining ehtimolii haqida ma'lumot to'liq bo'lmaganda ishlatiladi. Atrof muhit holatlarining ehtimollari teng deb hisoblanadi va QQQning har bir strategiyasi bo'yicha to'lov matrisasida yutug'ning mos o'rtacha qiymati aniqlanadi:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} . \quad (5.12)$$

Ushbu mezon bo'yicha optimal deb QQQning shunday strategiyasi tanlanadiki, unga o'rtacha yutuq miqdori maksimali bo'lsin, ya'ni

$$W = \max_{i=1,m} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} . \quad (5.13)$$

Bu mezonning qo'llanishi quyidagi vaziyatlarda mumkin bo'ladi:

1. QQQ atrof muhit holatlarining ehtimollari haqida umuman ma'lumotga ega emas, yoki bunday ma'lumot to'liq emas;
2. Atrof muhit holatlarining ehtimollarining qiymatlari bir-biriga yaqin ;
3. QQQda QQQga mag'lubiyat xavfining minimaliashtirilishi o'rtacha yutuqning maksimallashtirilishiga qaraganda muhimroq factor hisoblanadi.

Valdning maksimin mezon. Maksimin mezon (MM- mezon) bo'yicha qarorni tanlash qoidasini qiyidagicha interpretasiya qilish mumkin:

To'lov matrisasiga yana bitta ustun qo'shiladi. Bu ustunning har bir elementi QQQning mos strategiyasidagi minimal yutug'ining qiymatiga teng:

$$W_i = \min_{j=1,n} a_{ij}.$$

Bu mezon bo'yicha optimal deb QQQning shunday strategiyasi tanlanadiki, unda yutug'ning minimal qiymati maksimal bo'lsin:

$$W = \max_{i=1,n} W_i = \max_{i=1,n} \min_{j=1,m} a_{ij}. \quad (5.14)$$

Shu tarzda tanlangan strategiya xatarni to'liq yo'qqa chiqaradi. Bu shuni bildiradiki, qaror qabul qiluvchi u mo'ljallayotgan vaziyatga qaraganda noqulayroq vaziyat bilan to'qnash kelishi mumkin emas. Bu xususiyat MM-mezon fundamintal mezonlardan biri deb hisoblash imkonini beradi.

MM-mezonni qaror qabul qilinyotgan vaziyat quyidagicha bo'lgan hollarda qo'llash mumkin:

1. Atrof muhitning paydo bo'ladigan holati haqida hech narsa ma'lum emas;
2. Qaror faqat bir martta amalga oshiriladi;
- 3 Har qanday hatarni chetlashtitish kerak.

Sevidjning minimaks xatar mezon. $a_{\max j}$ - j - ustunning maksimal elementi bo'lsin. $(a_{\max j} - a_{ij})$ miqdorni QQQning qo'shimcha yutuq'i sifatida tushunish mumkin. Shunga ko'ra xavfning minimaks mezzoni bo'yicha qulay strategiya tanlanadi.

Bu mezon bo'yicha optimal strategiyani aniqlash uchun to'lov matrisa asosida taxlikalar matrisasi hisoblanaladi. Bu matrisaning har bir (r_{ij}) elementi quyidagi formula asosida topiladi:

$$r_{ij} = a_{\max j} - a_{ij} \quad (5.15)$$

Taxlikalar matrisasi QQQning har bir strategiyasi bo'yicha r_{ij} elementlarning maksimal qiymatlarini saqllovchi ustun bilan to'ldiriladi:

$$R_i = \max_{j=1,n} r_{ij}.$$

Bu mezon bo'yicha optimal strategiya sifatida R_i ga minimal qiymat beruchi strategiya tanlanadi:

$$W = \min_{i=1,m} R_i = \min_{i=1,m} \max_{j=1,n} r_{ij}. \quad (5.16)$$

Sevidj mezonining qo'llanish vaziyatlari MM-mezoninig qo'llanish vaziyatlariga o'xshash, ammo bunda taxlika faktorining yutuq miqdoriga ta'sir darajasini hisobga olish muhimroq hisoblanadi.

Gurvinsning pessimizm-optimizm mezoni. Qaror rabul qilish amaliyotida QQQ faqat o'ta pessimizm bilan bog'liq yoki maksimal havfni hisobga oluvchi mezonlar bilan ish ko'ravermaydi. Muayyan o'rtacha pozisiyani egallashga harakat qiluvchi QQQ pessimizm koeffisienti deb ataluvchi qandaydir baholovchi koeffisientni kirgizishi mumkin. Bu koeffisientning qiymati $[0,1]$ intervalda yotadi va u o'ta optimistik va o'ta pessimistik nuqtai nazarlar oralig'idagi vaziyatni aks ettiradi. Bu koeffisient QQQ natijalarini statistik tadqiq etish yoki o'xshash vaziyatlarda QQQda orttirilgan shaxsiy tajriba asosida aniqlanadi.

To'lov matrisasi koeffisientlari quyidagi formula yordamida hisoblanadigan ustun bilan to'ldiriladi:

$$W_i = C \min_{j=1,n} a_{ij} + (1-C) \max_{j=1,n} a_{ij}, \quad (5.17)$$

bu yerda C –pessimizm koeffesienti.

Bu mezon bo'yicha optimal strategiya sifatida W_i ga maksimal qiymat beruvchi strategiya hisoblanadi:

$$W = \max W_i.$$

$S=1$ bo'lganda Gurvits mezonidan MM- mezon hosil bo'ladi. $S = 0$ bo'lganda esa u eng qulay vaziyat «hosil» bo'lishiga ko'z tikkan “ashaddiy o'yinchi” mezoniga aylanadi.

Gurvits mezoni quyidagi hollarda qo'llaniladi:

1. Atrof muhit ahvoli haqida ma'lumot mavjud emas yoki bunday ma'lumot ishonchsiz;
2. Atrof muhitning har qanday holati paydobo'lishi bilan hisoblashish kerak;
3. Faqat kichik sondagi qarorlar amalga oshiriladi;
4. Qandaydir havfga yo' qo'yiladi.

5.2. Noaniqlik sharoitida tajribani o'tkazish masalasini yechish algoritmi

Agar tajriba o'tkazilmasa, I o'yinchining o'rtacha yutugi

$$\bar{\alpha} = \max_i \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij} Q_j \right\}$$

yordamida topiladi. Endi tajriba o'tkazilgan va shu tajriba natijasiga ko'ra operatsiyaning qanday tabiat holatida amalga oshirilishi aniqlangan bo'lsin. Agar bu holat T_1 bo'lsa, I o'yinchining maksimal yutugi $\beta_1 = \max_i a_{i1}$, agarda T_2 bo'lsa, uning maksimal yutug'i $\beta_2 = \max_i a_{i2}$ va h.k., T_n bo'lsa, $\beta_n = \max_i a_{in}$ bo'ladi. Lekin aslida tabiatning haqiqatan yuz beradigan holati noma'lum hamda tajriba o'tkazilishining maqsadga muvofiqligini aniqlash talab etilmoqda. Shu sababli I o'yinchining qutilayotgan maksimal yutuqlari o'rtacha qiymatini topamiz:

$$\bar{\beta} = \sum_{j=1}^n \beta_j Q_j.$$

Agar

$$C < \sum_{j=1}^n \beta_j Q_j - \max_i \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij} Q_j \right\}$$

shart bajarilsa, tajribani o'tkazish kerak bo'ladi. Bu yerdan

$$C < \min_i \left\{ \sum_{j=1}^n Q_j (\beta_j - a_{ij}) \right\}$$

kelib chiqadi.

Tavakkalliklar ta'rifini e'tiborga olsak

$$(\beta_j - a_{ij} = r_{ij}) \quad C < \min_i \left\{ \sum_{j=1}^n Q_j r_{ij} \right\}$$

munosabatni hosil qilamiz. Bu munosabat tajriba o'tkazish maqsadga muvofiqlik mezonini ifodalaydi.

Shunday qilib, agar tajriba uchun ketadigan xarajatlar o'rtacha tavakkalning minimal qiymatidan kichik bo'lsa, uni o'tkazish kerak.

Aks holda tajriba o'tkazish maqsadga muvofiq emas.

Misol. Tabiat bilan o'yinning yutuqlar matrisasi 5.9-jadvalda keltirilgan.

5.9-jadval

	T_1	T_2	T_3	T_4
A_1	3	0	2	6
A_2	2	1	0	4
A_3	0	3	1	5

Tabiatning T_1 , T_2 , T_3 va T_4 holatlari ro'y berishi ehtimollari ma'lum hamda mos ravishda quyidagicha bo'lsin: $Q_1=0,2$, $Q_2=0,1$, $Q_3=0,2$ va $Q_4=0,5$. Tajriba uchun ketadigan xarajatlar $S=1,5$ pul birligi ekanligi

ma'lum deb hisoblaymiz. Tabiat holatlaridan qaysi biri ro'y berishini aniqlab olish uchun tajriba o'tkazish maqsadga muvofiqligini aniqlash talab qilinadi.

Shu maqsadda o'rtacha yutuqlarni hisoblaymiz:

$$\alpha_1 = \sum_{j=1}^4 a_{1j} Q_j = 4, \quad \alpha_2 = \sum_{j=1}^4 a_{2j} Q_j = 2,5, \quad \alpha_3 = \sum_{j=1}^4 a_{3j} Q_j = 3.$$

Demak, maksimal o'rtacha yutuq quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{\alpha} = \max_i \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij} Q_j \right\} = \max\{4; 2,5; 3\} = 4.$$

Qaralayotgan o'yinda I o'yinchining kutilayotgan maksimal yutuqlari o'rtacha qiymatini topamiz:

$$\bar{\beta} = \sum_{j=1}^4 \beta_j Q_j = 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,5 = 4,3.$$

$C = 1,5 > \bar{\beta} - \bar{\alpha} = 4,3 - 4 = 0,3$ bo'lgani uchun tajriba o'tkazish maqsadga muvofiq emas.

Endi tajribani o'tkazish masalasini hal etishdagi boshqa vaziyatni qarab chiqamiz. Bu vaziyat tabiat bilan o'yinning real amaliy masalalarida ko'p uchraydi.

Faraz qilaylik tajribani o'tkazish tabiatning biror T_j holatini aniqlash imkonini bermaydi, balki u faqatgina s ta o'zaro kesishmaydigan $B_1, B_2, \dots, B_s$ hodisalarga olib keladi. Bizga $T_j (j=1, \dots, n)$ shartlar bajarilganda $B_k (k=1, \dots, s)$ hodisalarning ro'y berish ehtimollari ma'lum deb hisoblaymiz. Bu ehtimollarni $P(B_k/T_j) (k=1, \dots, s; j=1, \dots, n)$ bilan belgilaymiz.

Faraz qilaylik, tajriba o'tkazilgan va B_k natija olingan bo'lsin. Bu holda ehtimollar nazariyasidan ma'lum bo'lgan Beyes formulasiga binoan tajriba natijasida $B_k (k=1, \dots, s)$ natija olingan degan shartda T_j holatning ro'y berish ehtimoli Q_{jk} quyidagicha topiladi:

$$Q_{jk} = \frac{Q_j P(B_k / T_j)}{\sum_{i=1}^n P(B_k / T_i)}, \quad j=1, \dots, n; \quad k=1, \dots, s.$$

Bu formula o'ng tomonidagi kasrning maxraji $B_k (k=1, \dots, s)$ hodisalarning to'la ehtimolidan iborat, ya'ni

$$P(B_k) = \sum_{j=1}^n Q_j P(B_k / T_j).$$

Tajriba o'tkazilganda olingan har bir B_k ($k=1,...,s$) natija uchun $\bar{\alpha}_i^{(k)}$ o'rtacha yutuqlarni

$$\bar{\alpha}_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n a_{ij} Q_{jk} \quad (i=1,...,m; k=1,...,s)$$

bo'yicha topamiz.

Agar tajribaning B_k natijasi ma'lum bo'lsa, I o'yinchining maksimal o'rtacha yutugi $\bar{\alpha}^{(k)} = \max_i \bar{\alpha}_i^{(k)}$ ($k=1,...,s$) bo'lar edi. Lekin, bizga faqat tajriba natijasida paydo bo'ladigan B_k ($k=1,...,s$) hodisalarning $P(B_k)$ to'la ehtimollari ma'lum. Shu ma'lumot asosida tajriba o'tkazilish natijasida olish mumkin bo'lgan yutuqning o'rtacha qiymatini topamiz:

$$\bar{\alpha}^* = \sum_{k=1}^s \bar{\alpha}^{(k)} P(B_k).$$

Shunday qilib, qaralayotgan holda tajribani rejalashtirish mezonini quyidagicha: agar $C < \bar{\alpha}^* - \max_i \sum_{j=1}^n a_{ij} Q_j$ shart bajarilsa, tajriba o'tkazish mumkin, aks holda tajriba o'tkazish maqsadga muvofiq emas.

Misol. Yuqoridagi misolda qaralgan o'yinda tabiat holatlarining ro'y berishini aniqlashtirish maqsadida tajriba o'tkazilishi natijasida B_1, B_2, B_3 hodisalarning sodir bo'lishlari ma'lum va ularning ehtimollari 5.10-jadvalda berilgan bo'lsin. Tajriba xarajatlari avvalgidek deb hisoblab, uni o'tkazish maqsadga muvofiq yoki emasligini aniqlaymiz.

5.10-jadval

	T_1	T_2	T_3	T_4
B_1	0.2	0.8	0.5	0.4
B_2	0.3	0.2	0.1	0.4
B_3	0.5	0	0.4	0.2

Faraz qilaylik, tajriba natijasida B_1 hodisa vujudga kelsin. U vaqtda Bayes formulasiga kura Q_{j1} , $j=1,...,4$, ehtimollar quyidagicha topiladi (5.11-jadval):

$$Q_{11} = \frac{0,2 \cdot 0,2}{0,2 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,8 + 0,2 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,4} \approx 0,095;$$

$$Q_{21} = \frac{0,08}{0,42} \approx 0,19; \quad Q_{31} = \frac{0,1}{0,42} \approx 0,24; \quad Q_{41} = \frac{0,2}{0,42} \approx 0,476.$$

Agar B_2 hodisa vujudga kelsa:

$$Q_{12} = \frac{0,2 \cdot 0,3}{0,2 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 0,4} = \frac{0,06}{0,3} = 0,2;$$

$$Q_{22} = \frac{0,02}{0,3} \approx 0,067; Q_{32} = \frac{0,02}{0,3} \approx 0,067; Q_{42} = \frac{0,2}{0,3} = 0,666.$$

B_3 hodisa yuz berganda esa:

$$Q_{13} = \frac{0,2 \cdot 0,5}{0,2 \cdot 0,5 + 0,1 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,4 + 0,5 \cdot 0,2} \approx 0,36;$$

$$Q_{23} = \frac{0,1 \cdot 0}{0,28} = 0; Q_{33} = \frac{0,08}{0,28} \approx 0,28; Q_{43} = \frac{0,1}{0,28} \approx 0,36.$$

5.11- jadval

	T_1	T_2	T_3	T_4
V_1	0.095	0.19	0.24	0.476
V_2	0.2	0.067	0.067	0.666
V_3	0.36	0	0.28	0.36

Har bir B_k lar uchun $\bar{\alpha}_i^{(k)}$ o'rtacha yutuqlarni hisoblaymiz:

$$\bar{\alpha}_1^{(1)} = 3 \cdot 0,095 + 0 \cdot 0,19 + 2 \cdot 0,24 + 6 \cdot 0,476 = 3,62;$$

$$\bar{\alpha}_1^{(2)} = 3 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,067 + 2 \cdot 0,067 + 6 \cdot 0,666 = 4,73;$$

$$\bar{\alpha}_1^{(3)} = 3 \cdot 0,36 + 0 \cdot 0 + 2 \cdot 0,28 + 6 \cdot 0,36 = 3,8.$$

va h.k. Natijada 5.12- jadvalga ega bo'lamiz:

5.12- jadval

	$\bar{\alpha}_i^{(1)}$	$\bar{\alpha}_i^{(2)}$	$\bar{\alpha}_i^{(3)}$
A_1	3.62	4.73	3.8
A_2	2.28	3.131	2.16
A_3	3.19	3.598	2.08

Agar tajriba natijasida B_1 hodisa yuzaga kelsa, o'rtacha yutuq $\bar{\alpha}^{(1)} = \max(3,62; 2,28; 3,19) = 3,62$ bo'ladi. Agar B_2 yoki B_3 hodisalar vujudga kelsa, o'rtacha yutuq, mos ravishda, $\bar{\alpha}^{(2)} = 4,73$, $\bar{\alpha}^{(3)} = 3,8$ bo'ladi.

Shuning uchun I o'yinchi A_1 strategiyani tajriba natijalari qanday bo'lishidan qat'iy nazar optimal strategiya sifatida tanlaydi.

Yuqoridagi hisoblashlarda $R(B_1) = 0,42$; $R(B_2) = 0,3$; $R(B_3) = 0,28$ ekanligi aniqlandi. Shuni hisobga olib, tajriba o'tkazilish natijasida olish mumkin bo'lgan yutuqning o'rtacha qiymatini topamiz:

$$\bar{\alpha}^* = 3,62 \cdot 0,42 + 4,73 \cdot 0,3 + 3,8 \cdot 0,28 = 4,003.$$

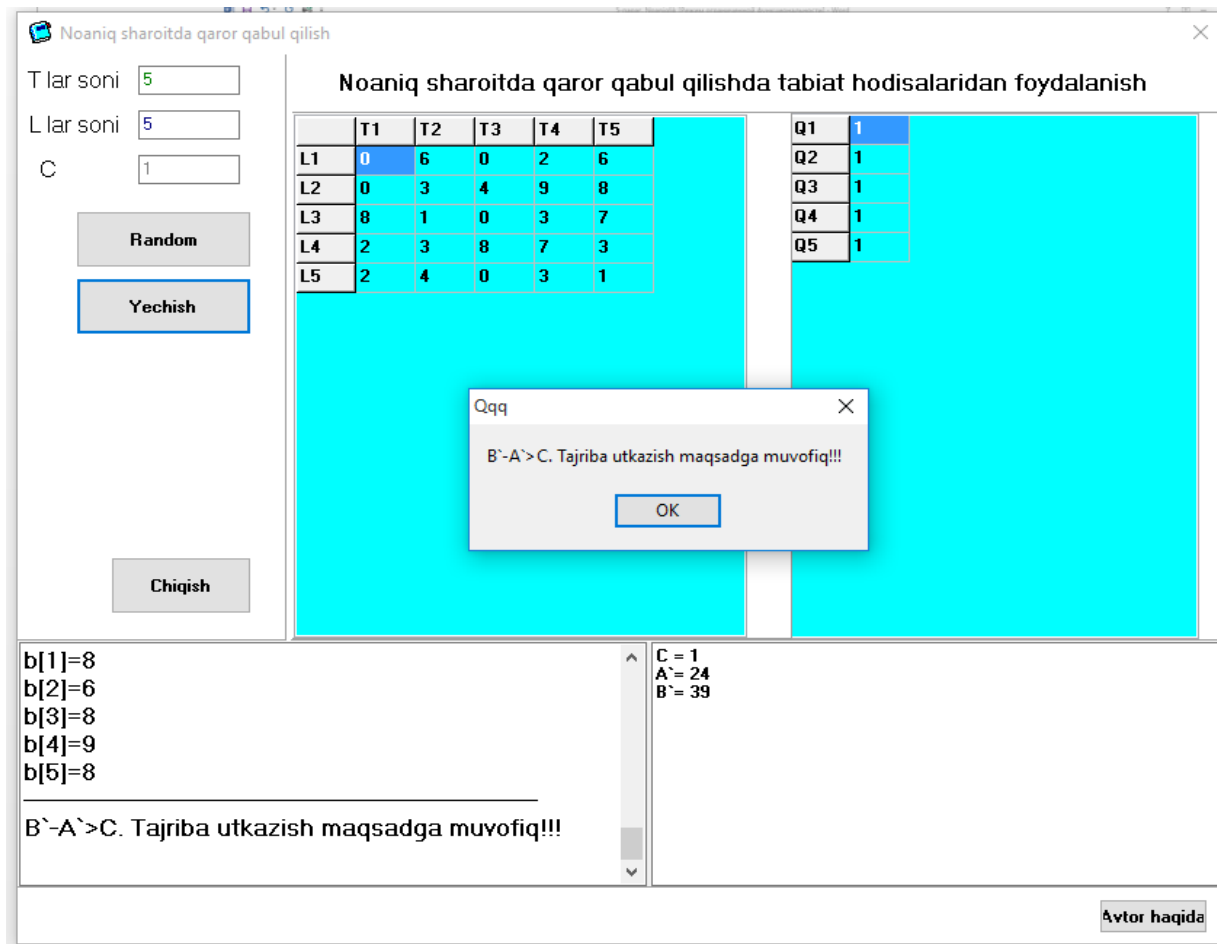
Yuqoridagi misolni yechish jarayonida topilgan natijadan foydalanib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\bar{\alpha}^* - \max_i \sum_{j=1}^4 a_{ij} Q_j = 4,003 - 4 = 0,003.$$

Demak, $s=1,5 > \bar{\alpha}^* - \max_i \sum_{j=1}^4 a_{ij} Q_j = 0,003$ bo'lgani uchun tajriba

o'tkazish maqsadga muvofiq emas.

Dasturiy ta'minoti. Interfeys oynada boshlang'ich qiymatlar kiritiladi va dastur yordamida tajriba o'tkazish maqsadga muvofiqligi yoki muvofiqmasligi aniqlanadi (5.18-rasm).



5.18-rasm. Dastur yordamida olingan natijalar.

Nazorat savollari

1. Hodisalar oqimi nima va ularning qanday tiplari mavjud?
2. Markov tasodifiy jarayoni va modelining mohiyatini tushuntiring?
3. Yashirin Markov modelining mohiyatini tushuntiring?
4. Monte-Karlo usulining mohiyatini tushuntiring?
5. Monte-Karlo usulining qo'llanilishiga misollar keltiring?
6. O'yinchining strategiyasi qanday qoidalar majmuiga aytiladi?
7. Matritsaviy o'yin va Alfa-betta parchalanishning mohiyatini tushuntiring?
8. O'yinning egar nuqtasi qanday aniqlanadi?
9. Matritsaviy o'yin qanday soddalashtiriladi?

10.Noaniqlik sharoitida optimal strategiyani tanlashning qanday mezonlarini bilasiz?

11.Noaniqlik sharoitida tajribani o'tkazish masalasini yechish algoritmini tushuntiring?

Test savollari

1. Hodisalar oqimi – bu..... hodisalar ketma-ketligidir;
 - a) turli vaqt momentlarida birin-ketin paydo bo'ladigan bir jinsli;
 - b) turli vaqt momentlarida birin-ketin paydo bo'ladigan ikki jinsli;
 - c) bir xil vaqt momentlarida birin-ketin paydo bo'ladigan bir jinsli;
 - d) bir xil vaqt momentlarida birin-ketin paydo bo'ladigan ikki jinsli.
2. Agarda tasodifiy jarayonda tizimning har bir navbatdagi holatga o'tish ehtimolligi faqat oldingi holatga bog'liq bo'lsa, u holda bunday jarayon deyiladi.
 - a) Markovning oddiy zanjiri; b) Markovning murakkab zanjiri;
 - c) Eriarxik jarayon; d) Eng oddiy jarayon.
3. O'yinchining strategiyasi deb – ... yo'lini belgilovchi qoidalar majmuiga aytiladi.
 - a) har bir shaxsiy yurishda o'yin jarayonida yuz bergan vaziyatdan kelib chiqib tadbir variantini tanlash;
 - b) har bir o'yin jarayonida yuz bergan variantini tanlash;
 - c) har bir shaxsiy yurishda o'yin jarayonida yuz bergan vaziyatdan kelib chiqib;
 - d) har bir o'yin jarayonida yakunida yuz bergan variantini tanlash.
4. Agar juft o'yinda bir o'yinchining yutug'i ikkinchisining yutqazig'iga teng bo'lsa, bunday o'yindeb ataladi.
 - a) nol yig'indili o'yin; b) teng yig'indili o'yin; c) juft o'yin;
 - d) antagonistik o'yin.
5. Jarayoni Markov jarayoni deyiladi, agarda tizimning bunday holatga qanday kelganligiga bog'liq bo'lmasa.
 - a) ixtiyoriy t_0 vaqt momenti uchun tizimning keyingi ixtiyoriy holatlari ehtimoli ($t > t_0$) uning hozirgi holatiga bog'liq ($t = t_0$) bo'lib;
 - b) ixtiyoriy t_n vaqt momenti uchun tizimning hozirgi holatiga bog'liq ($t = t_0$) bo'lib;
 - c) ixtiyoriy t vaqt momenti uchun tizimning keyingi ixtiyoriy holatlari ehtimoli ($t > t_0$) uning dastlabki holatiga bog'liq ($t = t_m$) bo'lib;
 - d) ixtiyoriy t_0 vaqt momenti uchun tizimning keying ixtiyoriy holatlari ehtimoli ($t > t_0$) bo'lib.

6. Markovning murakkab zanjirining matematik ifodasini aniqlang?

a) $P_{i(i+1)} = f(S_i, S_{i-1}, S_{i-2}, \dots)$; b) $P_{i(i+1)} = f(S_i)$;

c) $P(0) = \langle P_{01}, P_{02}, \dots, P_{0n} \rangle$; d) $P_i(k) = \sum_{j=1}^n P_j(k-1)P_{ij}$.

7. Yashirin Markov modeli uchun Markov xossasini aniqlang?

a) t vaqt momentidagi $x(t)$ o'zgaruvchining qiymati faqat $(t-1)$ vaqt momentidagi $x(t-1)$ o'zgaruvchining qiymatidan bog'liq bo'ladi;

b) ixtiyoriy t_0 vaqt momenti uchun tizimning keying ixtiyoriy holatlari ehtimoli ($t > t_0$) uning joriy holatiga bog'liq bo'lmaydi;

c) ixtiyoriy t_0 vaqt momenti uchun tizimning keying ixtiyoriy holatlari ehtimoli ($t > t_0$) uning ($t = t_0$) momentida yakunlanadi;

d) t vaqt momentidagi $x(t)$ o'zgaruvchining qiymati $x(t-1)$ o'zgaruvchining qiymatiga teng.

8. Monte-Karlo usuli bu -

a) ko'p sonli stoxastik (tasodifiy) jarayonlarni amalga oshirishga asoslangan sonli usullar guruhining umumiy nomidir;

b) ko'p sonli oddiy (tasodifiy) jarayonlarni amalga oshirishga asoslangan usuldir;

c) sonli usullar yordamida stoxastik (tasodifiy) jarayonlarni amalga oshirishga asoslangan usul;

d) sonli usullar yordamida oddiy (tasodifiy) jarayonlarni amalga oshirishga asoslangan usullar guruhining umumiy nomidir.

9. Qaror qabul qilish (QQQ) mezonini bu -

a) QQQ ning tanlagan baholash funksiyasi bo'lib, unga ko'ra qarorning maqbul yoki optimal variantini tanlash qoidasidir;

b) umumiy baholash funksiyasi bo'lib, unga ko'ra qarorning to'g'ri yoki noto'g'ri variantini aniqlaydi;

c) QQQ ning eng optimal funksiyasi bo'lib, unga ko'ra qarorning optimal variantini tanlash imkonini yuzaga keladi;

d) barcha javoblar to'g'ri.

10. β parchalanish bo'yicha o'yinning yuqori bahosi (minimaksi) qanday ifoda bo'yicha topiladi.

a) $\beta = \min_{j=1,n} \max_{i=1,m} a_{ij}$; b) $\beta = \min_{j=1,n} \max_{i=1,m} a_{i0}$; c) $\beta = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij}$;

d) Bunday ifoda mavjud emas.

Masala va topshiriqlar

1. S tizim avtomashina bo'lib, beshta mumkin holatlardan bittasida bo'lishi mumkin: S_1 – soz, ishlayapti; S_2 – nosoz, ko'rikdan o'tishni kutayapti; S_3 – ko'rikdan o'tayapti; S_4 – ta'mirlanayapti; S_5 – ta'mirlashdan chiqdi. Ushbu tizimning holatlarini o'tish grafi ko'rinishda tasvirlang?

2. S texnik qurilma ikkita I va II liniyalardan iborat bo'lib, ulardan ixtiyoriy bittasi tasodifiy vaqt momentida ishlamasligi mumkin. Bu holda tizimda quyidagi holatlar bo'lishi mumkin: S_{11} – ikki liniya ham ishlayapti; S_2 – birinchi liniya ishlamayapti, ikkinchi liniya ishlayapti; S_3 – ikkinchi liniya ishlamayapti, birinchi liniya ishlayapti; S_4 – ikki liniya ham ishlamayapti. Jaroyan davomida liniyalar ta'mirlanmaydi deb faraz qilib, S tizimning holatlarini o'tish grafi ko'rinishda tasvirlang?

3. S texnik qurilma ikkita I va II liniyalardan iborat bo'lib, ulardan ixtiyoriy bittasi tasodifiy vaqt momentida ishlamay (nosoz) qolishi mumkin. S da har bir liniya tuzatilguncha nosozlikni tugatish uchun ko'rikdan o'tishi kerak bo'ladi. Bu holda S da I va II liniyalar birgalikda qaralsa va har bir liniya: ishlayapti, ko'rikdan o'tayapti, tuzatilayapti holatlaridan iborat bo'lsa, u holda S tizimda mumkin bo'lgan barcha holarlarni aniqlang va ularga mos o'tish grafini hosil qiling?

4. Aytaylik, tomonlari birga teng bo'lgan kvadratning ichiga chizilgan tekis figura berlgan bo'lsin. Monte-Karlo usulidan foydalanib kvadratning ichiga chizilgan tekis figuraning yuzasini toping?

5. To'lov matritsasi quyidagi jadvalda keltirilgan o'yinning egar nuqtasini toping?

	B_1	B_2	B_3	B_4	α_i
A_1	5	5	4	5	4
A_2	8	6	2	3	2
A_3	4	5	4	5	4
β_j	8	6	4	5	

6. O'yinda muvozzavat vaziyat (egar nuqta) bor yoki yuqligini tekshiring, bor bo'lsa egar nuqtani va maksimin, minimaks strategiyalarni toping.

$$1) H = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 5 & 6 \\ 2 & 1 & 7 & 8 \\ 1 & 6 & 7 & 9 \end{pmatrix}; \quad 2) H = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 5 & 6 \\ 1 & 0 & 6 & 7 \\ 5 & 1 & 5 & 4 \end{pmatrix}; \quad 3) H = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 5 & 9 \\ 0 & 1 & 6 & 5 \\ 3 & 2 & 4 & 3 \end{pmatrix}; \quad 4) H = \begin{pmatrix} 5 & 1 & 4 & 8 \\ 4 & 2 & 5 & 3 \\ 5 & 4 & 3 & 7 \end{pmatrix};$$

$$\begin{aligned}
5) H &= \begin{pmatrix} 5 & 0 & 3 & 7 \\ 3 & 1 & 4 & 2 \\ 3 & 2 & 4 & 5 \end{pmatrix}; 6) H = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 5 & 3 \\ 3 & 1 & 1 & 4 \\ 5 & 0 & 4 & 3 \end{pmatrix}; 7) H = \begin{pmatrix} 6 & 1 & 3 & 2 \\ 8 & 2 & 5 & 4 \\ 7 & 3 & 6 & 7 \end{pmatrix}; \\
8) H &= \begin{pmatrix} 5 & 0 & 2 & 3 \\ 6 & 1 & 5 & 6 \\ 7 & 3 & 7 & 9 \end{pmatrix}; 9) H = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 0 & 6 \\ 1 & 3 & 2 & 1 \end{pmatrix}; 10) H = \begin{pmatrix} 5 & 1 & 6 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \\ 8 & 3 & 4 & 7 \end{pmatrix}; 11) H = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 2 & 4 \\ 3 & 2 & 5 & 6 \\ 6 & 4 & 7 & 8 \end{pmatrix}; \\
12) H &= \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 5 \\ 0 & 5 & 0 & 6 \\ 4 & 8 & 3 & 1 \end{pmatrix}; 13) H = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 6 \\ 1 & 5 & 2 \\ 4 & 2 & 1 \\ 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}; 14) H = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 6 \\ 4 & 5 & 1 \\ 2 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix}; 15) H = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 6 \\ 1 & 5 & 2 \\ 4 & 2 & 1 \\ 3 & 0 & 2 \end{pmatrix}; \\
16) H &= \begin{pmatrix} 1 & 7 & 6 & 0 \\ 3 & 2 & 2 & 1 \\ 8 & 3 & 4 & 0 \end{pmatrix};
\end{aligned}$$

7. Quyidagi $m \times n$ o'yinni soddalashtirib, 2×2 o'yinga keltiring va uni aralash strategiyalarda yeching.

$$\begin{aligned}
1) H &= \begin{pmatrix} 2 & 1 & -1 & 0 \\ 3 & 2 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & 3 & 4 \end{pmatrix}; 2) H = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 3 \\ -1 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 2 \end{pmatrix}; 3) H = \begin{pmatrix} -1 & 2 & 0 \\ 3 & 1 & 4 \\ 2 & -2 & 3 \\ -2 & 2 & -2 \end{pmatrix}; \\
4) H &= \begin{pmatrix} -1 & 4 & 5 \\ 3 & -2 & 1 \\ 1 & -3 & 0 \\ -2 & 2 & 2 \end{pmatrix}; 5) H = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 \end{pmatrix}; 6) H = \begin{pmatrix} -1 & 2 & 0 \\ 3 & 1 & 4 \\ 2 & -2 & 3 \\ -2 & 2 & -2 \end{pmatrix}; 7) H = \begin{pmatrix} -2 & -4 & 4 & 5 \\ 2 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 2 \end{pmatrix}; \\
8) H &= \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 \\ 3 & 1 & 4 \\ 2 & -2 & 3 \\ 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}; 9) H = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 2 & 0 \\ -2 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & -2 & 1 & 1 \end{pmatrix}; 10) H = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 4 & 3 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}; 11) H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 3 & 0 & 4 \\ -2 & 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}; \\
12) H &= \begin{pmatrix} -4 & 3 & 1 \\ 2 & -1 & 3 \\ -5 & 1 & 0 \end{pmatrix}; 13) H = \begin{pmatrix} -2 & 2 & 2 \\ -1 & -2 & 0 \\ -2 & -3 & -1 \\ -3 & 1 & 0 \end{pmatrix}; 14) H = \begin{pmatrix} -2 & -3 & 1 \\ -3 & 1 & 0 \\ -4 & 0 & -1 \\ -3 & -4 & 0 \end{pmatrix}; 15) H = \begin{pmatrix} -2 & -3 & 1 \\ -3 & 1 & 0 \\ -4 & 0 & -1 \\ -3 & -4 & 0 \end{pmatrix};
\end{aligned}$$

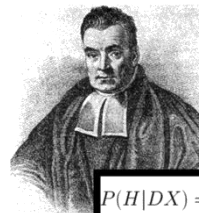
8. Quyidagi $2 \times m$ o'yinni yeching.

$$\begin{aligned}
1) H &= \begin{pmatrix} 3 & 1 & 3 \\ 1 & 2 & -1 \end{pmatrix}; & 2) H &= \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & -1 \end{pmatrix}; & 3) H &= \begin{pmatrix} 2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & -1 \end{pmatrix}; & 4) H &= \begin{pmatrix} 1 & 3 & -1 & 2 \\ -1 & 1 & 1 & 5 \end{pmatrix}; \\
5) H &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & -2 \\ 3 & -2 & 2 & 1 \end{pmatrix}; & 6) H &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & -3 \end{pmatrix}; & 7) H &= \begin{pmatrix} 3 & 1 & 3 & -2 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}; & 8) H &= \begin{pmatrix} 2 & -1 & 1 \\ 1 & 4 & 3 \end{pmatrix}; \\
9) H &= \begin{pmatrix} -1 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 3 & -1 & 2 \end{pmatrix}; & 10) H &= \begin{pmatrix} 2 & -1 & 1 \\ -1 & 2 & 1 \end{pmatrix}; & 11) H &= \begin{pmatrix} 2 & 2 & -1 \\ 4 & -2 & 2 \end{pmatrix}; & 12) H &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & -2 & -2 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix};
\end{aligned}$$

6-BOB. MASHINALI O'QITISH VA MA'LUMOTLARNING INTELLEKTUAL TAHLILI

1-§. Bayes ehtimolligi

Evristik qoidalar - ekspert tomonidan shakllantirilgan qoidalaridir. Ko'plab evristik asosida faqatgina ekspert hisoblay oladigan, yani o'z muammoli sohasidagi farazlarni asoslay oladigan ma'lum hodisalarni yuzaga kelish ehtimolligi yotadi. Haqiqatda esa bu qandaydir farazlarni qilish imkoniyatini beradigan statistik ma'lumotlar mavjudligini anglatadi. Bemorni kuzatish asosida vrach tomonidan qo'yiladigan tashxis bunga misol bo'lishi mumkin. Ko'p hollarda vrach tajribasi bemorning kasalligini yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi. Albatta vrach xato qilishi ehtimoli mavjud, shuning uchun odatda boshqa tashxislar ham qaraladi.



qoidalar
ekspert

$$P(H|DX) = \frac{P(H|X) \times P(D|HX)}{P(D|X)}$$

Bayes biror hodisa avval boshqa bir hodisa sodir etilganligi uchun ro'y berishiga bog'liq tasdiqqa asoslanuvchi ehtimollik uslubiyatini ishlab chiqdi. ETlarda Bayes nazariyasiga tayanuvchi statistik yechimlar keng qo'llaniladi.

Tashxislovchi ETlar inson faoliyatining turli (tibbiyot, texnika, iqtisodiyot va boshqa) sohalarida keng qo'llaniladi. Asosan ularda predmet sohasi haqidagi bilimlarning mahsuliy modeli ishlatiladi. Biroq, agar statistik ma'lumotlarning "Tushunchalar va ular orasidagi bog'liqliklar" haqidagi qoidalariga asosan qo'llash imkoniyati mavjud bo'lsa, u holda u yoki bu belgi(belgi)lari mavjudligini tekshirish natijalarining aposterior ehtimollarini hisoblash uchun mashhur Bayes teoremasini qo'llash juda ham maqsadga muvofiq bo'ladi.

Ehtimollikka quyidagicha ta'rif berish mumkin [12, 16].

$$P = \frac{\text{natijasi hodisaga keluvchi tajribalar soni}}{\text{tajribalarning umumiy soni}}, \quad 0 \leq P \leq 1.$$

Bayes ehtimolligi. Bayes shartli ehtimollik nazariyasini yaratish bilan shug'ullangan. Shartli ehtimollik tajribalarning ma'lum bo'lgan natijalarini hisobga oladi.

Shartli ehtimollik - bu qandaydir B hodisaning sodir etilganligi aniq bo'lganda biror A hodisaning ro'y berish ehtimolidir. Shartli ehtimollik $P(A/B)$ kabi belgilanadi.

Bayesli yondashuvda bilimlar bazasining har bir faktining ishonchlik darajasi noldan birgacha qiymat qabul qiluvchi ehtimollik bilan baholanadi. Dastlabki faktlarning ehtimoli statistik sinovlar usuli yoki ekspertlar so'roviga ko'ra aniqlanadi.

B dalil (fakt) va A gipotezaning birgalikdagi sodir etilish $P(A,B)$ ehtimoli - A gipotazalarni shartsiz $P(A)$ ehtimolini A gipoteza kuzatilganda B dalil(fakt)ning sodir etilganligining shartli ehtimoliga ko'paytmasiga teng bo'ladi [33, 60]:

$$P(A, B) = P(A)P(B/A);$$

Bayes qoidasiga asosan xulosalash ehtimoli B hodisa (dalil) sodir etilganda, A hodisa(gipotaza)larning $P(A/B)$ aposteriorli shartli ehtimolini hisoblashni aniqlaydi [12, 16]:

$$P(A/B) = \frac{P(A,B)}{P(B)},$$

bu yerda $P(B)$ - B dalil(fakt)ning shartsiz (apriorli) ehtimoli; $P(A,B)$ - B dalil va A gipotezaning birgalikdagi sodir etilish ehtimoli.

Misol. 1100 raqamlar birikmasidan tasodifiy ravishda yoki 1, yoki 0 tanlansin. Shartli ehtimollik tenglamasini qo'llagan holda, 2 ta urinishda avval 0 raqmi, keyin esa 1 raqami kelishi ehtimolini hisoblash mumkin

$$P(0 \text{ va } 1) = P(1/0) \times P(0).$$

0 raqmini tanlash ehtimoli $P(0) = 2/4$, chunki birikmada to'rttadan ikkitasi 0 raqmi. 0 va 1 raqmlarini tanlash ehtimoli $P(0 \text{ va } 1) = 2/3$,

$$P(0 \text{ va } 1) = \frac{2}{3} \times \frac{2}{4} = \frac{1}{3} \text{ aniqlanadi.}$$

Bayes formulasi. Aytaylik $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ gipotezalarning birortasi sodir etilganligi natijasida A hodisa sodir etilgan bo'lsin. U yoki bu hodisaning sodir etilishning ehtimoli qanday aniqlanadi?

Agar A hodisa sodir etilgan deb hisoblaak, u holda ushbu gipotezaning ehtimoli Bayes formulasi yordamida quyidagicha aniqlanadi [17, 20]:

$$P(A/B_1) = \frac{P(A)P(B_1/A)}{P(B_1)}, \text{ - } B_1 \text{ gipoteza sodir etilganda } A \text{ hodisaning}$$

sodir etilish ehtimoli;

$$P(A/B_2) = \frac{P(A)P(B_2/A)}{P(B_2)}, \text{ - } B_2 \text{ gipoteza sodir etilganda } A \text{ hodisaning sodir}$$

etilish ehtimoli;

.....

$$P(A/B_n) = \frac{P(A)P(B_n/A)}{P(B_n)}, \text{ - } B_n \text{ gipoteza sodir etilganda } A \text{ hodisaning}$$

sodir etilish ehtimoli.

Bu yerda $P(B_1), P(B_2), P(B_3), \dots, P(B_n)$ - apriorli (sinovgacha baholangan) ehtimol; $P(B_1/A), P(B_2/A), P(B_3/A), \dots, P(B_n/A)$ - bu A hodisaning sodir etilganligini hisobga olgan holda hisoblanadigan gipotezalarning aposteriorli (sinovdan keyin baholangan) ehtimollari.

Umumiy holda $P(A, B)$ aposteriorli ehtimolni hisoblaydigan *Bayes formulasini* quyidagi shaklda taqdim etish mumkin

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(B)}, \quad (6.1)$$

bu yerda $P(A)$ - A gipotezaning apriorli ehtimoli; $P(A/B)$ - B hodisa sodir etilganda A gipotezaning sodir etilish ehtimoli (aposteriorli ehtimoli); $P(B/A)$ - A gipotezaning sodir etilganligi chin bo'lganda B hodisaning sodir etilish ehtimoli; $P(B)$ - B hodisani sodir etilishining to'liq ehtimoli.

Bayes formulasining mazmuni: B hodisa sodir etilganda A gipotezani sodir etilishining ehtimoli-bu A gipotezaning apriorli $P(A)$ ehtimolini A gipotezani sodir etilganligi chin bo'lganda B hodisaning sodir etilish $P(B/A)$ ehtimoliga $P(A)P(B/A)$ ko'paytmasini B hodisaning sodir etilish $P(B)$ ehtimoliga bo'linmasiga teng.

Bayes formulasining «Fizik manosi» va terminologiyasi. Bayes formulasi «sabab va oqibat o'rnini almashtirish» ni ifodalashga imkonoyat yaratadi: yani oldindan ma'lum bo'lgan dalil asosida hodisaning sodir etilganligidan shunday ehtimol hisoblanadiki, ushbu ehtimol sabab bilan bo'g'liq bo'ladi.

Ushbu holatda «sabab» harakatini aks ettiruvchi hodisalar-gipoteza(faraz)lar deb ataladi, yani ular bor narsadan sodir etilishi kutilayotgan hodisalar hisoblanadi. Gipotezalar haqiqiylikning shartsiz ehtimoli-*apriorli ehtimol* deyiladi. Hodisalarning sodir etilganlik dalilining shartsiz ehtimoli-*aposteriorli ehtimol* deyiladi.

(6.1) formulaning amaliy qo'llanilishini oddi misolda tushuntiramiz. Aytaylik, A qandaydir kasallik, B esa uning belgisi (belgii) bo'lsin. U holda A kasallikning aprior ehtimoli $P(A) = N_A/N$ formula bilan aniqlanishi mumkin, bu yerda N_A - qandaydir xududda A kasallikga ega bo'lgan odamlar soni; N -xududdagi barcha odamlar soni. Xuddi yuqoridagidek, $P(B)$ ehtimol ham $P(B) = N_B/N$ kabi aniqlanadi, bu eda N_B - B belgi kuzatilayotgan odamlar soni, N -barcha odamlar soni. Odatda

$P(A)$ va $P(B)$ ehtimolliklarning qiymatlari ekspertlar tomonidan tushuntiriladi.

$P(B/A)$ ehtimollik A kasallikga ega bo'lgan bemorda B belgining mavjudligiga mos keladi. Uning qiymati ham ekspertlarning so'rov usuli yordamida aniqlanadi.

Misol. Ob-havoni bashoratlash masalasini yechishda bayesli tahlildan foydalanishni qaraymiz.

Aytaylik, yomg'ir yog'ish ehtimoli 30% ga teng. Odatdagi kunda bulutlarning paydo bo'lish ehtimoli ham ma'lum bo'lib, u 50% tashkil etadi. Shuningdek, yomg'ir yog'ish ehtimoli 100% bo'lganda bulutlarning paydo bo'lish ehtimoli ham 100% ni tashkil etadi, chunki agar yomg'ir yog'sa, u holda har qanday holatda ham osmonda bulut bo'ladi.

Demak, bizda quyidagi axborotlar mavjud:

$P(A)$ = yomg'ir yog'ish ehtimoli = 30%; $P(B)$ = bulut bo'lish ehtimoli = 50%; $P(B/A)$ = yomg'ir yoqqanda bulut bo'lish ehtimoli = 100%.

Agar osmonni bulut qoplasa, uholda yomg'ir yog'ish ehtimolini topamiz. Navbatdagi kun ertalab osmonni bulut qoplad. Bu holda yomg'ir yog'ish ehtimoli quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(B)} = \frac{30\% \cdot 100\%}{50\%} = \frac{300\%}{50\%} = 60\%.$$

Demak, yomg'ir yog'ishni bashoratlash ehtimoli 60% ni tashkil etadi.

Misol. Sportda yaxshi natijalarga erishishni Bayesli tahlilda qaraymiz.

Masalan, bizni Paxtakor ishtirokidagi o'yin qiziqtiradi va biz o'ylaymizki ushbu o'yinda Paxtakorning g'alaba qilish imkoniyatlari айтрайт bo'yicha 50% ni tashkil etadi. Shuningdek, bizga ma'lumki, Paxtakor ishtirokida o'tkazilgan o'yinlarda yomg'ir yog'ish ehtimoli 10% ni, Paxtakor ishtirokida o'tkazilgan o'yinlarda Paxtakor yutganda yomg'ir yog'ish ehtimoli 11% ni tashkil etgan.

Shunday qilib:

$P(A)$ = Paxtakor g'alabasining apriorli ehtimoli = 50%;

$P(B)$ = Paxtakor o'yinida yomg'ir yog'ishning ehtimoli = 10%;

$P(B/A)$ = Paxtakor yutganda yomg'ir yog'ish ehtimoli 11%.

Demak, Paxtakor ishtirokidagi navbatdagi o'yinda yomg'ir yog'ganda Paxtakorning g'alaba qilish ehtimolini quyidagi formula bilan hisoblaymiz:

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(B)} = \frac{50\% \cdot 11\%}{10\%} = \frac{550\%}{10\%} = 55\%.$$

Bayesning kengaytirilgan formulasi. Ko'p hollarda hodisalar fazosi $(\{A_i\})$ $P(A_i)$ va $P(B/A_i)$ terminlarda aniqlanadi. Xuddi shu holatda masalalarda va statistik ilovalarda ehtimollari yig'indisi 1(bir)ga teng bo'lgan bir nechta birgalikdama gipotezalardan bo'g'liq hodisalarning to'liq ehtimoli $P(B)$ quyidagicha hisoblanadi:

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i)P(B/A_i),$$

bu yerda yig'indi ostidagi ehtimolliklar oldindan ma'lum yoki tajribali baholash yordamida olinadi.

Agar $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_n)$ apriorli ehtimolliklar bilan berilgan bog'liq bo'lmagan $A_1, A_2, \dots, A_n$ gipotezalarning to'liq guruhi qaralayotgan bo'lsa, u holda B dalil asosida har bir A_i gipotezaning aposteriorli ehtimoli quyidagi formula yordamida aniqlanadi [20, 33, 60]:

$$P(A_i/B) = \frac{P(A_i)P(B/A_i)}{P(B)} = \frac{P(A_i)P(B/A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B/A_i)}. \quad (6.2)$$

(6.2) formula $B_1, B_2, \dots, B_m$ dalillar uchun ham o'rinli bo'ladi:

$$P(A_i/B_j) = \frac{P(A_i)P(B_j/A_i)}{P(B_j)} = \frac{P(A_i)P(B_j/A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B_j/A_i)} \quad (6.3)$$

Bu formula Bayes gipotezasining teoremasi deb ataladi. Xususiyl holda (6.3) formulani

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(A)P(B/A) + P(1-A)P(B/(1-A))};$$

Misol. Tibbiy tashxis qo'yishda bemorda temperaturaning oshganligi kuzatilganligi uchun uning angina bilan kasallanganligining ehtimolini hisoblash talab etiladi. Agar bemor angina bilan kasallangan bo'lmasa, u holda u "anginamas", masalan sog'lom bo'ladi. (6.3) ning xususiyl holdagi formulasidan foydalanib, ushbu masala uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$P(Angina/Harorat) = \frac{P(Angina) \times P(Harorat/Angina)}{P(Angina) \times P(Harorat/Angina) + P(Anginamas) \times P(Harorat/Anginamas)}$$

$P(Angina)$ va $P(Harorat/Angina)$ aprior ehtimolliklar ushbu joydan tibbiy statistik tahlil natijasida olingan bo'lishi mumkin. Agar poliklinikadagi yozuvlar asosida 10000 bemordan ushbu davrda 7000 tasi angina bilan kasallangan bo'lsa, u holda apriorli ehtimollik $P(Angina) = N_B/N = 7000/10000 = 0,7$. Tibbiy adabiyotlarni o'rganish xulosasiga ko'ra $P(Harorat/Angina) = 0,8$ o'rnatish mumkin.

Endi

$$P(\text{Anginamas})=1- P(\text{Angina})=1-0.7=0.3;$$

$$P(\text{Harorat/Anginamas})=1- P(\text{Harorat/Angina})=1-0.8=0.2$$

aniqlanadi. Ba'zi hollarda $P(\text{Harorat/Anginamas})$ qiymat ekspertlar tomonidan ham aniqlanishi mumkin.

Demak

$$F(\text{Angina/Harorat}) = \frac{0.7 \times 0.8}{0.7 \times 0.8 + 0.3 \times 0.2} = \frac{0.56}{0.62} \approx 0.90$$

2-§. Bayesli to'rlar

Bayesli to'r(BT) – bu yo'naltirilgan to'r bo'lib, ushbu to'rning har bir tuguni sonli ehtimoliy axborotlar bilan belgilanadi. Bunday to'rlarning to'liq tasnifi quyida keltirilgan [4,16].

1. To'rning tugunlari tasodifiy (diskretli yoki uzluksiz) o'zgaruvchilarning to'plami hisoblanadi.

2. Tugunlar yo'naltirilgan yoylar yoki strelkali yoylar bilan birlashtiriladi. Agar yoydagi strelka X tugundan Y tugunga yo'naltirilgan bo'lsa, u holda X tugun Y tugun uchun boshlang'ich tugun deb ataladi.

3. Har bir X_i tugun boshlang'ich tugunlarning ushbu tuganga ta'sirini sonli baholaydigan shartli ehtimollar taqsimoti $P(X_i / Parents \{X_i\})$ bilan xarakterlanadi.

4. Yo'naltirilgan yoylardan iborat graf sikllarga ega bo'lmaydi.

Barcha talabalarga yaqin bo'lgan sodda **misolni** ko'rib chiqaylik [17]. Imtihonni (Pass) topshirish uchun unga tayyorgarlik ko'rish kerak (Study) yoki shpargalkadan (Cheat) foydalanish kerak. Shunday qilib, 3 mantiqiy o'zgaruvchilari mavjud. Imtihonni muvaffaqiyatli topshirish ehtimolini aniqlash talab etiladi.

Agar oddiy hodisalarning ehtimollari oldindan ma'lum bo'lgan hollarda $2 \times 2 \times 2$ –o'lchovli jadval shaklida tavsivlangan (6.1-jadval) to'liq birgalikdagi taqsimot asosida ehtimolli xulosalash usulidan foydalanish mumkin.

6.1-jadval.

	Study		-Study	
	Cheat	-Cheat	Cheat	-Cheat
Pass	0.15	0.4	0.04	0.06
-Pass	0.01	0.04	0.05	0.25

Barcha ehtimollar yig'indisi bunga teng. Har bir katakchada oddiy hodisaning roy berish ehtimoli berilgan. Bu ehtimol natijaviy bo'lib,

o'zida barcha faktorlarni saqlaydi. Masalan, imtihonni muvaffaqiyatli topshirish ehtimoli 0.4 imtihonga tayyorgarlik ehtimoli va talabaning shpargalkadan foydalanmaganlik ehtimolini hisobga oladi.

Murakkab hodisalarning ehtimollari jadvalning mos qatorlari yoki ustunlarining yig'indilarini hisoblash orqali aniqlanadi.

Imtihonga tayyorgarlik ehtimoli jadvalning chap katachalarining yig'indisiga teng bo'lib, quyidagi hodisalarga mos keladi: 1) o'qidi, shpargalkadan foydalanmadi va topshirdi; 2) o'qidi, shpargalkadan foydalandi va topshirdi; 3) o'qidi, shpargalkadan foydalandi va topshirmadi; 4) o'qidi, shpargalkadan foydalanmadi va topshirmadi):

$$P(\text{Study}) = 0.15 + 0.4 + 0.01 + 0.04 = 0.6. \quad (6.4)$$

Shpargalkadan foydalanganlik ehtimoli jadvaldagi birinchi va uchinchi ustunlar yig'indisiga teng:

$$P(\text{Cheat}) = 0.15 + 0.01 + 0.04 + 0.05 = 0.25. \quad (6.5)$$

Imtihonni topshirish ehtimoli jadvalning birinchi qatordagi kataklarning yig'indisiga teng, yani: 1) o'qidi, shpargalkadan foydalandi va topshirdi; 2) o'qidi, shpargalkadan foydalanmadi va topshirdi; 3) o'qimadi, shpargalkadan foydalandi va topshirmadi; 4) o'qimadi, shpargalkadan foydalanmadi va topshirdi:

$$P(\text{Pass}) = 0.15 + 0.4 + 0.04 + 0.06 = 0.65. \quad (6.6)$$

Odatda, alohida o'zgaruvchilarning ham chinligini baholash mumkin.

Masalan, (6.4) da $P(\text{Study}) = 0.6$ (40% holatlarda imtihonga tayyorgarlik ko'rishdan ko'ra boshqa muhim ishlar mavjud), (6.5) da $P(\text{Cheat}) = 0.25$ (shpargalkadan foydalanish imkoniyati to'rtidan birga teng).

Bu ehtimollar apriorli yoki shartsiz ehtimollar deb ataladi. Ular boshqa ma'lumotlar bo'lmaganda o'zida mulohazalarni chinligining ishonchlik darajasini nomoyon qiladi.

Birinchi qarshda (6.4) va (6.5) formulalardan imtihon topshirish ehtimolini topish osondek tuyuladi

$$P(\text{Study}) + P(\text{Cheat}) = 0.6 + 0.25 = 0.85. \quad (6.7)$$

Haqiqatda esa bu masala murakkab masala hisoblanadi. *Study* va

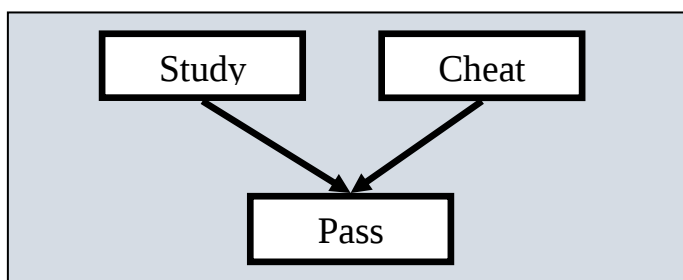
Cheat hodisalari bir vaqta sodir etilishi mumkin. **Masalan**, 1) materialni o'rganib olgan bo'lishi mumkin va shu bilan birgalikda ehtiyotkorlik nuqtai nazaridan shpargalkadan ham foydalanishi mumkin; 2) Materialning hammasini o'rganib olgan bo'lsada, imtihon topshira olmasligi mumkin (o'qituvchi har bir so'zdan ayb topishi mumkin); 3) Imtihonni tayyorgarlik ko'rmasdan va shpargalkasiz topshirish mumkin (omadi kelishi mumkin).

Birgalikda sodir etiladigan hodisalar ehtimolini topish uchun shartli ehtimolga ega bo'lish zarur. **Masalan**, $P(\text{Pass}/\text{Study})$ –to'liq tayyorlanish sharti bilan imtihonni topshirish ehtimoli. Umumiy holda A hodisaning sodir etilish ehtimoli

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A/B_i)P(B_i),$$

bu yerda $P(B_i)$ - B_i hodisalarning apriorli ehtimollari, $P(A/B_i)$ - B_i hodisalar chin bo'lgan shartda A hodisaning shartli ehtimoli. Shartli ehtimol bir-biri bilan bog'liq bo'lgan hodisalarni bog'laydi. Agar biz *to'rtinchi o'zgaruvchi – quyoshli ob-havoni* ham kiritsak, u holda $P(A/\text{Sunny})$ tipdagi shartli ehtimollikni ham berishimiz kerak. Haqiqiy vaziyatda biz buning hisobiga masalaning *o'lchovi kattalashib ketishi muammosi bilan to'qnash kelamiz*.

Bunday muammolarni yechish uchun BTlardan foydalanamiz. BTlar o'zgaruvchilarning bir-biri bilan bo'g'liqligini o'rnatadi va to'liq birgalikdagi taqsimotni hisoblashni qisqartiradi. 6.1-rasmda yuqorida qaralgan misol uchun BT keltirilgan.



6.1-rasm. Bayesli to'r

Ta'kidlaymizki, bizning modelimizda *Study* va *Cheat* o'zgaruvchilar bog'liqmas o'zgaruvchilar hisoblanadi. *Boshqa model ham bo'lishi mumkin, masalan, imtihonda shpargalkadan foydalanish imtihonga tayyorgarlikning bo'lmaganligi bilan bo'g'liq bo'lshi mumkin. Bu masala keyinroq qaraladi.*

To'ning har bir tuguniga tasodifiy o'zgaruvchi mos keladi. Tugunlar yo'naltirilgan yo'ylar bilan birlashtiriladi. Agar strelka A dan B ga yo'naltirilgan bo'lsa, u holda A tugun B tugun uchun boshlanish tugun deyiladi. Har bir X_i tugun $P(X_i / \text{Parents}(X_i))$ shartli ehtimollar taqsimoti bilan xarakterlanadi. $P(X_i / \text{Parents}(X_i))$ shartli ehtimollar taqsimoti boshlang'ich tugunning qolgan tugunlarga ta'sirini sonli baholaydi. Biz qarayotgan misolda quyidagi shartli ehtimollar ma'lum deb qaraladi: 1) *tayyorgarlik va ehtiyotkorlik nuqtai nazaridan shpargalkadan foydalanish yordamida imtihon topshirish ehtimoli -1.0 (bir)ga teng*; 2) *tayyorgarlik va*

shpargalkadan foydalanmasdan imtihon topshirish ehtimoli - 0,889 ga teng; 3) shpargalkadan foydalanish sharti bilan tayyorgarliksiz imtihon topshirish ehtimoli - 0,4 ga teng; 4) tayyorgarliksiz va shpargalkasiz imtihon topshirish ehtimoli - 0,2 ga teng (omadi kelishi mumkin).

Bayes to'rlaridan foydalanishning asosiy yutug'i shundan iboratki, bunda har qanday holat ehtimoli barcha tugunlarga emas, balki faqat bir-biriga yaqin tugunlarga bog'liq:

$$P(X_i / X_{i-1}, X_{i-2}, \dots, X_1) = P(X_i / \text{Parents}(X_i)).$$

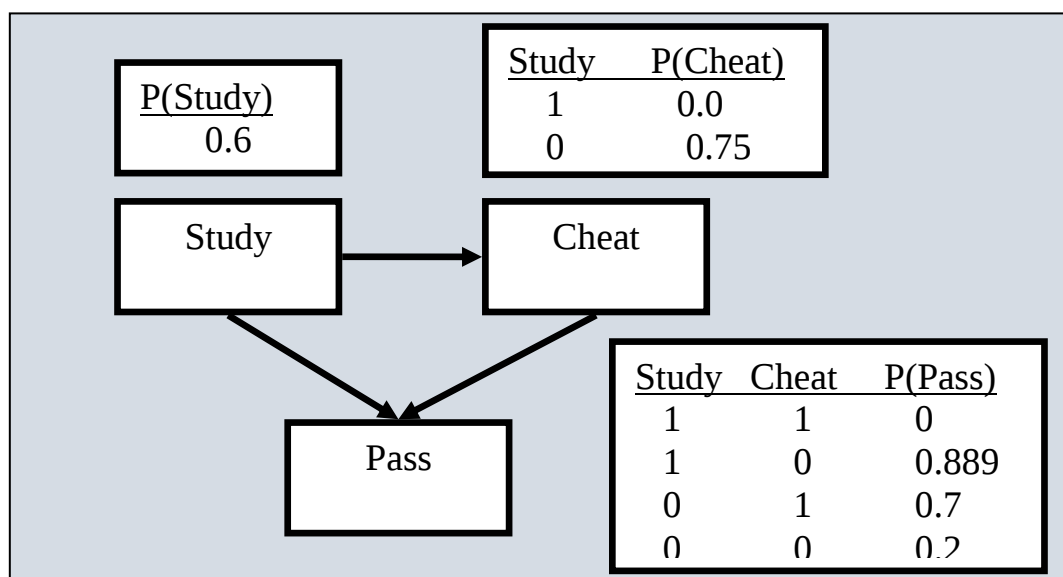
Qaralgan misolda *Study* tuguni quyidagi bog'langan hodisalar uchun oxirgi natija bo'lishi mumkin: talaba darsga qatnashdi, konspekti bor, kompyuterga ruxsati bor, u vaqtga ega va h.k. Ushbu hodisalar natijasida biz imtihonga tayyorgarlik faktiga ega bo'lamiz. *Cheat* – shpargalkadan foydalanish hodisasi ham bir qator hodisalardan iborat bo'lishi mumkin: vaqtning, texnik vositaning, spargalkadan yashirin holatda foydalanish uchun buyum mavjudligi. Umuman olganda to'liq birgalikdagi taqsimotni hisoblash uchun barcha hodisalarning shartli ehtimollarini bilish kerak. Bizga esa imtihon topshiroish uchun $P(\text{Study})$ va $P(\text{Cheat})$ ehtimollarni bilish yetarli hisoblanadi.

Yuqorida keltirilgan qoida *zanjirli qoida* deb ataladi. Ushbu qoida asosida strelka yo'nalishi bo'yicha ketma-ket siljib, hodislarning ehtimollarini hisoblash yetarli hisoblanadi. Ushbu misolda biz imtihon topshirish ehtimolini hisoblashimiz mumkin:

$$\begin{aligned} P(\text{Pass}) &= P(\text{Pass} / \text{Study}, \text{Cheat}) \times P(\text{Study}) \times P(\text{Cheat}) + \\ &+ P(\text{Pass} / \text{Study}, \neg \text{Cheat}) \times P(\text{Study}) \times P(\neg \text{Cheat}) + \\ &+ P(\text{Pass} / \neg \text{Study}, \text{Cheat}) \times P(\neg \text{Study}) \times P(\text{Cheat}) + \\ &+ P(\text{Pass} / \neg \text{Study}, \neg \text{Cheat}) \times P(\neg \text{Study}) \times P(\neg \text{Cheat}) = \\ &= 1.0 \times 0.6 \times 0.25 + 0.889 \times 0.6 \times 0.75 + 0.4 \times 0.4 \times 0.25 + 0.2 \times \\ &\times 0.4 \times 0.75 = 0.65 \end{aligned}$$

Bu misolda Bayes to'rlaridan *foydalanishning yutug'i* hisoblashlar murakkabligi uchun unchalik sezilmaydi, chunki BTlar zanjiri unchalik uzun emas.

Ikkinchi faktor – bu *Study* va *Cheat* o'zgaruvchilarning bog'liqligisizligi. Tajribali talabalar ehtimollarning ba'zi haqiqatga o'xshamaydigan tomonlarini sezishi mumkin: imtihonga shpargalka yordamida tayyorgarlik ko'rish sharti ularning imtihon paytida ushlanish va imtihondan haydab chiqarilish riskini qoshadi. Mantiqni quyidagicha o'zgartiramiz. Talaba faqat shundagina shpargalkadan foydalanishga harakat qiladi, agarda u imtihonga tayyorgarlik ko'rmagan bo'lsa. Bu holda BT 6.2-rasmdagidek o'zgaradi.



6.2-rasm. Bayesli to'ra.

Imtihonga tayyorgarlik bo'lganda shpargalkadan foydalanishning shartli ehtimoli - 0 (nol) va tayyorgarlik bo'lmaganda shpargalkadan foydalanishning shartli ehtimoli - 0.75 ga teng.

Ehtimol

$$P(\text{Pass} / \text{Study}, \text{Cheat}) = 0.$$

$P(\text{Cheat})$ va $P(\neg\text{Cheat})$ hisoblaymiz:

$$P(\text{Cheat}) = P(\text{Cheat} / \neg\text{Study}) \times P(\neg\text{Study}) = 0.75 \times (1 - 0.6) = 0.3$$

$$P(\neg\text{Cheat}) = 1 - P(\text{Cheat}) = 0.7$$

Endi zanjirli qoidadan foydalanib imtihonni muvaffaqiyatli topshirish ehtimolini hisoblaymiz:

$$\begin{aligned} P(\text{Pass}) &= P(\text{Pass} / \text{Study}, \neg\text{Cheat}) \times P(\text{Study}) \times P(\neg\text{Cheat}) + P(\text{Pass} / \neg\text{Study}, \text{Cheat}) \times P(\neg\text{Study}) \times P(\text{Cheat}) + P(\text{Pass} / \neg\text{Study}, \neg\text{Cheat}) \times \\ &P(\neg\text{Study}) \times P(\neg\text{Cheat}) = 0.889 \times 0.6 \times 0.7 + 0.7 \times 0.4 \times 0.3 + 0.2 \times 0.4 \times 0.7 = 0.513. \end{aligned}$$

BTlar *teskari masalani yechishga* ham imkoniyat yaratadi. Masalan, talabani imtihonni muvaffaqiyatli topshirganligi ma'lum. Talab qilinadi, talabani imtihonga tayyorlanganlik ehtimolini aniqlash. Buning uchun Bayesning (6.1) qoidasidan foydalaniladi..

Bizning misolimizda imtihonni muvaffaqiyatli topshirganlik ehtimoli $P(\text{Pass}) = 0.513$; Imtihonga tayyorgarlik ko'rib topshirish ehtimoli $P(\text{Pass} / \text{Study}, \neg\text{Cheat}) = 0.889$; Imtihonni tayyorgarlik ko'rib va shpargalkasiz topshirish ehtimoli $P(\text{Study}, \neg\text{Cheat}) = 0.6 \times 0.7 = 0.42$.

U holda

$$\begin{aligned} P(\text{Study}, \neg\text{Cheat} / \text{Pass}) &= P(\text{Pass} / \text{Study}, \neg\text{Cheat}) \times P(\text{Study}, \neg\text{Cheat}) / P(\text{Pass}) = 0.889 \times 0.6 \times 0.7 / 0.513 = 0.727. \end{aligned}$$

Endi shpargalka yordamida imtihon topshirish ehtimolini topamiz:

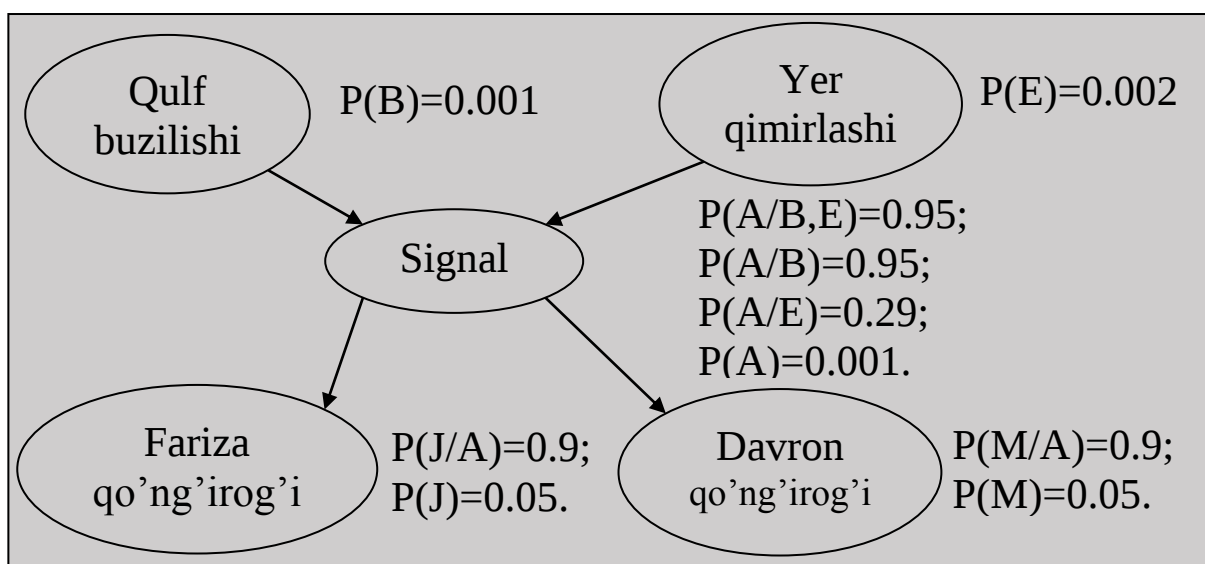
$$P(\neg Study, Cheat / Pass) = P(Pass / \neg Study, Cheat) \times P(\neg Study, Cheat) / P(Pass) = 0.7 \times 0.4 \times 0.3 / 0.513 = 0.164.$$

Va nihoyat, omadi kelganligi uchun imtihonni topshirish ehtimolini topamiz:

$$P(\neg Study, \neg Cheat / Pass) = P(Pass / \neg Study, \neg Cheat) \times P(\neg Study, \neg Cheat) / P(Pass) = 0.2 \times 0.4 \times 0.7 / 0.513 = 0.109.$$

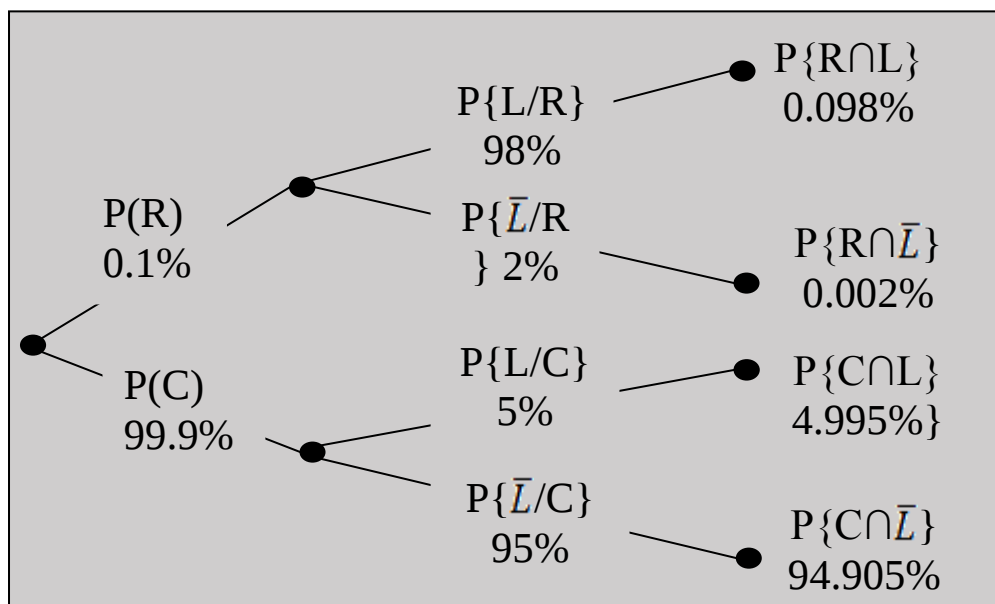
Shunday qilib, BTlar murakkab masalalarning dekompozitsiyasini ta'minlaydi va shartli ehtimollar to'plamini berish zarurligidan xolos qiladi.

Misol. Shaxar atrofida yashovchi Zarrux o'zining uyiga qulfning buzib ochilganligini bilish uchun yangi himoyalovchi signalizatsiyani o'rnatdi. Ushbu signalizatsiya qulfning buzib ochilganligini aniq bilishi bilan birgalikda ba'zi hollarda kuchli bo'lmagan yer qimirlashini ham sezadi. Zarruxning ikkita Fariza va Davron qo'shnilari bo'lib, ular xavotirli signal bo'lganda Zarruxga telefonda qo'ngiroq qilishga va'da bergan. Fariza xavotirli signalni eshitsa hamma vaqt Zarruxga qo'ng'iroq qiladi, lekin ba'zi hollarda qo'ng'iroq qilishda adashadi va ushbu holatda ham Zarruxga qo'ng'iroq qiladi. Davron musiqani baland ovozda eshitishni yoqtiradi va shuning uchun ba'zi hollarda xavotirli signalni sezmay qoladi. Zarrux qo'shnilari Fariza va Davrondan qaysi biri qo'ng'iroq qildi yoki qo'ng'iroq qilmaganligi haqidagi faktlarga ega bo'lsa, u holda qulfning buzilganligi ehtimolini baholash talab etiladi (6.3-rasm).



6.3-rasm.. Bayesli to'r.

Misol. Daraxtsimon diagtammada chastotali misol namoyish etilgan (6.4-rasm.). Bu yerda R , C , L va $\bar{L}$ (L chiziqcha) hodisalar. Qavsdagi protsentlar hisoblanadi.

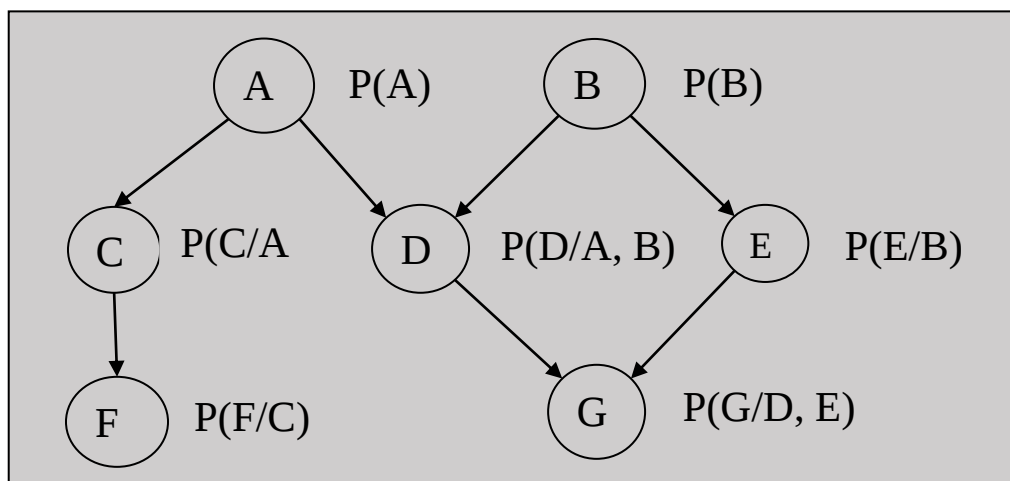


6.4-rasm. Daraxtsimon Bayesli to'r.

Misol. Quyidagi boshlang'ich farazlar asosida keltirilgan misolni qaraymiz:

$$P(A, B, C, D, E, F, G) = P(A)P(B)P(C/A)P(D/A, B)P(E/B)P(F/C)P(G/D, E).$$

Ushbu ifodaning BTni quyidagi sxema yordamida tasvirlaymiz (6.5-rasm). Bu rasmda to'rning tugunlarida o'zgaruvchilarning qiymatlari ko'rsatilgan, strelkalar yordamida ushbu tugun qiymati yana qaysi tugunlardagi o'zgaruvchilarga ta'sir etishi ko'rsatilgan. BTlar parametrlari qiymatlarni ehtimolli taqsimlash parametrlari deb ataladi. Taqsimlash qonunidan foydalanib tugunlarning vaznli koeffitsiyentlarini aniqlash mumkin.



6.5-rasm. A, B, C, D, E, F, G o'zgaruvchilarning birlashgan taqsimotini tasvirlovchi BT.

Ishonchli Bayes to'rlarining turlari. Ishonchli Bayes to'rlaridan (Bayesian Belief Network) merosli noaniqliklar bilan xarakterlanadigan

sohalarda foydalaniladi. Bu noaniqliklar quyidagi sabalarga ko'ra vujudga keladi [4,16]:

- 1) predmet sohani to'liq tushunmaslik;
- 2) bilimlarning to'liqligligi;
- 3) masala tasodifiy xarakterga ega bo'lganda.

Shunday qilib, ishonchli Bayes to'rlari qandaydir ma'noda noaniqliklardan iborat holatlarni modellashtirish uchun qo'llaniladi.

BTlarning qo'llanilishi. BTlarning qo'llanilish sohalariga ehtimolliklar bilan ishlaydigan ekspert tizimlar kiradi. Shuningdek, quyidagi sohalarda ham keng qo'llaniladi [16]:

- Tibbiyot (Path Finder, MUNIN, Painulim, SWAN);
- Kosmos va armiya (Vista);
- Kompyuterlar va tizimli DT (Office tizimi), printerlar ishlashi, boshqa ma'lumotlar beradigan va wizard-tizimostilari muammolari;
- Tasvirlarni ishlash va video (ikki o'lchovli dinamik axborotlardan uch o'lchovli sahnalarni tiklash, videosignallardan yuqori tiniqlikdagi statistik tasvirlarni sintez qilish);
- Mablag' va iqtisod.

3-§. Ma'lumotlarning intellektual tahlili

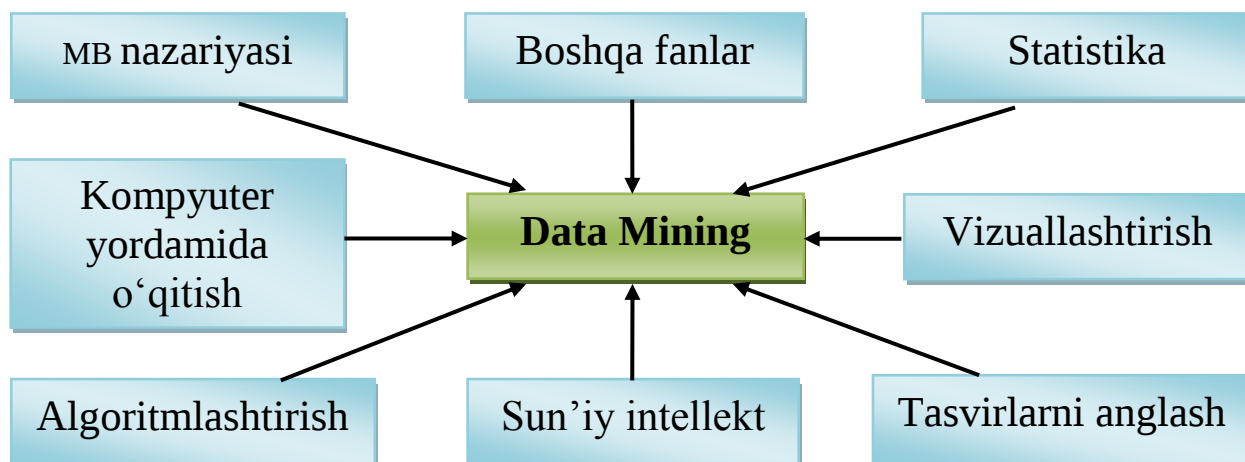
3.1. Data Mining – ma'lumotlarning intellektual tahlili

Data Mining (DM) ma'lumotlarni intellektual tahlil qiluvchi texnologiya hisoblanib, amaliyotda keng qo'llanilib kelinmoqda. DM odatda ikki xil ma'noni bildiradi, ya'ni katta hajmdagi ma'lumotlar bazasi (MB)dan kerakli ma'lumotlarni qidirib topish hamda katta hajmdagi ishlov berilmagan materialni mazmunan tadqiq qilish demakdir. DM ma'lumotlarni intellektual tahlili, qonuniyatlarini topish muhiti, bilimlarni kengaytirish, shablonlarni tahlil qilish, MBdan bilimlarni axborot tarkibini aniqlash va h.k. kabi ma'nolarni anglatadi.

DM tushunchasi 1978-yillarda vujudga kela boshladi va 1990-yillarning birinchi yarim yillarida zamonaviy talqinda yuqori ommaboplikka erishildi. DM baza ustida amaliy statistika, obyektlarni klaster, SI, MB nazariyasi va boshqa shunday fanlar singari vujudga kelgan va rivojlanib borayotgan multitadqiqot muhitdir (6.6-rasm).

DM-ma'lumotlardan yashirin qonuniyatlarni (axborotlar shablonlarini) aniqlab qaror qabul qilishga asoslangan jarayondir.

Bu texnologiyaning mohiyati va maqsadi katta hajmdagi ma'lumotlardan ma'lum bo'lmagan obyektiv va amaliy foydali qonuniyatlarni aniqlash uchun mo'ljallangan.



6.6-rasm. DM multitadqiqot muhitining tuzilishi.

Ma'lum bo'lmalik – topilgan qonuniyat axborotini qayta ishlashning standart usullari yoki ekspert yo'llari bilan aniqlanmaydi.

Obyektiv – aniqlangan qonuniyatlar haqiqatga to'liq mos keladi va ekspertli mulohazalardan farqi uning hamma vaqt subyektiv bo'lmaligidadir.

Amaliy foydali – amaliy qo'llanilish qonuniyatlari topilganda tahlil qilinayotgan ma'lumotlar aniq qiymatlarga ega bo'ladi.

Bilimlar – tavsiflanadigan manbaalar, fan sohalari, muammolar va h.k. haqida ba'zi bir xulosalarni beradigan ma'lumotlar yig'indisidir.

Bilimlardan foydalanish aniq afzalliklarga erishish uchun topilgan bilimlarning amaliy qo'llanilishi tushuniladi.

Ma'lumotlar to'plami va ularning atributlari. Keng ma'noda ma'lumot tushunchasi faktlar, matnlar, chizmalar, rasmlar, ovozlar, analogli yoki raqamli video tasvirlarni o'zida aks ettiradi.

Ma'lumotni o'lchovlar, tajribalar, arifmetik va mantiqiy amallarni bajarish jarayonida olinishi mumkin.

Ma'lumotlarni saqlash, uzatish va qayta ishlash qulay bo'lishi uchun ularni ma'lum bir obyektlar majmuasi shaklida tasvirlash kerak.

Obyektni atributlar to'plami deb ta'riflash mumkin. Obyekt yozuv, hodisa, misol, jadvalning qatori va h.k. bo'lishi mumkin va ular ma'lum bir o'zgaruvchilar orqali namoyon etiladi.

Atribut obyektning xususiyatini ifodalovchi ma'lumot yoki ma'lumotlar majmuasidir.

O'zgaruvchi – bir obyekt xususiyatlariga ko'ra boshqa bir obyekt

hosil qiluvchi tushunchadir.

Ma'lumotlar tahlili davomida juda katta hajmdagi ma'lumotlarni o'rganish qimmatli jarayonlarni, ko'p vaqt sarflanishini talab etishini hamda inson faktorlari hisobga olinsa ushbu jarayonda muqarrar xatoliklar yuz berishi mumkin.

Ma'lumotlarning barcha to'plamlarining ba'zi bir qismlari to'liq qarab chiqilib, ya'ni *tanlanmalar* asosida ulardan qiziqarli axborotlar olinib xulosa hosil qilinadi.

O'lchovlar–aniqlangan qoidaga muvofiq o'rganilayotgan obyektlar xususiyatlarining miqdoriy ko'rsatkichidir.

Ma'lumotlarni tayyorlanish jarayoni obyekt bilan emas uning xususiyatlari bilan o'lchanadi.

Shkala–DMning ko'p uskunalari boshqa manbalardan ma'lumotlarni import qilishi davomida har bir o'zgaruvchi uchun shkalalar turini tanlashi va kiruvchi hamda chiquvchi (belgili, sonli, diskretli va uzluksiz) o'zgaruvchilar uchun ma'lumotlar turini tanlash ko'rsatkichidir. O'lchovlarning besh turdagi shkalalari mavjud: nominal, tartibli, oraliqli, nisbiy va dixotomik.

Nominal shkala (nominal scale) – faqat kategoriyalardan tuziladigan shkaladir, uning ma'lumotlari tartiblanmasligi mumkin va bu shkalalar ustida hech qanday arifmetik harakatlarni o'tkazib bo'lmasligi mumkin.

Bu *shkala* nomlanishlar, kategoriyalar, obyektlarning sinflarga ajratilishi va tartiblanishi yoki ba'zi belgilar bo'yicha kuzatishlar uchun qo'yilgan nomlardan tuziladi.

Unga misol: ranglar, kasblar, yashash joyi, oilaviy ahvoli va shu kabilar.

Bu shkalalar uchun faqat tenglik (=) va teng emas ($\neq$) operatsiyalari qo'llaniladi.

Tartiblangan shkala (ordinal scale) – obyektning nisbiy holatini belgilash uchun xizmat qiladigan obyektlardan o'zlashtiriladigan sonlar shkalasidir, lekin ular orasidagi farq kattaliklari mavjud emas.

Shkala o'lchovlarga o'zgaruvchilar qiymatlarini safga tizish (ranjirovat) imkoniyatini beradi. Tartibli shkaladagi o'lchovlar faqat keladigan kattaliklarning tartiblanganligi haqidagi axborotlardan tuziladi, lekin «bir kattalik boshqasidan qanchalik katta» yoki «u qanchalik boshqasidan kichik» deb mulohaza yuritishga yo'l qo'ymaydi.

Tartiblangan shkalaga misol: guruhning musobaqada olgan o'rni (1-, 2-, 3-), talabaning qobiliyatlik reytingidagi tartib raqami (1-, 15- va h.k.)

keltirilgan bo'lsin. Bu bilan bir talabaning boshqasidan qanchalik qobiliyatligini aniqlab bo'lmaydi, uning faqat reytingdagi raqamigina ma'lum xolos.

Bu shkalalar uchun faqat tenglik ($=$), teng emas ($\neq$), katta ($>$), kichik ($<$) operatsiyalari ishlatish mumkin.

Oraliqli shkala (interval scale) – bu shkala ikki kattlik orasidagi farqni topishga ruxsat beradi, nominal va tartibli shkalalarning xususiyatlariga ega bo'ladi, hamda belgilarning miqdoriy o'zgarishlarini aniqlashga ruxsat beradi.

Nominal va tartibli shkalalar diskret, oraliqli shkala esa uzluksiz bo'ladi. U belgining aniq o'lchovlarini amalga oshirishga ruxsat beradi va qo'shish, ayirish, ko'paytirish, bo'lish arifmetik operatsiyalari bajariladi.

Bu shkala uchun faqat tenglik ($=$), teng emas ($\neq$), katta ($>$), kichik ($<$), qo'shish ($+$), ayirish ($-$) operatsiyalaridan foydalaniladi.

Nisbiy shkala (ratio scale) – aniqlangan sanoq boshida va shkalalar qiymatlari orasidagi munosabatlarda mavjud bo'lgan shkaladir.

Ma'lumotlar to'plamining turlari va ularni saqlash formatlari.
Eng ko'p uchraydigan ma'lumotlar bu yozuvlardan tashkil topgan ma'lumotlardir (record data). Bunday ma'lumotlar to'plamiga jadvalli ma'lumotlar, matrisali ma'lumotlar, hujjatli ma'lumotlar, tranzaksiyali yoki operatsiyali ma'lumolarni kiritamiz.

Jadvalli ma'lumotlar – fiksirlangan atributlar to'plamidan tuzilgan yozuvlardan iborat bo'lgan ma'lumotlardir.

Tranzaksiyali ma'lumotlar – har bir yozuv qiymatlari to'plami bilan tranzaksiya bo'lib keladigan ma'lumotlarning alohida turini anglatadi. Tranzaksiyali ma'lumotlar bazasiga - magazinda xaridorlarning qilgan savdolaridan tuzilgan ro'yxatni misol qilib olishimiz mumkin.

Grafikli ma'lumotlarga misol sifatida WWW-ma'lumotlari, molekular strukturasi, grafalar, kartalar va shu kabilarni keltirish mumkin.

Hozirgi vaqtda ma'lumotlarning asosiy xususiyatlaridan biri – bu ularning juda ko'p o'zgarishi natijalarida qaytadan tuzilishidir. Ma'lumotlar bilan ishlashning to'rtta jihati mavjud: ma'lumotni aniqlash, hisoblash, manipulyasiya qilish va qayta ishlash (yig'ish, uzatish va h.k.)

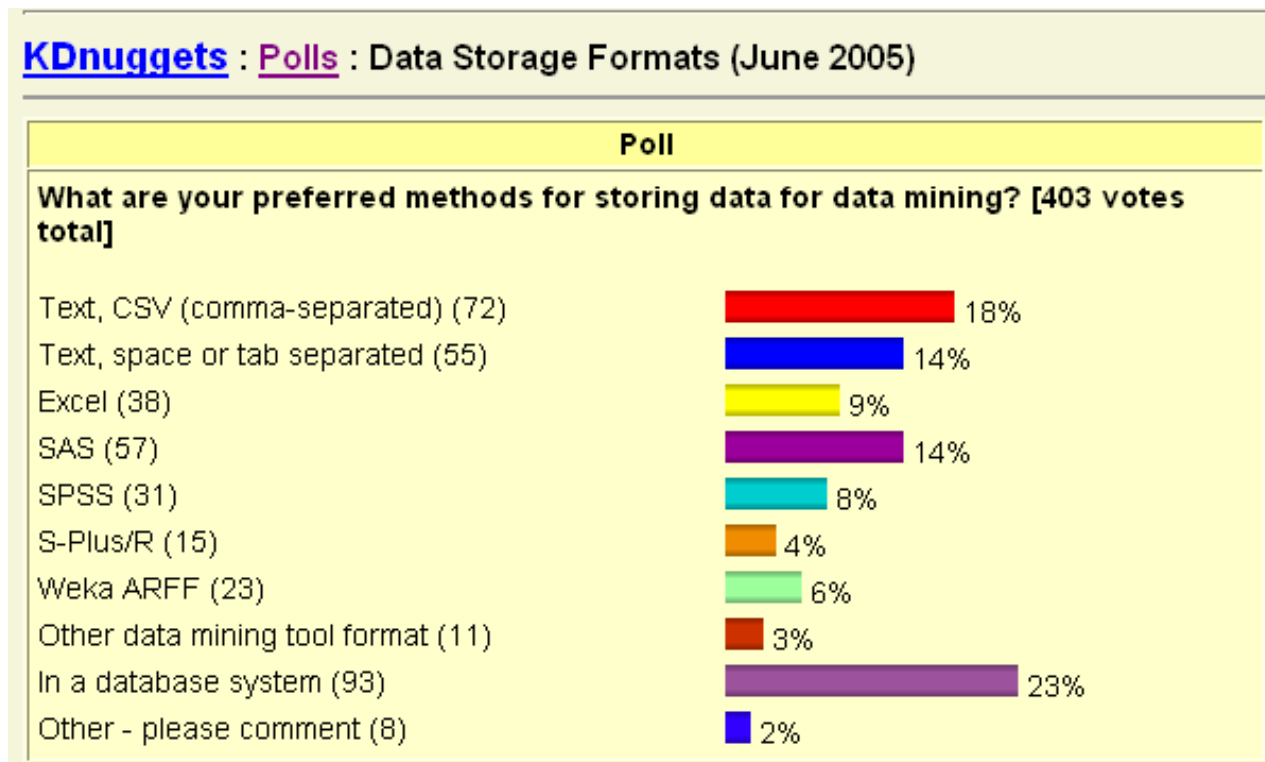
Manipulyasiya qilingan ma'lumotlar orqali «fayl» tipidagi ma'lumotlar strukturasiidan foydalaniladi. Fayllar har xil formatga ega bo'lishi mumkin.

Aytib o'tilganidek, DMning aksariyat instrumentlari turli xil

manbalardan ma'lumotlarni import qilishga ruxsat beradi hamda natija sifatida olingan ma'lumotlarni turli xil formatga eksport qiladi.

Tajribalar uchun ma'lumotlarni qandaydir yagona formatda saqlash qulay bo'ladi. DMning ba'zi instrumentlaridagi protseduralar ma'lumotlarning importi/eksporti deb ataladi. Boshqalari esa turli ma'lumotlar manbalarini tog'ridan-tog'ri ochish imkonini beradi va DM natijalarini ko'rsatilgan formatlardan biriga saqlaydi.

Ma'lumotlarni saqlash formatlari eng keng tarqalgani 6.7-rasmda tasvirlangan. So'roqlar sonining eng ko'pi 23% bo'lib, ular ma'lumotlar bazasi formatida saqlanadigan ma'lumotlarni tashkil etgan. Text, CSV formatlari - 18%, 14% li so'roqlarni Text, space or tab separated i SAS formatlarida saqlanadigan ma'lumotlar; 9% Excel formatida, SPSS da - 8%, S-Plus/R da - 4%, Weka ARFF da- 6% va Data Mining instrumentlarining boshqa formatlarida - 2% ni tashkil etgan. So'roqlar natijasida ko'rinib turganidek, DM uchun eng ko'p saqlangan ma'lumotlar formati bu ma'lumotlar bazasini ko'rsatadi.



6.7-rasm. Ma'lumotlarni saqlash bo'yicha eng ko'p tarqalgan formatlar.

Metama'lumotlar. Metama'lumotlar – bu ma'lumotlar haqidagi ma'lumotlardir. Uning tarkibiga kataloglar, ma'lumotnomalar, reyestrlarni kiritishimiz mumkin.

Metama'lumotlar – ma'lumotlar tarkibidagi xabarlarni tashkil etadi: tuzilishi, kelib chiqishi, joylashishi, sifati, tasvirlanishi, formatlari va

shakllari, murojaat etish mumkinligi shartlari, olinishi va foydalanilishi va boshqalar.

Ma'lumotlarni saqlanish joyida qo'llaniladigan metama'lumotlar uning o'rnatilishi va foydalanilishi uchun zaruriy axborotlardan tuziladi. Ular biznes-

metama'lumotlar va tezkor metama'lumotlarga bo'linadi.

Biznes-metama'lumotlar–biznes-terminlari va ta'riflari, ma'lumotlarning belgilari va saqlanish xizmatida to'lov qoidalaridan tashkil etiladi.

Tezkor metama'lumotlar – ma'lumotlarni saqlanishi vaqtida yiilgan axborotlardir:

- Ma'lumotlarning ko'chirilishi va o'zgartirilishini;
- Ma'lumotlardan foydalanish haq-huquqi (faollashtirish, arxivlangan va o'chirilgan)
- Monitoring ma'lumotlari - statistika foydalanadigan; xatoliklar haqidagi xabar va boshqalar

Data Mining uslublari va bosqichlari. DMning asosiy xossasi bu – keng matematik instrumentlarni (avvalgi statistik tahlildan hozirgi yangi kibernetik uslublarga bo'lgan) birgalikda olib borish va AT sohasidagi yutuqlarga erishish. DM texnologiyasida qat'iy formallashgan uslublari va uslublarning formallashmagan tahlillari birlashadi.

DM ning uslublari va algoritmlariga quyidagilar aloqador bo'ladi: sun'iy NTlari, qaror yoki yechimlar daraxti, simvolli qoidalar, qo'shniga yaqinlashish va k ta yaqin qo'shni uslublari, tayanch vektorlar uslubi, bayes tarmoqlari, chiziqli regressiya, korrelyasion-regression tahlil, klaster tahlilida iyerarxik uslublari, klaster tahlilida iyerarxik bo'lmagan uslublari, shu bilan birga k-o'rtacha va k-medianalar algoritmlari, assosiyativ qoidalarni qidirish uslublari, shu bilan birga Aprior algoritmi, chegaralangan birmabir tekshirish (perebor) uslubi, evolyusion dasturlash va genetik algoritmlar, ma'lumotlarni vizuallashtirishning har xil turdagi uslublari va boshqa uslublari to'plamlari.

DM texnologiyalarida ishlatiladigan aksariyat analitik uslublari - bu aniq bo'lgan matematik algoritmlar va uslublardir. Ularning qo'llanilishidagi yangiliklar ularga texnikaviy va dasturiy muhitlarning shartli ravishda paydo bo'ladigan imkoniyatlari u yoki bu aniq muammolarni yechishda foydalanadigan imkoniyatlarni vujudga keltiradi. Ta'kidlab o'tish kerakki, DMning aksariyat uslublari SI nazariyasi doirasida ishlab chiqilgan.

3.2. Klasterlash

Masalaning qo'yilishi. Masalaning qo'yilishi standart shaklda [2], ya'ni $S_1, S_1, \dots, S_m$ obyektlar to'plamidan iborat T_{nm} tanlov (n – obyektlardagi belgilar soni, m – obyektlar soni) berilgan bo'lsin. T_{nm} tanlovdagi j – obyektning $S_j = a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jm}$ ($j = 1, m$) obyektlardagi belgilar alfavitini berish mumkin.

T_{nm} tanlovdagi $S_1, S_1, \dots, S_m$ larning belgilar alfaviti binar, uzukliksiz sonlar, kesmadagi nuqtalar va nominal (sifatli ko'rsatkichlar) belgilardan iborat bo'lishi mumkin.

T_{nm} tanlovdagi $S_1, S_1, \dots, S_m$ larni o'qituvchisiz va o'zini-o'zi o'rganish jarayonida sinflarga ajratishdan, ya'ni T_{nm} dan T_{nm} tanlovni hosil qilishdan iborat, bu yerda l - hosil qilinishi kerak bo'lgan klasterlar soni. Obyektlarni sinflarga ajratishda optimal yechimga ega bo'lish uchun sinflarga ajratuvchi R funksiya minimal $I(R) = \min$ qiymatga ega bo'lishi kerak.

$S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamini sinflashda ikkita hol bo'lishi mumkin. Birinchisi $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamini oldindan ma'lum bo'lgan sinflarga bo'lish bo'lsa, ikkinchisi $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamini sinflashda sinflar soni l ma'lum bo'lmaydi. Ikkinchi holda hosil qilinadigan sinflar soni l ma'lum bo'maganda $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plami avtomatik ravishda sinflarga yoki guruhlariga ajratiladi, bunda sinflar yoki guruhlar soni l obyektlar to'plami $S_1, S_1, \dots, S_m$ ni sinflash jarayonida hosil bo'ladi.

Sinflash sifatining mezoni quyidagi talablarning bajarilishini taqozo etadi [2,22]:

a) bir guruhda joylashgan obyektlar bir-biriga masofasi bo'yicha yaqin joylashgan bo'lishi kerak, ya'ni bir guruhda joylashgan obyektlar orasidagi masofa turli guruhlarda joylashgan obyektlar orasidagi masofaga nisbatan kichik bo'lishi zarur;

b) turli guruhlarda joylashgan obyektlar bir-biridan uzoqda joylashgan bo'lishi, ya'ni turli guruhlarda joylashgan obyektlar orasidagi masofa bir guruhda joylashgan obyektlar orasidagi masofadan katta bo'lishi zarur.

Obyektlarning aprior alfavitini hosil qilish. Obyektlarni sinflash tizimlarini yaratishda eng asosiy masalalardan biri – bu obyektlarning

belgilarini aniqlashdan iborat. Obyektlarning bu belgilaridan ularni sinflarga ajratishda foydalaniladi. Belgilarning quyidagi turlari mavjud:

1. Determinalli belgilar – bu obyektlarning shunday xarakteristikalar bo‘lib, ular aniq va doimiy sonli qiymatlarga ega bo‘ladi.

2. Ehtimolli belgilar – bu obyektlar xarakteristikalar tavakkalli (ehtimolli) xarakterga bo‘ladi. Bunday belgilar ko‘proq tabiat va texnikada uchraydi. Bu belgilar bir vaqtda bir nechta sinfda uchraydigan obyektlarda uchrashi mumkin.

3. Mantiqiy belgilar – obyektlarda uchraydigan xarakteristikalarining mavjudligi (rost) yoki mavjud emasligi (yolon) bilan aniqlanadi.

4. Strukturali belgilar simvol ko‘rinishida yoki tasvir ko‘rinishida berilgan obyektlarda uchraydi.

Obyektlar to‘plamini sinflashning umumiy sxemasini 6.8-rasmdagidek keltirish mumkin [2,3].

Obyektlarni sinflash usullari. $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to‘plamini avtomatik sinflash masalasini quyidagi guruhlar bo‘lish mumkin:

1) masalaning qo‘yilishiga qarab – deterministik va stoxastik yoki ehtimolli masalalar;

2) masalani yechish yo‘liga qarab – iyerarxik va iyerarxik emas;

3) sinflar soni haqidagi boshlanich ma’lumotning aniqligi yoki aniqmasligi;

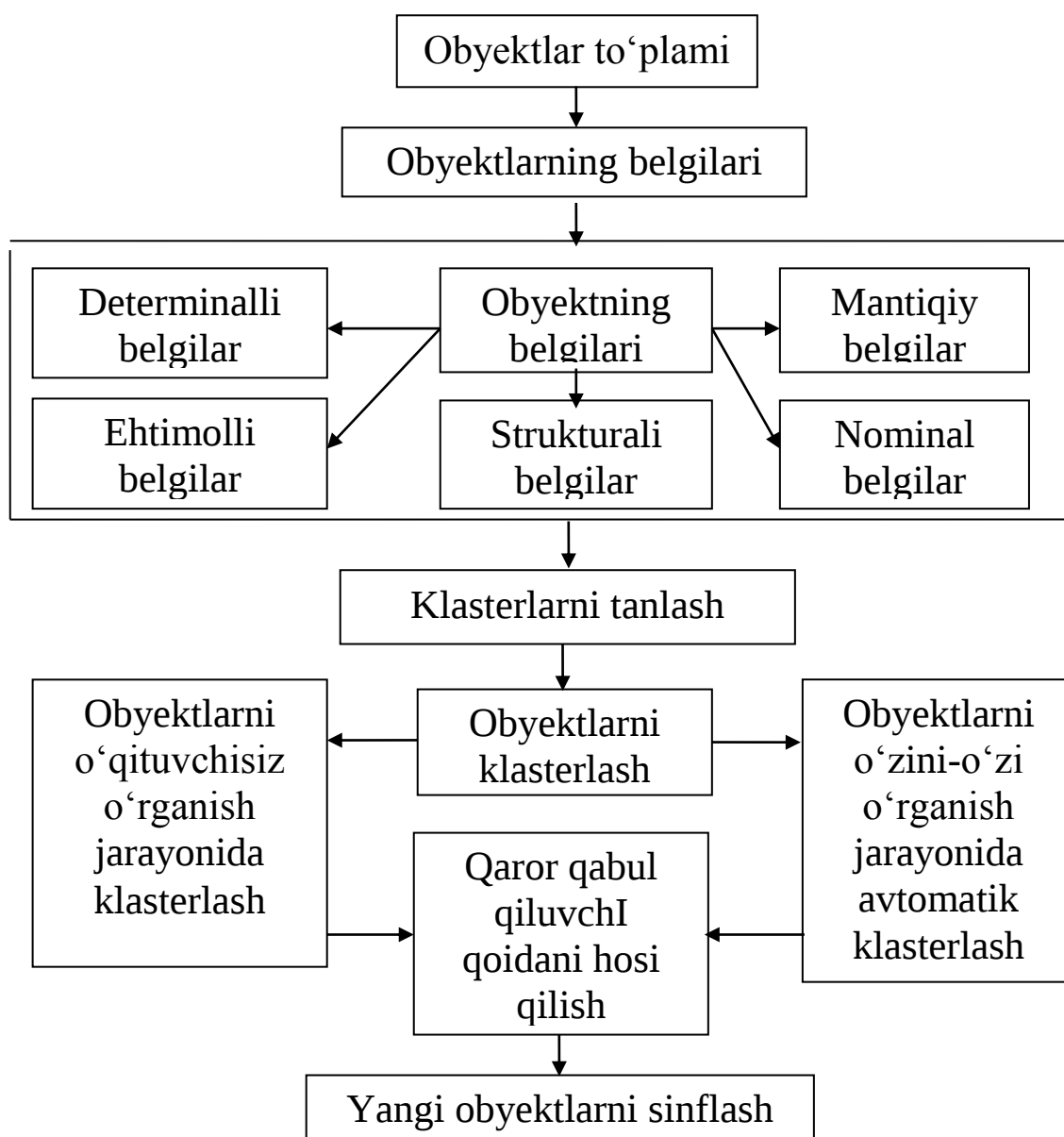
4) hal qiluvchi funksiya R yaqinlik o‘lchoviga asoslanganmi yoki yo‘q.

Deterministik masalaning qo‘yilishida $R(S_i) = K_j$ sinflash talab etiladi. Bu holda S_i obyektini K_j sinfga talluqli ekanligini aniqlovchi $R(S_i)$ funksiyani topish talab etiladi. Agar $R(S_i)$ funksiya masofalarni hisoblashga asoslansa, u holda

$$d(S_i, S_j) = \begin{cases} 1, & \text{agar } |a_{ik} - a_{jk}| \leq \varepsilon_k \\ 0, & \text{aks holda} \end{cases}$$

$$d(S_i, S_j) = \begin{cases} 1, & \text{agar } a_{ik} = a_{jk} \\ 0, & \text{aks holda} \end{cases} \quad (6.8)$$

foydalaniladi. (6.8) formulaga asosan, T_{nm} chekli tanlovdagi obyektlar orasidagi masofa berilgan ε_k qiymat (porog)dan kichik yoki teng bo‘lsa, bitta sinfga, aks holda turli sinflarga qarashli bo‘ladi.



6.8-rasm. Sinflash algoritmlarining umumiy sxemasi.

Agar masala stoxastik yoki ehtimolli ko'rinishda qo'yilsa, u holda hal qiluvchi funksiya sifatida $R(S): X \rightarrow (P(K_1/S), \dots, P(K_m/S))$ topish talab etiladi. Bu yerda K_j – sinflar; $P(K_j/S)$ – S obyektning K_j sinfga qarashlilikining ehtimollik darajasi.

O'xshashlik o'lchoviga asoslangan usullar asosan topologik fazoda ba'zi o'xshashlik o'lchovini berishga asoslanadi. Bu holda ixtiyoriy S_i va S_j obyektlar orasidagi o'xshashlik o'lchovi sifatida qandaydir a_{ij} son qaraladi. Umumiy holda o'xshashlik o'lchovi $a_{ij} \geq 0$, $a_{ij} = a_{ji}$, $a_{ii} \geq a_{ij}$ shartlarni qanoatlantirishi kerak: Amaliyotda asosan uch turdagi o'xshashlik o'lchovidan foydalaniladi [2, 3,22]:

- 1) O'xshashlik koeffitsiyenti;
- 2) Bog'qlik koeffitsiyenti;

3) Metrik fazoda masofa ko'rsatkichi;

O'xshashlik koeffitsiyentini hisoblashga asoslangan usullar asosan binar belgilar bilan berilgan obyektlarni sinflarga ajratishda qo'llaniladi.

Bog'liqlik koeffitsiyenti sifatida quyidagini keltirish mumkin:

$$r_{ij} = \sum_{\alpha, \beta=1} \rho_{\alpha\beta} (1 - |S_{\alpha i} - S_{\alpha j}|)(1 - |S_{\beta i} - S_{\beta j}|)(1 - 2|S_{\alpha i} - S_{\beta j}|),$$

bu yerda $\rho_{\alpha\beta}$ – α va β belgilar orasidagi bog'qlik koeffitsiyenti, $S_{\alpha i} - S_i$ obyektidagi α – belgining qiymati. Bu koeffitsiyent α va β belgilar binar va sonli qiymatlar qabul qilganda ishlatilishi ham mumkin.

Metrik fazoda masofa ko'rsatkichida S_i va S_j obyektlar orasida o'xshashlik ular orasidagi masofaga asoslanadi. Bu holda eng asosiy masala S_i va S_j obyektlar orasidagi masofani qanday hisoblashga bog'q. Masofani hisoblashda yuqorida keltirilgan shartlarga qo'shimcha ravishda quyidagi uchburchak qoidasi ham bajarilishi kerak:

$$S_i, S_j, S_k \Rightarrow \bar{d}(S_i, S_j) \leq \bar{d}(S_i, S_k) + \bar{d}(S_k, S_j)$$

Obyektlar to'plamidan klasterlarni tanlash. Obyektlar to'plamini klasterlar yordamida sinflashtirishda $S_1, S_2, \dots, S_m$ lar to'plamini shunday $K_1, K_2, \dots, K_l$ larga bo'lish kerakki, bu bo'lish imkoniyat darajasida samarali bo'lsin. Masalani bunday formallashtirish $S_1, S_2, \dots, S_m$ lar to'plamini $K_1, K_2, \dots, K_l$ larga bo'lishda ajratuvchi funksiyani hosil qilishga olib keladi. Demak obyektlar to'plami T_{nm} tanlov ko'rinishda berilganda, T_{nm} dan T_{nml} tanlovni hosil qilish uchun shunday ajratuvchi funksiyani topish kerakki, bu bu funksiya obyektlarni sinflarga yetarli darajada sifatli va ishonchlilik bilan ajratsin.

T_{nm} dan T_{nml} ni hosil qilishda ajratuvchi funksiyaning yetarli darajada sifatli va ishonchli bo'lishligi T_{nm} dan tanlanadigan klasterlarga bevosita bog'liq (6.9-rasm).

T_{nm} tanlovdan klasterlarni tanlash turli usullarda amalga oshiriladi:

1) klaster sifatida T_{nm} dagi obyektlar to'plamidan o'rtacha obyekt olinadi (6.9, a-rasm);

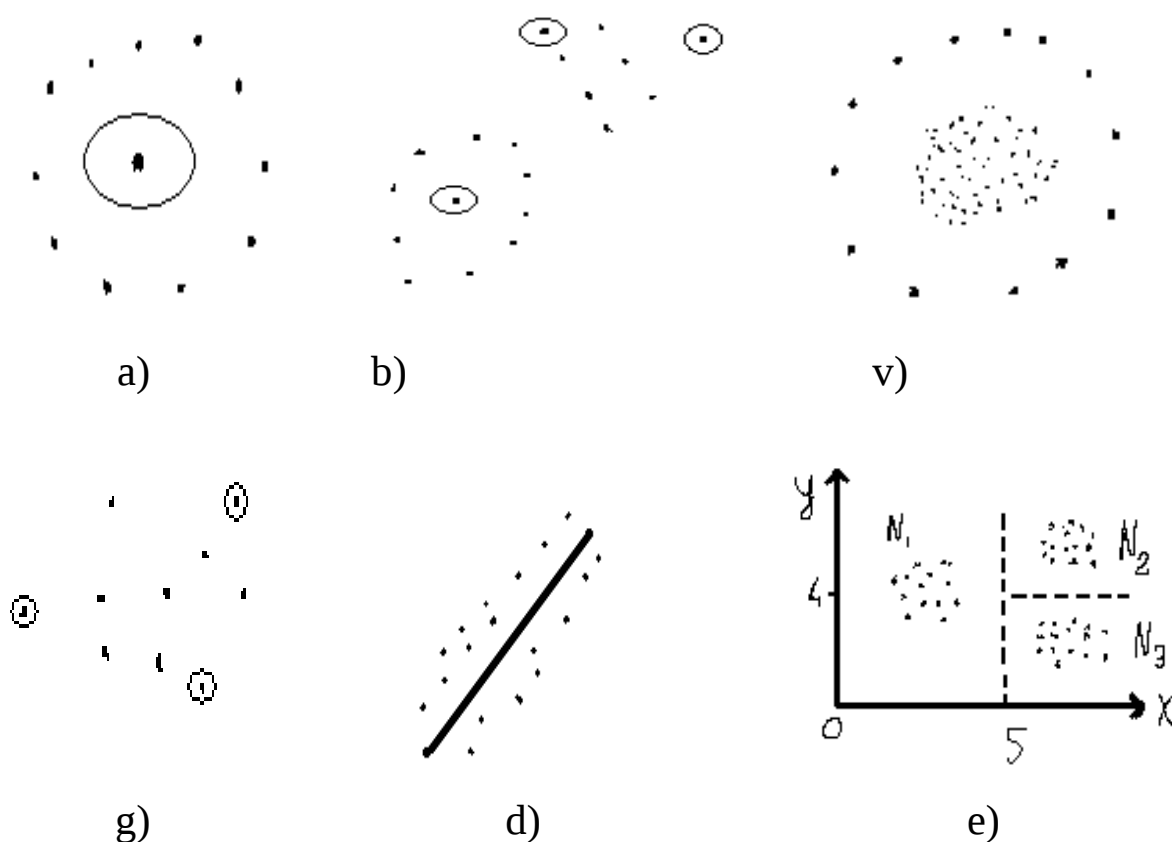
2) klaster sifatida T_{nm} dagi obyektlar to'plamidan ixtiyoriy k ta obyektlar olinadi (6.9, b-rasm);

3) klaster sifatida T_{nm} dagi obyektlar to'plamidan normal taqsimot asosida tanlanadi(6.9, v-rasm);

4) klaster sifatida T_{nm} dagi obyektlar to'plamida bir-biridan eng uzoqda joylashgan obyektlar olinadi (6.9,g-rasm);

5) klaster sifatida T_{nm} dagi obyektlar to'plamida to'ri chiziqqa eng yaqin obyekt olinadi (6.9, d-rasm);

6) klaster sifatida T_{nm} dagi obyektlar to'plamida tengsizliklar asosida aniqlanadi, ya'ni N_1 klaster $x < 5$; N_2 klaster $x > 5$; $y > 4$; N_3 klaster esa $x > 5$; $y < 4$ tengsizliklar bilan aniqlanadi (6.10, e-rasm).



6.9-rasm.

Umumiy holda T_{nm} dagi obyektlar to'plamini sinflashtirish quyidagicha amalga oshiriladi: qandaydir usullar (evristik, tavakkal) bilan k ta boshlanich klasterlar topiladi. Undan keyin tanlangan klasterlar asosida sinflashtiriladi. Hosil bo'lgan klasterlarda yana yangi klasterlar topiladi va ushbu klasterlar asosida obyektlar yana sinflashtiriladi va oldingi klasterlar bilan solishtiriladi. Agar solishtirish natijasida klasterlar o'zgarmasa, u holda sinflashtirish jarayoni tugallangan hisoblanadi, aks holda yana yangi klasterlar topiladi va ularga nisbatan sinflashtirish jarayoni davom etadi .

3.3. Klasterlar yordamida sinflash algoritmlari

Obyektlar to‘plamini bir-biridan eng uzoqda joylashgan ikkita klaster obyekt orqali sinflash algoritmi. Bu algoritm $S_1, S_1, \dots, S_m$ obyektlar to‘plami va ulardagi $a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn}, j = 1, m$ belgilar alfaviti berilganda hamda $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to‘plamini $K_1, K_2, \dots, K_l$ sinflarga ajratishda klasterlar soni l oldindan ma’lum bo‘lganda $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to‘plamini bir-biridan eng uzoqda joylashgan obyektlar orqali klasterlashga asoslangan [2].

Ushbu algoritm quidagi qadamlardan iborat:

1. Klasterlar sifatida bir-biridan eng uzoqda joylashgan ikkita obyektlar aniqlanadi. Bu holda obyektlar to‘plamidagi barcha obyektlar orasidagi masofalar $d(S, S_i) = \sum_{k=1}^m |\alpha_{ik} - \alpha_{jk}|$ yordamida aniqlanadi. Natijada d_{ij} ($i = 1, n; j = 1, n$) masofalar matrisasi hosil bo‘ladi

$$d_{ij} = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & d_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & d_{nn} \end{pmatrix}, i=1, n; j=1, n.$$

2. d_{ij} matrisasidan eng katta masofa $d_{\max}(S_i, S_j) = \max_{ij} d_{ij}$ topiladi. $d_{\max}(S_i, S_j)$ qiymatga mos keluvchi S_i va S_j obyektlar klasterlar sifatida tanlanadi.

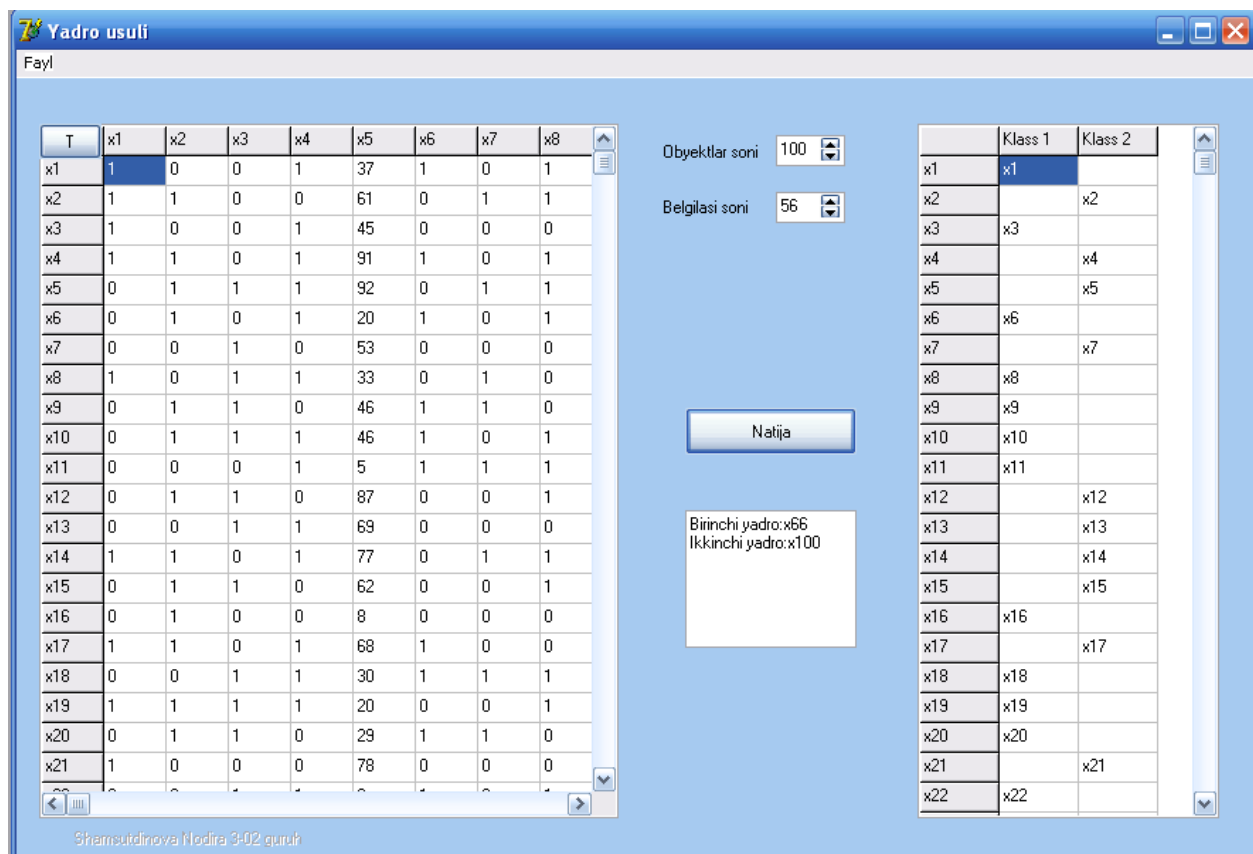
3. Klasterlar $Z_1 = S_i$ va $Z_2 = S_j$ belgilanadi.

4. Z_1 va Z_2 klasterlar orasidagi masofaning yarmi $\bar{d}_{12} = \frac{1}{2} d_{12}(Z_1, Z_2)$ topiladi.

5. Obyektlarni K_1 va K_2 sinflarga ajratish qoidasi

$$F(S_i) = \begin{cases} S_i \in K_1 & \text{agar } d_{ij} \leq \bar{d}_{12} \\ S_i \in K_2 & \text{boshqa hollarda} \end{cases}$$

Ushbu algoritmning DTi [2] 6.10-rasmda keltirilgan:



6.10 –rasm. Obyektlarni ikkita sinfga ajratish natijasi.

Obyektlar to'plamini qisman presedentli prinsip asosida sinflash algoritmi [2,3]. Bu algoritm $S_1, S_1, \dots, S_m$ obyektlar to'plami va ulardagi $a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn}, j = 1, m$ belgilar alfaviti berilganda hamda $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamini nechta $K_1, K_2, \dots, K_l$ sinflarga ajratishda klasterlar soni l oldindan ma'lum bo'lganda $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamini qisman presedentli prinsip asosida Z klaster obyektlarga nisbatan o'xshash obyektlarni topishga asoslangan. Ushbu algoritm $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ to'plamdan olingan z klaster obyektlar bilan ushbu to'plamdagi obyektlarni kema-ket taqqoslash natijasida o'xshashlarini bitta sinfga birlashtiradi.

Algoritmi quyidagi qadamlardan iborat:

1. Obyektlar soni m , belgilar soni n va hosil qilinishi mumkin bo'lgan sinflar soni l oldindan (hosil qilinishi mumkin bo'lgan sinflar soni oldindan ma'lum bo'ladi) kiritiladi.

2. $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar haqidagi ma'lumotlar T_{nm} ko'rinishda dasturga kiritiladi.

3. T_{nm} dagi obyektlarning belgilar shkalasiga mos $d_1, d_2, \dots, d_k$ taqqoslash qoidalari tanlanadi:

$$d(Z, S_j) = \begin{cases} 1, & \text{agar } |z_k - \alpha_{kj}| \leq \varepsilon_k, \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

$$d(Z, S_j) = \begin{cases} 1, & \text{agar } z_k = \alpha_{kj}, k = 1, n \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

$$d(Z, S_j) = \bigwedge_{\alpha=1}^{\eta} (z_{\alpha} = \alpha_{\alpha j}) \vee (z_{\alpha} > \alpha_{\alpha j}) \vee (z_{\alpha} < \alpha_{\alpha j})$$

4. T_{nm} dagi $S_1, S_1, \dots, S_m$ lardan ixtiyoriy S_i obyekt klaster obyekt sifatida tayinlanadi, ya'ni $Z = \forall S_i$.

5. T_{nm} dagi $\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ lar to'plamda obyektlarning t - tartibli joylashishi aniqlanadi, ya'ni

$$S_1^t, S_2^t, \dots, S_m^t \quad (6.9)$$

6. T_{nm} tanlovda n o'lchovga ega bo'lgan boshlanich boshqaruvchi vektori $\tilde{b}^0 = \underbrace{1, 1, \dots, 1}_n$ tanlanadi.

7. T_{nm} tanlovdan (6.9) formula ko'rinishda tartiblangan obyektlardan birinchi tartibdagi S_1^t ($j=1$) obyekt olinadi va $\tilde{b}_1$ boshqaruvchi vektorining qiymati $b_{1\alpha} = d_{\alpha}(Z, S_1^t)$, $\alpha = \overline{1, k'}$ hisoblanadi. Natijada $\tilde{b} = b_1, b_2, \dots, b_{k'}$ boshqaruvchi vektoriga ega bo'lgan z klasterga o'xshash to'plam $D^1(Z, S_1^t)$ hosil bo'ladi.

8. Hosil qilingan $\tilde{b}_1$ boshqaruvchi vektorning qiymati oldingi qadamda berilgan $\tilde{b}^0$ boshlanich boshqaruvchi vektorning qiymati bilan taqqoslanadi. Agar $\tilde{b}^1$ boshqaruvchi vektorda $\exists b_j = 1$, ya'ni $\tilde{b}^1 = 0, 1, \dots, 0, 0$ bo'lsa, u holda keyingi qadamga ushbu $\tilde{b}^1 = 0, 1, \dots, 0, 0$ boshqaruvchi vektor bilan o'tiladi. Agar $\forall b_j = 0$, ya'ni $\tilde{b}^1 = 0, 0, \dots, 0, 0$, bo'lsa, u holda keyingi qadamga $\tilde{b}^1 = \tilde{b}^0$ boshqaruvchi vektor bilan o'tiladi.

9. $j = j + 1$. Agar $j \leq m$ bo'lsa, u holda 10-qadamga, aks holda 11-qadamga o'tadi.

10. T_{nm} tanlovdan (8.9) formula ko'rinishda tartiblangan obyektlardan $(j + 1)$ tartibdagi S_{j+1}^t obyekt olinadi va $\tilde{b}^{j+1}$ boshqaruvchi vektorining $b_{j+1} = d_{\alpha}(Z, S_{j+1}^t)$, $\alpha = \overline{1, k'}$ qiymati hisoblanadi. Natijada

$\tilde{b} = b_1, b_2, \dots, b_k$ boshqaruvchi vektoriga ega bo'lgan Z klasterga o'xshash to'plam $D^1(Z, S_{j+1}^t)$ hosil bo'ladi.

11. Z klaster obyekt orqali boshqa klasterlarni hosil qilish uchun 5 - qadamda $S_1^t, S_2^t, \dots, S_m^t$ obyektlarning joylashish tartibi o'zgartiriladi va algoritm 6 – qadamga o'tadi. Obyektlarning joylashish tartiblari sonini P deb olsak, u holda ushbu protsedura $t \leq P$ shart bajarilguncha davom ettiriladi. Agarda $t > P$ bo'lsa, u holda 12- qadamga o'tiladi.

12. $i = i + 1$. Agar $i \leq m$ bo'lsa, u holda u holda 13-qadamga, aks holda 14- qadamga o'tadi.

13. T_{nm} tanlovdagi $S_1, S_2, \dots, S_m$ obyektlardan navbatdagi S_{i+1} obyekt Z klaster obyekt sifatida tayinlanadi, ya'ni $Z = \forall S_{i+1}$ va 5-qadamga o'tiladi.

14. T_{nm} tanlovdagi $S_1, S_2, \dots, S_m$ obyektlar to'plamda m ta $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ klaster obyektlar orqali sinflar hosil bo'ladi va har bir sinf o'zining Z klaster obyektiga va unga o'xshash obyektlar to'plamiga ega bo'ladi. Ushbu obyektlar to'plami alohida sinflarni tashkil qiladi.

15. Hosil bo'lgan sinflar ro'yxatini oynaga chiqarish.

Ushbu algoritmnining DTi [2,3] 6.11-rasmda keltirilgan.

Yadro obyektlar asosida sinflash

Obyektlar va belgilar qiymatlarini kiritish maydoni

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
S1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
S2	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
S3	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
S4	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1
S5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
S6	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0
S7	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0

Belgilar soni: 30
Obyektlar soni: 20

Ixtiyoriy to'ldirish
Binar qiymatlar kiritish
Tozalash

Tayanch obyektlar asosida hosil qilingan belgilar va sinflar

Tayanch S1obyekt asosida sinflarni hosil qilamiz

K(1) = {S1 S3 S4 S6 S9 S15}
K(2) = {S1 S4 S5 S8 S13 S19}
K(3) = {S1 S6 S7}
K(4) = {S1 S7 S8 S9 S13 S14}
K(5) = {S1 S3 S8 S9 S10 S11 S13}
K(6) = {S1 S4 S10 S11 S13 S20}
K(7) = {S1 S3 S9 S12 S13 S14}
K(8) = {S1 S2 S9 S15 S16}
K(9) = {S1 S4 S16 S17 S20}
K(10) = {S1 S4 S10 S17 S18}
K(11) = {S1 S18 S19 S20}
K(12) = {S1 S3 S9 S19 S20}
K(13) = {S1 S2 S13 S20}
K(14) = {S1 S2 S3 S9 S12 S15}

Tayanch S2obyekt asosida sinflarni hosil qilamiz

K(1) = {S2 S3 S7 S9 S11 S14 S18}
K(2) = {S2 S4 S5 S8}
K(3) = {S2 S7 S8 S13 S14}
K(4) = {S2 S8 S10 S13 S16}
K(5) = {S1 S2 S9 S10 S11 S18}
K(6) = {S2 S6 S13 S14 S15}

Hisoblashga sarflangan vaqt: 00:00:38

Hisoblash Log Chiqish

6.11 –rasm. Barcha klasterlar yordamida sinflash natijasi.

Obyektlar to'plamini klasterlarni ixtiyoriy tanlash asosida sinflash algoritmi [2, 22]. Bu algoritm $S_1, S_1, \dots, S_m$ obyektlar to'plamini nechta sinflarga ajratishda sinflar soni l oldindan ma'lum bo'lmaganda $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamini $K_1, K_2, \dots, K_l$ sinflarga ajratishda va ushbu jarayonda avtomatik ravishda sinflar soni l ni hosil qilishda klasterlarni ixtiyoriy tanlashga asoslanadi.

$S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamidan N_1 klaster ixtiyoriy tanlanadi, ya'ni $Z_1 = S_1$. Undan keyin $Z_1, Z_1, \dots, Z_k$ klasterlar tanlanadi. Klasterlar soni m nechta bo'lishi oldindan ma'lum emas. Bu holda klasterlar soni m obyektlarni sinflashtirish jarayonida aniqlanadi va topilgan klasterlarga mos $K_1, K_2, \dots, K_l$ lar hosil bo'ladi. Ushbu algoritm quyidagi qadamlardan iborat:

1. Boshlanich $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ obyektlar to'plamidan birinchi klaster sifatida ixtiyoriy S_j tanlanadi, masalan $Z_1 = S_j$.

2. Z_1 klaster bilan barcha obyektlar orasidagi $d_{1j}(Z_1, S_j), j = \overline{1, n}$ masofalar aniqlanadi. Natijada $d_{1j}, j = \overline{1, n}$ masofalar matrisasi hosil bo'ladi $d_{1j} = (d_{11} \ d_{12} \ \dots \ d_{1n}), j = \overline{1, n}$.

3. $d_{1j} = (d_{11} \ d_{12} \ \dots \ d_{1n}), j = \overline{1, n}$ masofalar matrisasidan $d_{\max}(Z_1, S_j) = \underbrace{\max}_j(d_{11} \ d_{12} \ \dots \ d_{1n}), j = \overline{1, n}$ topiladi.

4. Ikkinchi klaster sifatida $d_{\max}(Z_1, S_j)$ qiymatga mos keluvchi S_j obyekt tanlanadi, ya'ni $Z_2 = S_j$.

5. Z_2 klaster bilan barcha obyektlar orasidagi $d_{2j}(Z_2, S_j), j = \overline{1, n}$ masofalar (8.2-8.8) formulalar orqali aniqlanadi. Natijada $d_{2j}, j = \overline{1, n}$ masofalar matrisasi $d_{2j} = (d_{21} \ d_{22} \ \dots \ d_{2n}), j = \overline{1, n}$ hosil bo'ladi.

6. $d_{1j} = (d_{11} \ d_{12} \ \dots \ d_{1n}), j = \overline{1, n}$ masofalar matrisasidan eng kichik masofa $d_{1\min}(Z_1, S_j) = \underbrace{\min}_j(d_{11} \ d_{12} \ \dots \ d_{1n}), j = \overline{1, n}$ topiladi.

7. $d_{2j}(Z_2, S_j) = (d_{21} \ d_{22} \ \dots \ d_{2n}), j = \overline{1, n}$ masofalar matrisasidan eng kichik masofa $d_{2\min}(Z_2, S_j) = \underbrace{\min}_j(d_{21} \ d_{22} \ \dots \ d_{2n}), j = \overline{1, n}$ topiladi.

Obyektlar to'plamini klasterlar asosida sinflash algoritmi [2,22].

Bu algoritm $S_1, S_2, \dots, S_m$ obyektlar to'plamini nechta sinflarga ajratishda sinflar soni l oldindan ma'lum bo'lmaganda $S_1, S_2, \dots, S_m$ lar to'plamini $K_1, K_2, \dots, K_l$ sinflarga ajratishda va ushbu jarayonda avtomatik ravishda sinflar soni l ni hosil qilishda klasterlarni tanlashga asoslanadi. Algoritm boshqa algoritmlardan boshlanish shartlari va klasterlar soni bilan farq qiladi. Algoritm $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ obyektlar to'plamidan klasterlar tanlanadi. Algoritm quyidagi qadamlardan iborat:

1. Obyektlar to'plami $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ dan k ta $k < \nu$ sinflar $K_1, K_2, \dots, K_k$ ixtiyoriy tanlanadi.

2. Har bir $K_i, i = \overline{1, k}$ sinflardan birinchi $Z_1(1), Z_2(1), \dots, Z_k(1)$ obyektlari klaster sifatida tanlanadi.

3. Har bir klaster $Z_i(1), i = \overline{1, k}$ o'zining sohasiga (obyektlar to'plamiga) ega bo'ladi. Bu sohalar k klasterlar bilan boshqa obyektlar orasidagi kichik masofani hisoblash asosida aniqlanadi. r - qadamda S_p obyekt $Z_i(r)$ klaster bilan bog'liq bo'ladi, agarda quyidagi tengsizlik bajarilsa:

$$\|S_p - Z_i(r)\| < \|S_p - Z_j(r)\|, \forall i \neq j.$$

Bu holda $S_p \in Z_i(r)$ bo'ladi. Shunday qilib, r - qadamda $Z_i(r)$ klaster sohani hosil qiladi.

4. Yangi klaster $Z_i(r+1)$ orqali yangi soha aniqlanadi. Uning qiymatlari sifatida shunday S obyekt qabul qilinadiki, u o'rta kvadratik cheklanishning kichik qiymatini qanoatlantiradi:

$$d_i = \min_{S_p \in Z_i(2)} \sum \|S_p - Z_i(r+1)\|^2, i = \overline{1, k}$$

Haqiqatdan ham, qachonki Z_i sohadan olingan S obyektning qiymati obyektlarning o'rta arifmetik qiymatlariga teng bo'lsa, d_i minimal qiymatga erishadi.

5. Yangi klaster sifatida

$$Z_i(r+1) = \frac{1}{\text{Card } Z_i} \sum_{S_p \in Z_i} S_p, i = \overline{1, k}$$

olinadi.

Ko'rinib turibdiki, yangi klaster sifatida olinadigan obyektning qiymati K o'rtacha qiymatni topishga asoslanadi. Qachonki $Z_i(r+1)$ markazlarning holati oldingi $Z_i(r)$ markazlarga nisbatan o'zgarmasa,

algoritm o'z ishini to'xtatadi. Aks holda, yangi markazlar asosida yangi sohalar yaratiladi, ya'ni algoritm yana 3-qadamdan boshlanadi.

Ushbu algoritmning DTi [2] 6.13 –rasmda keltirilgan.

The screenshot displays a software interface with four windows (K1, K2, K3, K4) and a central 'Etalon' table. Each window contains a table with columns labeled a1 through a6. The 'Etalon' table is a 2x2 grid with columns a3 and a4.

a3	a4
1	9
0	4
1	59
1	23
1	72

6.13 –rasm. Klasterlar sonini oldindan belgilash asosida sinflash natijasi.

Obyektlar to'plamini klasterlarni ketma - ket hosil qilish asosida sinflash[2, 22]. Bu algoritm $S_1, S_1, \dots, S_m$ obyektlar to'plamini nechta sinflarga ajratishda sinflar soni l oldindan ma'lum bo'lmaganda $S_1, S_1, \dots, S_m$ lar to'plamini $K_1, K_2, \dots, K_l$ sinflarga ajratishda va ushbu jarayonda avtomatik ravishda sinflar soni l ni hosil qilishda klasterlarni ketma - ket hosil qilishga asoslanadi. Algoritm yordamida klasterlar soni obyektlarni o'rganish jarayonida ketma - ket hosil qilinadi va obyektlar topilgan klasterlar asosida sinflashtiriladi.

Algoritm quyidagi qadamlardan iborat:

1. $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ obyektlar to'plamidan klasterlar ixtiyoriy ravishda tanlanadi, ya'ni $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$.
2. Har bir guruhni ikkiga bo'lamiz, agarda guruhdagi obyektlar orasidagi masofa δ_1 porogdan katta bo'lsa.
3. Har bir sohada yangi "o'rtacha" obyektlar topiladi.
4. Har bir juftlik o'rtacha obyektlar orasida masofa hisoblanadi.

5. O'rtacha obyektlar orasidagi masofa δ_1 porogdan kichik o'lsa, yangi sohalar birlashtiriladi.

6. Algoritm yana takrorlanadi.

Bu algoritmnining oldingilardan farqi shundaki, bunda barcha obyektlar orasidagi masofani hisoblashga ehtiyoj yo'q. Operator δ_1 va δ_2 poroglarning qiymatini ixtiyoriy ravishda aniqlashi mumkin. Shuning uchun bu algoritm yordamida katta massiv bilan berilgan ma'lumotlarni qayta ishlash mumkin.

Ushbu algoritmnining DTi [2] 6.14 –rasmda keltirilgan.

Izodata algoritmi asosida ishlovchi virtual laboratoriya

Etalon tanlov ustida amallar maydoni

Soni

Obyektlar

Belgilar

Etalon yaratish

Ixtiyoriy qiymatlar

Natija

Sinflar sonini tanlang

Etalon tanlov qiymatlarni kiritish maydoni

0	× 1	× 2	× 3	× 4	× 5	× 6	× 7	× 8	>
1	134	160	120	94	184	114	152	176	1
2	18	61	78	156	193	44	157	50	1
3	134	3	78	144	66	185	135	21	1
4	87	33	69	44	56	183	127	73	1
5	104	105	133	191	14	81	72	6	1
6	0	184	108	80	32	0	61	125	7
7	115	182	95	90	172	76	187	105	1
8	5	166	1	199	178	30	121	140	7
9	96	151	108	49	126	192	172	191	1

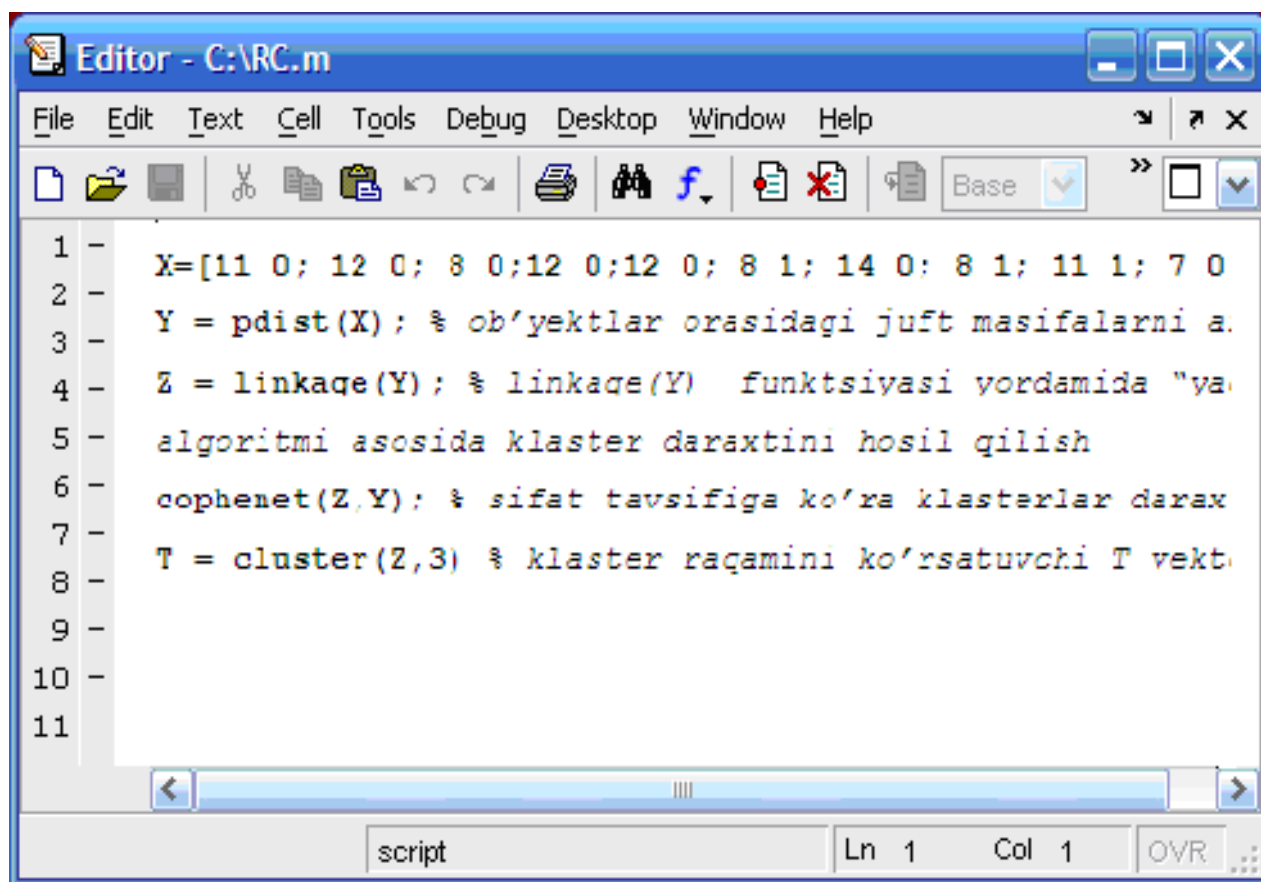
Natijani ko'rsatish maydoni

```
6 | 6 27 : 72 : 55 : 34 : 16 :
7 | 9 13 : 53 : 63 : 49 : 46 :
8 | 10 26 : 71 : 92 : 76 : 47 :
9 | 11 87 : 42 : 90 : 35 : 36 :
10 | 12 45 : 75 : 78 : 61 : 93 :
11 | 14 21 : 89 : 69 : 58 : 60 :
12 | 15 67 : 17 : 24 : 25 : 100 :
13 | 18 79 : 51 : 30 : 28 : 41 :
14 | 20 74 : 96 : 38 : 43 : 66 :
15 | 23 82 : 85 : 32 : 48 : 57 :
```

6.14 – rasm. Klasterlarni ketma-ket tanlash asosida sinflash natijasi.

MATLAB tizimida sinflash dasturini yaratish. MATLAB – matritsaviy laboratoriya – hozirgi vaqtga kelib hisoblash matematikasi, axborotni qayta ishlash, elektr asboblarni loyihalashtirish, iqtisod va amaliy fanning boshqa bir qator bo'limlariga talluqli o'ndan ortiq hususiy

ilovalar bilan to'ldirilgan ilmiy-texnik hisoblashlar uchun eng rivojlangan dasturlash tizimidir (6.15-rasm). Shu sababli bu kodni MATLABda modellashtirish orqali samarali natijalarga erishish mumkin.



The screenshot shows the MATLAB Editor window titled 'Editor - C:\RC.m'. The menu bar includes File, Edit, Text, Cell, Tools, Debug, Desktop, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and editing. The script content is as follows:

```

1 - X=[11 0; 12 0; 8 0;12 0;12 0; 8 1; 14 0; 8 1; 11 1; 7 0
2 - Y = pdist(X); % ob'yektlar orasidagi juft masifalarni a.
3 - Z = linkage(Y); % linkage(Y) funktsiyasi yordamida "va
4 - algoritmi asosida klaster daraxtini hosil qilish
5 - cophenet(Z,Y); % sifat tavsifiga ko'ra klasterlar darax
6 - T = cluster(Z,3) % klaster raqamini ko'rsatuvchi T vekt.
7 -
8 -
9 -
10 -
11 -

```

The status bar at the bottom shows 'script', 'Ln 1', 'Col 1', and 'OVR'.

6.15-rasm. MATLAB tizimining dastur yozish (tahrirlash) oyansi.

MATLAB – interpretator kabi ishlovchi hamda turli xil hisoblashlarni bajarish, ma'lumotlar tarkibini berish va axborotni grafik ko'rinishda tasvirlash uchun xizmat qiladigan katta hajmli qo'llanmalar (buyruqlar) to'plamini o'z ichiga oluvchi yuqori darajali dasturlash tizimidir. Ushbu buyruqlar tizimning har xil direktoriyalarida joylashgan mavzuli guruhlariga bo'lingan. Endilikda tizimda 800 ga yaqin buyruq bo'lib ulardan yarmidan ko'pi boshlovchi foydalanuvchi uchun tushunarlidir. Bundan tashqari MATLAB – algoritmlarni tekshirish va taqribiy hisoblashlar o'tkazishdagi mehnat harajatlarini jadal suratda qisqartirish imkonini beradi. MATLAB da katta hisoblashlar o'tkazish imkoniyati foydalanuvchi yo'l qo'ya oladigan vaqt darajalariga qarab aniqlanadi. Tizim sonli usullarni o'zlashtirish va qo'llash uchun juda qulay.

MATLAB tizimida Statistics Toolbox paketi mavjud, unda klasterli tahlil funksiyalari quyidagi jadvalda keltirilgan (6.2-jadval).

6.2-jadval. MATLAB tizimi Statistics Toolbox paketining klasterlash funksiyalari.

Funksiya nomi	Vazifasi
Ccluster	Klasterlarni alohida klasterlarning iyerarxik daraxt ko'rinishda ajratish. (Linkage funksiyasida chiqish ma'lumotlarni guruhlash)
Clusterdata	Boshlanich ma'lumotlar matritsasini klasterlarga guruhlash.
Cophenet	Boshlanich ma'lumotlarni klasterlarga ajratish sifati ko'effitsiyentini (bu ko'effitsiyent korrelyatsiyani ko'effitsiyentiga o'xshatish mumkin, ya'ni qiymati qanchalik 1 ga yaqin bo'lsa, klasterlash shunchalik aniq ajratilgan bo'ladi) hisoblash.
Dendrogram	Klasterlarning dendogrammasi
Inconsistent	Klasterlarning iyerarxik daraxtida har bir bog'liqligini mos tushmaslik ko'effitsiyentlarini hisoblash. Klasterlarni ajratish sifatini baholashda ham qo'llanilishi mumkin.
Kmeans	Ichki guruhlar o'rtachalariga asoslangan klasterlash.
linkage	Binarli klasterlarning iyerarxik daraxtini shakllantirish.
Pdist	Boshlanich ma'lumotlar to'plamidagi obyektlar (vektorlar) o'rtasidagi juft masofalarni hisoblash.
Silhouette	Klasterlarning silueta (konturlari) grafigi.
Squareform	Pdist funksiyasi chiqishlaridagi ma'lumotlari vektorini simmetrik kvadrat matritsaga almashtirish

Bu funksiyalar orqali MATLABda klasterlash usullaridan uchtasining dasturini tuzamiz.

1. *Iyerarxik* usulda klasterlash. 861 ta satr 2 ta ustunli X matritsaga ma'lumotlarni beramiz, ya'ni har biri 2 elementli 861 ta vektor.

```
X=[11 0; 12 0; 8 0;12 0;12 0; 8 1; 14 0; 8 1; 11 1; 7 0; 12 1; ....];
Y = pdist(X); % ob'yektlar orasidagi juft masofalarni aniqlash;
Z = linkage(Y); % linkage(Y) funksiyasi yordamida "yaqin qo'shni" algoritmi asosida klaster daraxtini hosil qilish;
cophenet (Z,Y); % sifat tavsifiga ko'ra klasterlar daraxtiga ajratish.
T = cluster(Z,3); % klaster raqamini ko'rsatuvchi T vektorni hosil qilish.
```

2. K-means algoritmi amaliy tadbiqi.

```
data=load('maktab_data.dat'); % ma'lumot fayldan yuklandi  
[center,U,obj_fcn]=fcm(data,3); % klaster markazini aniqlash  
maxU=max(U); % massiv elementlarini indekslash  
index1=find(U(1,:)==maxU);  
index2=find(U(2,:)==maxU);  
index3=find(U(3,:)==maxU);
```

3. Koxonen neyroto'r usuli amaliy tadqiqi

```
net = newc([0 1;01; 01; 01; 01; 01; 01; 01; 01; 01; 01],3, 0.1); %  
3 pog'ona  
w0 = net.IW{1};  
b0 = net.b{1};  
c0 = exp(1)./b0;  
tic, net.train Param.epochs = 50; % 50 tsikl hosil qilinadi  
[net,TR] = train(net,P); toc;  
w = net.IW{1};  
bn = net.b{1};  
cn = exp(1)./bn;  
Y=sim(net,P);  
disp(Y)
```

Bu usullar orqali olingan natijalar deyarli bir xil ko'rinishda hosil qilindi.

Nazorat savollari

1. Evristik qoidalar nima?
2. Ehtimollikning ta'rifini bering?
3. B dalil va A gipotezaning birgalikdagi sodir etilish ehtimolini izohlang?
4. Bayes qoidasiga asosan xulosalash ehtimoli qanday aniqlanadi?
5. Ob-havoni bashoratlash, sportda yaxshi natijalarga erishish, tibbiy tashxis masalasini yechishda Bayesli tahlildan qanday foydalaniladi?
6. Ishonchli Bayes to'rlarining qanday turlari mavjud?
7. Klaster deganda nimani tushunasiz va ular qanday tanlanadi?
8. Obyektlarni klasterlar yordamida sinflashtirishni o'rgatishning asosiy masalasi qanday?
9. Obyektlarni sinflashtirishning umummiy sxemasini tushuntiring.
10. Obyektlarni sinflashtirishning asosiy muammosi nimadan iborat?

11. Obyektlar qanday belgilar alfaviti bilan tavsiflanadi?
12. Sinflashning qanday usul va algoritmlari mavjud?
13. MATLAB–matritsaviy laboratoriya paketida klasterlash modulini tushuntiring.

Nazorat testlari

1. Qandaydir B hodisaning sodir etilganligi aniq bo'lganda biror A hodisaning ro'y berish ehtimoli-bu ehtimollikdir.

a) shartli ; b) apriorli; c) aposteriorli; e) shartsiz.

2. 223333 raqamlar birikmasidan tasodifiy ravishda yoki 3, yoki 2 tanlansin. Shartli ehtimollik tenglamasini qo'llagan holda 2 raqmi, keyin esa 3 raqami kelishi ehtimolini hisoblang?

a) 1/6; b) 1/4; c) 1/3; e) 2/3.

3. Umumiy holda $P(A,B)$ aposteriorli ehtimolni hisoblaydigan Bayes formulasini to'g'ri ko'rsating?

a) $P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(B)}$; b) $P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(A)}$;

c) $P(A/B) = \frac{P(A)P(B)P(B/A)}{P(B)}$; e) $P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{P(A)P(B)}$.

4. Hodisalarning toliq ehtimolini aniqlovchi ifodani to'g'ri ko'rsating?

a) $P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i)P(B/A_i)$; b) $P(B) = \sum_{i=1}^n P(B_i)P(B/A_i)$;

c) $P(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i)P(B)$; e) $P(B) = \sum_{i=1}^n P(B_i)P(B_i/A_i)$.

5. Agar $A_1, A_2, \dots, A_n$ gipotazalarning apriorli ehtimolliklari berilgan bo'lsa, u holda $B_1, B_2, \dots, B_m$ dalillar asosida har bir A_i gipotezaning aposteriorli ehtimolini aniqlaydigan ifodani to'g'ri ko'rsating?

a) $P(A_i / B_j) = \frac{P(A_i)P(B_j / A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B_j / A_i)}$; b) $P(A_i / B_j) = \frac{P(A_i)P(B_j / A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(A_i / B_j)}$;

c) $P(A_i / B_j) = \frac{P(A_i)P(A_i / B_j)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B_j / A_i)}$; e) $P(A_i / B_j) = \frac{P(A_i)P(B_j / A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B_j)}$.

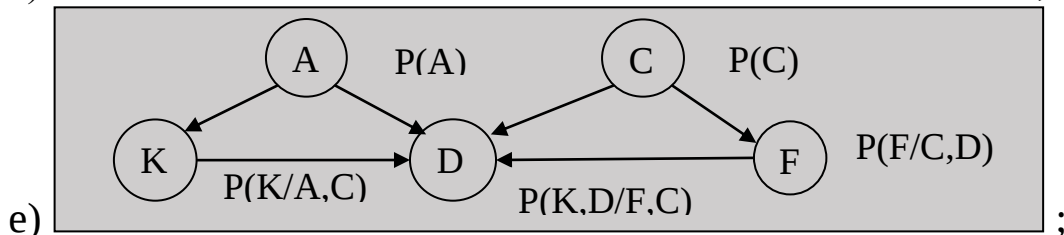
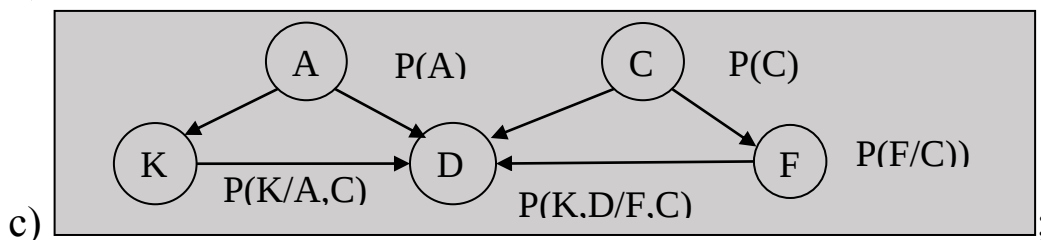
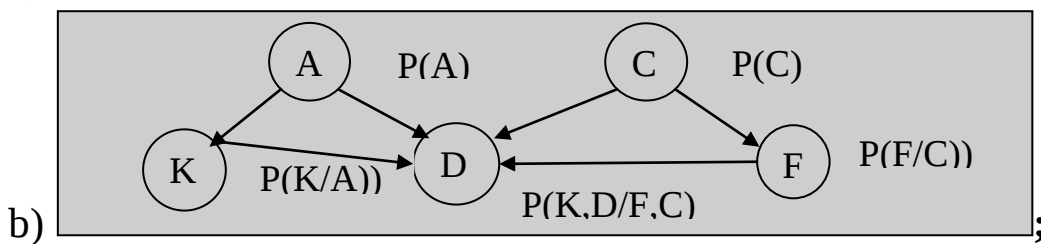
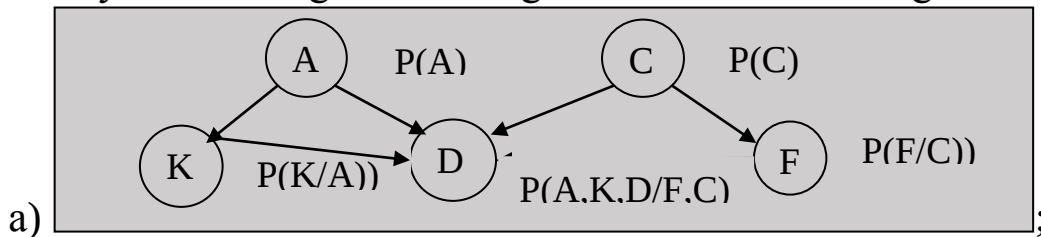
6. Bemorga tibbiy tashxis qo'yishda sizga quyidagi ma'lumotlar berilgan. Oxirgi 10 yil davomida poliklinikaga murojaat qilgan 20000 nafar bemordan 16000 nafari gripp bilan kasallanganligi

ekspert(shifokor)lar tomonidan aniqlangan bo'lsin. Quyidagi A ="Gripp" va $\bar{A}$ ="Gripmas" belgilashlarni kiritib, $P(A)$ va $P(\bar{A})$ ehtimollarni aniqlang. Shuningdek, B ="Harorat" belgilashni kiritib, tibbiy adabiyotlarni o'rganish xulosasiga ko'ra A ="Gripp" bilan kasallangan bemorlarda B ="harorat"ning oshish $P(B/A)=0.9$ ehtimoli o'rnatilganligini e'tiborga olib, $P(B/\bar{A})$ ni aniqlang.

Aniqlangan $P(A) = ?$, $P(\bar{A}) = ?$, $P(B/\bar{A}) = ?$ asosida Bayes formulasidan foydalanib $P(A/B)$ ehtimolni hisoblang?

a) 0.97; b) 0.95; c) 0.98; e) 0.90.

7. Bayesli to'rt to'rtg'ri ifodalangan sxemani k'o'rsating?



8. O'qituvchisiz o'rganishda soni oldindan berilgan va obyektlarning qaysi sinfga qarashlilik oldindan berilmagan bo'ladi.

a) obyektlar, belgilar; b) belgilar, qoidalar; c) obyektlar, qoidalar; e) qoidalar, masofalar.

9. «Maxmin» algoritmining maqsadi - klaster obyektlarni topish va bu obyektlar yordamida sinflarni avtomatik hosil qilish.

a) erkin tanlovdan N ta; b) etalon tanlovdan; c) etalon tanlovdan 2 ta; e) erkin tanlovdan 2 ta.

10. «K o'rtacha» algoritmi "Maksmin" algoritmidan qanday farq qiladi?

- a) boshlang'ich shartlari va klasterlar soni bilan;
- b) chegaraviy shartlari va masofalar soni bilan;
- c) asosiy shartlari va obyektlar soni bilan;
- e) bevosita shartlari va sinflar soni bilan.

11. «IZODATA» algoritmida soni obyektlarni o'rganish jarayonida ketma- ket hosil qilinadi va topilgan klasterlar asosida klasterlashtiriladi.

- a) klasterlar; obyektlar;
- b) boshlang'ich shartlar; obyektlar;
- c) belgilar; obyektlar;
- e) chegaraviy shartlar; obyektlar.

Masala va topshiriqlar

1. Kasallikni bashoratlash masalasini yechishda bayesli tahlildan foydalanishni keltiring. Aytaylik, bemorning rentgen tekshirishlari natijasida unda sil kasalligi borligi ehtimoli 0,8 ga teng, sog' odamni bemor sifatida belgilash ehtimoli 0,03 ga teng. Sil kasalligiga uchraganlar sonining barcha aholiga nisbatan ulushi 0,002 ga teng. Rentgen natijasiga ko'ra bemor deb topilgan odamning sog' bo'lish ehtimolini toping.

2. Kasallikni bashoratlash masalasini yechishda bayesli tahlildan foydalanishni keltiring. Aytaylik, odamda harorat oshish ehtimoli 40% ga teng. Odatdagi kunda odamda grippning paydo bo'lish ehtimoli ham ma'lum bo'lib, u 50% tashkil etadi. Shuningdek, harorat oshish ehtimoli 100% bo'lganda grippning paydo bo'lish ehtimoli ham 100% ni tashkil etadi, chunki agar harorat oshsa, u holda har qanday holatda ham odamda gripp bo'ladi. Agar odam gripp bo'lsa, u holda harorat oshish ehtimolini toping.

3. Kasallikni bashoratlash masalasini yechishda bayesli tahlildan foydalanishni keltiring. Tibbiy tashxis qo'yishda bemorda haroratning oshganligi kuzatilganligi uchun uning angina bilan kasallanganligining ehtimolini hisoblash talab etiladi. Agar bemor angina bilan kasallangan bo'lmasa, u holda u "anginamas", masalan sog'lom bo'ladi. Agar poliklinikadagi yozuvlar asosida 20000 bemordan ushbu davrda 15000 tasi angina bilan kasallangan va tibbiy adabiyotlarni o'rganish xulosasiga ko'ra $P(\text{Harorat}/\text{Angina})=0.8$ o'rnatish mumkin bo'lsa, u holda bemorda haroratning oshganligi kuzatilganligi uchun uning angina bilan kasallanganligining ehtimolini Bayes formulasi yordamida aniqlang.

4. Sportda yaxshi natijalarga erishishni Bayesli tahlilini keltiring. Aytaylik, futbol o'yinida nasaf komandasining g'alaba qilish imkoniyatlari

reyting bo'yicha 70% ni tashkil etadi. Shuningdek, bizga ma'lumki, Nasaf ishtirokida o'tkazilgan o'yinlarda futbol ishqibozlari kelish ehtimoli 30% ni, Nasaf ishtirokida o'tkazilgan o'yinlarda Nasaf yutganda futbol ishqibozlari kelish ehtimoli 90% ni tashkil etgan. Nasaf ishtirokidagi navbatdagi o'yinda ishqibozlar kelganda Nasafning g'alaba qilish ehtimolini toping.

5. Aytaylik, rentgen tekshirish natijalariga asosan bemorning tuberkulez kasalligi bilan xastalanganlik ehtimoli 0,7 va sog'lom odamning ushbu kasallik bilan xastalanganlik ehtimoli 0,03 aniqlangan bo'lsin. Poliklinikadagi yozuvlar asosida 20000 bemordan ushbu davrda 15 tasi tuberkulez bilan kasallangan bo'lsin. Tekshirish natijasida kasal deb hisoblangan odamlarning sog' chiqishining shartli ehtimolini toping.

6. $P(A, B, C, D) = P(A)P(B)P(C \setminus A)P(D \setminus A, B)$ boshlang'ich tahminlarga asosan Bayes to'rini hosil qiling.

7. $P(A, B, C, D) = P(A)P(B)P(D \setminus A)P(C \setminus A, B)P(D \setminus A, B)$. boshlang'ich tahminlarga asosan Bayes to'rini hosil qiling.

8. $P(A, B, C, D, E, F) = P(A)P(B)P(D \setminus A)P(C \setminus A, B)P(E \setminus A, B)P(F \setminus E)$. boshlang'ich tahminlarga asosan Bayes to'rini hosil qiling.

9. $P(A, B, C, D, E, F, G) = P(A)P(B)P(C \setminus A, B)P(D \setminus B)P(E \setminus B)P(G \setminus C)P(F \setminus D, E)$. boshlang'ich tahminlarga asosan Bayes to'rini hosil qiling.

10. T_{mn} tanlov berilgan bo'lsin. Bu yerda m obyektlar soni, n belgilar soni.

Belgilar Obyektlar	1	2	3	4	5
1	0.95	0.80	0.90	0.70	1.00
2	0.54	0.68	0.47	0.75	0.80
3	0.80	0.40	0.90	0.30	0.50
4	0.65	0.90	0.80	0.60	0.70
5	0.81	0.51	0.91	0.71	1.00
6	0.42	0.56	0.14	0.70	1.00
7	1.00	0.56	0.78	0.67	0.34
8	0.60	0.81	1.00	0.74	0.88
9	0.64	0.51	0.77	0.25	1.00
10	0.50	0.63	1.00	0.24	0.76
11	0.51	1.00	0.25	0.77	0.64
12	1.00	0.57	0.769	0.65	0.54

13	0.61	0.86	1.00	0.78	0.98
14	0.66	0.54	0.79	0.245	1.00
15	0.53	0.66	1.00	0.29	0.46
16	0.54	1.00	0.25	0.72	0.94

«Maxmin», «Izodata» va «K o'rtacha» algoritmlardan foydalanib, ushbu tanlovda berilgan obyektlarni turli masofalardan foydalanib avtomatik ravishda sinflarga ajratuvchi dastur tuzing.

Shartli belgilashlar:

Algoritmlarni belgilash: M - «Maxmin» algoritmi, I - «Izodata» algoritmi, K - «K o'rtacha» algoritmi.

Masofalarni hisoblash formulalari:

$$1) E - \text{Evklid masofasi} - \bar{d}_1(\vec{X}_i, \vec{X}_j) = \left\{ \sum_{k=1}^n |x_{ik} - x_{jk}|^2 \right\}^{1/2};$$

$$2) M - \text{Manxetten masofasi} - \bar{d}_2(\vec{X}_i, \vec{X}_j) = \sum_{k=1}^n |x_{ik} - x_{jk}|;$$

$$3) Ch - \text{Chebishev masofasi} - \bar{d}_3(\vec{X}_i, \vec{X}_j) = \max_k |x_{ik} - x_{jk}|;$$

$$4) K - \text{Kamberra masofasi} - \bar{d}_4(\vec{X}_i, \vec{X}_j) = \sum_{k=1}^n \frac{|x_{ik} - x_{jk}|}{|x_{ik} + x_{jk}|}.$$

Topshiriq variantlari

№	Obyektlar soni	Algoritm	Masofa
1	$m=1..8$	M	E
2	$m=1..8$	I	M
3	$m=1..8$	K	Ch
4	$m=1..8$	M	K
5	$m=1..8$	I	E
6	$m=1..8$	K	M
7	$m=1..8$	M	Ch
8	$m=1..8$	I	K
9	$m=1..8$	K	E
10	$m=1..8$	M	M
11	$m=1..8$	I	Ch
12	$m=1..8$	K	K
13	$m=9..16$	M	E

14	$m=9..16$	I	M
15	$m=9..16$	K	Ch
16	$m=9..16$	M	K
17	$m=9..16$	I	E
18	$m=9..16$	K	M
19	$m=9..16$	M	Ch
20	$m=9..16$	I	K
21	$m=9..16$	K	E
22	$m=9..16$	M	M
23	$m=9..16$	I	Ch
24	$m=9..16$	K	K

7-BOB. NEYRONLI TO'RLAR

1-§. Neyronli to'rlar sohasidagi tadqiqotlar tarixi

Neyronli tarmoq(NT) larning o'rgatish qobiliyati bo'yicha birinchi tadqiqotlar *Makkolok va V. Pitts* tomonidan olib borilgan. Ular tomonidan 1943 yilda "Nerv faoliyatiga talluqli g'oyalarning mantiqiy mulohazalari" ilmiy ishlari yaratilgan bo'lib, unda neyron modeli qurilgan va sun'iy NT(SNT)lari qurishning asosiy qonun-qoidalari shakllantirilgan [7,16].



1962 yilda amerikalik neyrofiziolog *Френк Роженблатт* tomonidan yaratilgan "*Perseptron*" NT modeli neyrokibernetikaning rivojlanishida kuchli ta'sir ko'rsatdi [7,16].

1970 yillarda ko'plab qiziqarli ishlanmalar taklif qilindi, masalan, tasvirlarning burilishi va mashtabining o'zgarishidan qat'iy nazar, murakkab obyektlarni anglab olish qobiliyatiga ega bo'lgan "*Kognitron*" yaratildi [7,16].

1982 yilda amerikalik biofizik *Дж. Хопфилд* tomonidan *Хопфилд* NTlari taklif qilindi [7,16]. Ushbu yillar davomida ko'plab samarali algoritmlar yaratildi, masalan, tasodifiy duch keluvchi oqimlar, ikkiyo'nalishli assotsiativli xotira va h.k.

Kiyev Kibernetika institutida 1970-yillardan boshlab stoxastikli NTlar ustida ilmiy-tadqiqotlar olib borildi.

1986 yilda *Dj. Hinton* va uning jamoasi tomonidan "Neyronli to'rlar modellari va ularni o'rganish algoritmlari" nomli maqolasining chop etilishi sun'iy NT sohasining rivojlanishiga kuchli ta'sir ko'rsatdi [7,16].

Hozirgi vaqtda Rossiyada neyrotexnologiyalar sohasida uchta kuchli ilmiy maktab shakllangan [1].

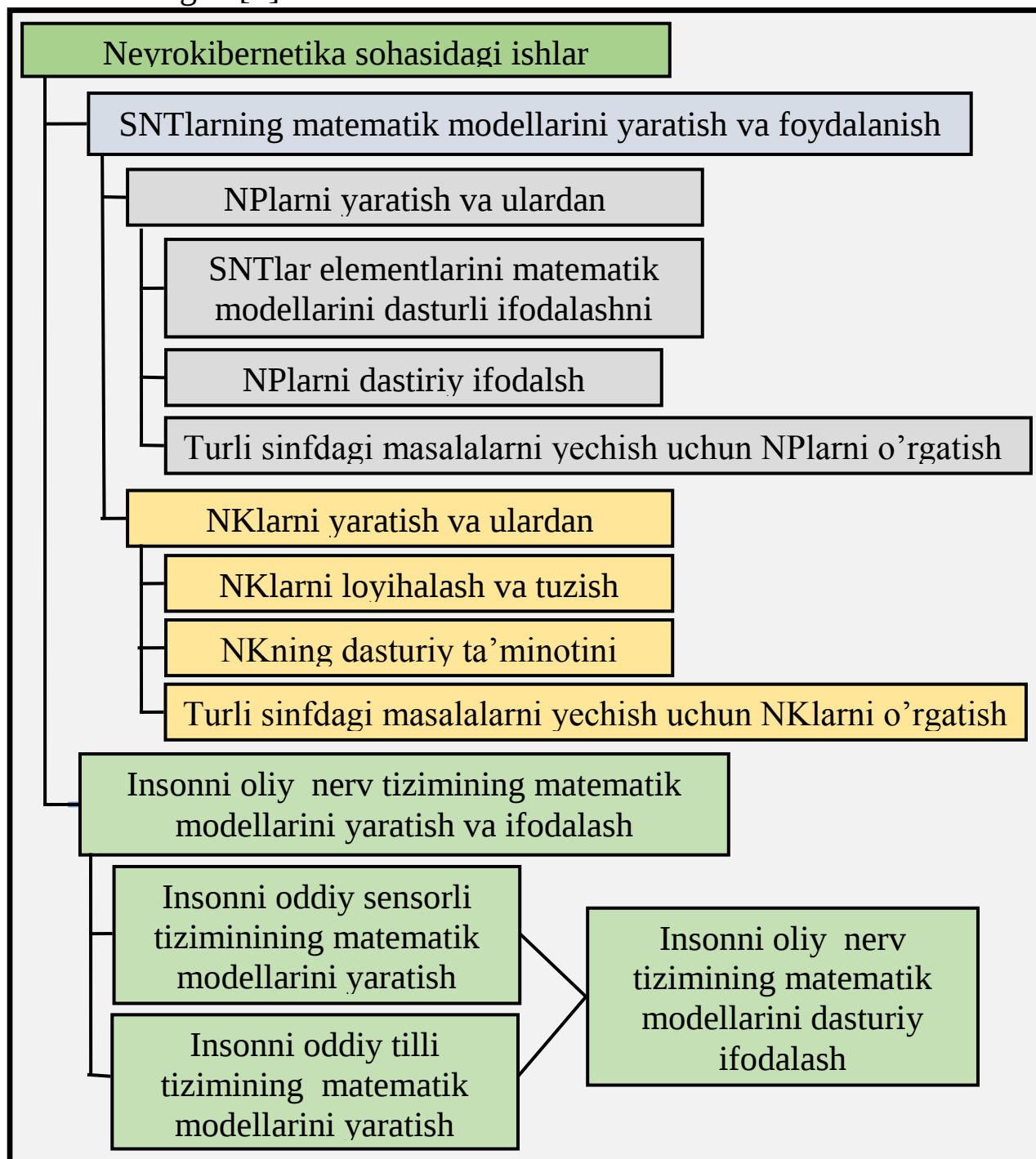
1. Rossiya fanlar akademiyasi qoshida *A.I.Galushkin* rahbarligidagi neyrokompyuter(NK)lar markazi. "Neyrokompyuterlar va ularning qo'llanilishi" nomli 28 tomlik kitoblarning chop etilishi hamda Umumrossiya ilmiy konferensiyaning davriy rivojlanishda o'tkazilishi uning keng miqyosda tanilishiga olib keldi.

2. Moskva davlat universitetida *A.V.Chechkin* rahbarligidagi neyrotexnologiyalar ilmiy maktabi. NKda bionik yo'nalishga talluqli "Insonning sensorli va tilli neyromodellarini yaratish" yo'nalishi olingan natijalari doirasida keng miqyosda tanilishiga olib keldi.

3. Krasnoyarsk davlat universitetida A.N.Gorban raxbarligidagi neyrotexnologiyalar ilmiy maktabi [7]. Ushbu maktab olimlari NTLarni o'rganishning o'ziga xos yangi algoritmlarini rivojlantirayapti va neyrokompyuting bo'yicha xalqaro konferensiyalarni o'tkazayapti.

Inson miyasi 10^{10} - 10^{11} neyronlardan iborat. Ular orasida mavjud bo'lgan aloqalar 10^{22} gacha etishi mumkin. Shuning uchun NTLarni tasvirlash va modellashtirish imkoniyatlari juda katta.

Neyrokibernetika sohasidagi ilmiy va amaliy ishlar strukturasi 7.1-rasmda keltirilgan [1].



7.1-rasm. Neyrokibernetika sohasidagi ilmiy va amaliy ishlar strukturasi.

Ajratilgan yo'nalishlardan birinchisi sun'iy neyronlardan NTlarni qurish va qo'llash bilan bog'liq. Ularni dasturiy ifodalash uchun *neyropaket*(NP)lar, fizik ifodalash uchun esa - *neyrokompyuter* (NK)lar yaratiladi.

Neyropaket deb -NKlar muhitini emulyatsiyalaydigan dasturlar tizimi tushuniladi.

NPlarni sinflash [1] ishda taklif qilingan bo'lib, unga asosan sakkizta asosiy sinflarga ajratilgan:

1. Boshqa NPlarni yaratish uchun NPlar (NPlarni qurish uchun asboblari).

2. Universal NPlar. Universallik deganda-turli strukturali va turli o'rganuvchi algoritmlar bilan SNTlarni modellashtirish imkoniyatlari tushuniladi

3. Murakkab funktsionalli va maxsuslashtirilgan vositalar uchun neyronlardan foydalanuvchi maxsuslashtirilgan NP: tasvirlarni ishlash, obyektlarni anglash, qo'lyozma va bosma simvollarini anglash, nutqlarni anglash, dinamikli tizimlarni boshqarish, moliyaviy tahlil va b.q.

4. Neyronli ETlar.

5. SNTni genetik o'rganish paketlari;

6. SNTdan foydalanuvchi noravshaan mantiqiy paketlar;

7. Offisidan foydalanuvchi integrallashgan paketlar.

Birinchi sinfli NPlarga misollar:

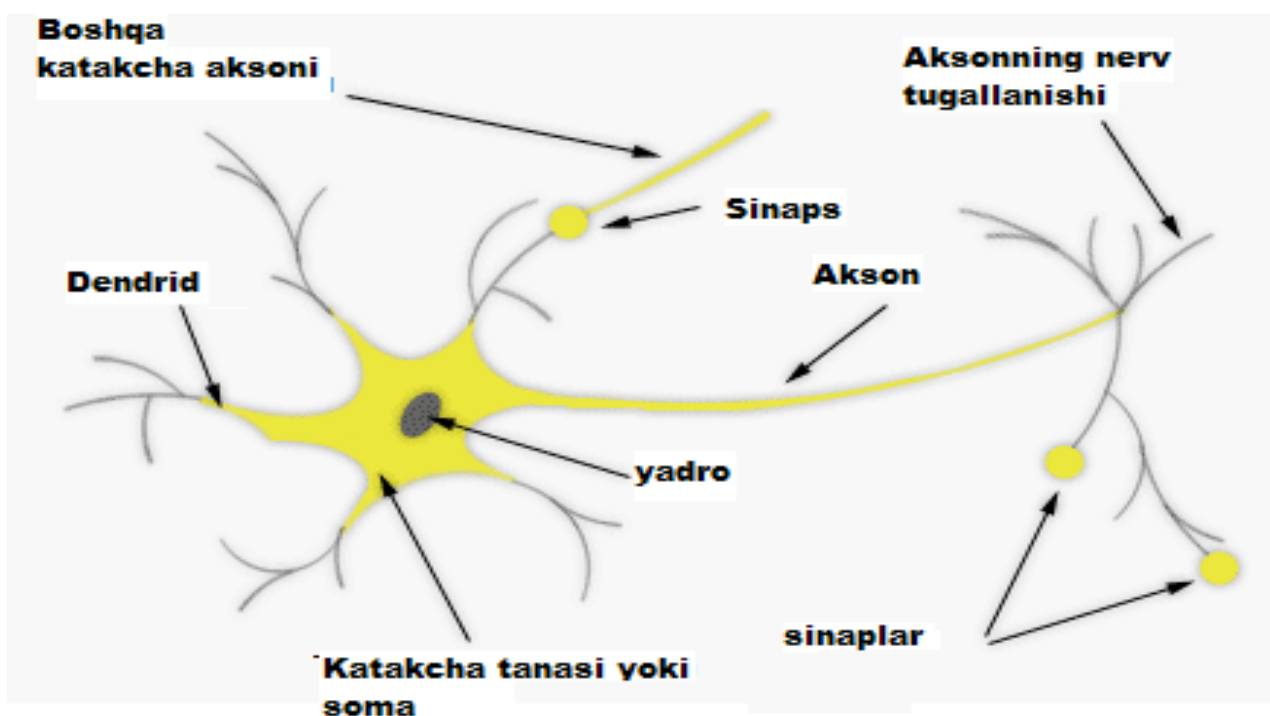
- OWL (yaratuvchi -Hyper Logic Sof.);
- Neuro Windows (yaratuvchi -Ward Systems Group);
- NNet+ (yaratuvchi -Neuro Metric Vision System);
- Neural Network Toolbox for Matlab (yaratuvchi -Math Works);
- NeuroOffice (yaratuvchi -ЗАО «Альфа Систем»).

2-§. Neyronli to'rlarning asosiy tushunchalari va elementlari

Asosiy tushunchalar. Neyron bosh miyaning tarkibiy birligi bo'lib, ularni o'zaro harakati axborotni qayta ishlash jarayonida elektr signallarni uzatish va ketma-ket, parallel, kuchaytirish-kamaytirish, noxiziqli qayta o'zgartirish, jamlash kabi qayta o'zgartirishlar yo'li bilan bajariladi. Sun'iy neyron modeli biologik neyronning funktsional xususiyat va xossalarini aks etadi (7.2-rasm).

Neyron— elektr faolliklikka ega bo'lgan va organizmni operativ boshqaradigan tirik organizmlar nerv hujayralarining alohida turi hisoblanadi. Neyron tarkibi: *soma (tan), dendritlar* - kirish axborotlarni va

akson - chiqish axborotlarni uzatadigan o'simtalaridan iborat bo'ladi. Har bir neyron faqat bir akson va bir necha dendritlardan iborat. Neyronning chiqish signali (qo'zg'alishi, impulsi) boshqa neyronga nerv birikish (*sinaps*)lar orqali keladi. Bu holatda qo'zg'alish signallari kuchaytirilishi yoki kamaytirilishi mumkin. Shuning uchun neyron tanasi kirishiga ikki turdagi - qo'zg'alishli va tormozlanishli signallar keladi. Neyron tanasi - bu signallarni algebraik jamlab, shu jamlangan signal ustida noxiziqli qayta o'zgartirish amalini bajaradi. Jamlangan signal qiymati qandaydir chegarali qiymatidan oshgan holatda neyron qo'zg'aladi va chiqish signalni boshqa neyronlarga yuboradi.



7.2-rasm. Biologik neyron.

NTli hisoblashlarning matematik asosi - har qanday ko'p o'zgaruvchilardan bog'liq bo'lgan noxiziqli funktsiyani oldindan belgilangan aniqligi bilan chiziqli amal va ketma-ket ulangan bir o'zgaruvchidan bog'liq bo'lgan noxiziqli funktsiyalar yordamida approksimatsiyalash (ifodalash) qoidasi bo'ladi.

NTli hisoblashlarning *asosiy xususiyatlari*: a) *konneksionistlik* - axborotni va qayta ishlash algoritmlarni eslash sifatida neyronlar orasidagi o'lchangan bog'lanishlardan foydalanish; b) *o'rgatish* - masalalarni berilgan sinfiga NTlarni sozlash jarayonida "dasturlash" funktsiyani bajarish.

Mazkur xususiyatlar NTlarni universallik, ommaviy parallellik va golografiklik (tuzilmaning qisman buzilishida ishlash jarayonini saqlash)

xossalar bilan ta'minlaydi.

NTli hisoblashlarning afzalligi quyidagi holatlarda ko'rinadi:

- masalalarni matematik usullar yordamida formallashtirish mumkin bo'lmaganda;

- mavjud formallashtiriladigan masalani yechish uchun matematik apparati mavjud bo'lmaganda;

- formallashtiriladigan masalani yechishning matematik apparati juda katta resurs(vaqt, texnika, energiya va boshqa)larni talab qilganda.

NTlar - ma'lumotlar oqimini tahlil qilib, undagi qonuniyatlarini o'rganib, o'z ishini takomillashtirish xususiyatiga ega bo'lgan algoritmlar to'plamining umumiy nomlanishi.

NT deb atalmish ushbu texnologiya shaxslarning bosh miyasi kabi tuzilgan bo'lib, murakkab masalalarni yechishda qo'llaniladi:

- murakkab tizimlar holatini tasniflash;
- og'zaki nutqni tushunib olish;
- texnologik jarayonlarni boshqarish;
- moliyaviy oqimlarni boshqarish;
- katta hajmdagi axborot oqimlardan iborat bo'lgan ilmiy, bashoratlash masalalarni yechish va boshqalar.

1990 - yillarda California Scientific SoftWare firmasi tomonidan ishlab chiqilgan NTli Brain Maker dasturi, harbiylarni buyurtmasiga binoan ishlab chiqilgan bo'lib, biznes masalalarini yechishga mo'ljallangan va keng qo'llanib kelinmoqda.

NTli texnologiya quyidagi ikki xususiyatdan iborat:

- ta'lim olish xususiyati, ya'ni aniq misollar orqali bilimini ko'paytirish;

- yangi vaziyatlarni tushunib olish yoki bashoratlash xususiyati, ya'ni bu yerda yechimi juda yuqori aniqlikda beriladi.

NT texnologiyasini qo'llash quyidagi bosqichlarga binoan bajariladi:

1-bosqich. Muammoni aniq ta'riflash. Bu yerda biz olishimiz zarur bo'lgan natijani aniq tasavvur qilishimiz shart. Masalan, obligatsilardan olinadigan foydani grafigi: investitsion loyihani maqbulli ko'rsatkichi.

2-bosqich. Boshlang'ich ma'lumotlarni aniqlash va tayyorlash. Bu yerda jarayonni tasvirlovchi zaruriy aniq va to'liq ma'lumotlarni to'plash ko'zda tutiladi. Shu bois ushbu bosqichda o'rganiladigan muammo sohasi bo'yicha mutaxassis jalb qilinishi shart.

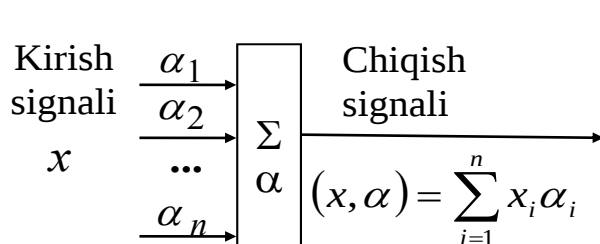
3-bosqich. Tizimga ma'lumotlarni kiritish, testdan o'tkazish. Ushbu

bosqichdan asosiy maqsad -asosiy vaziyatlarni tashkillashtirish va ma'lumotlarni ushbu vaziyatlar bo'yicha taqsimlash.

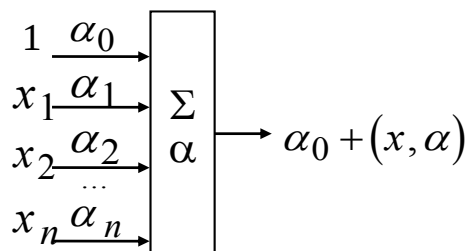
Neyronli to'rlarning elementlari. Neyroinformatikada algoritmlar va qurilmalarni tavsiflash uchun maxsus "sxemotexnikalar" shakllantirilgan bo'lib, ulardagi elementar qurilmalar: summatorlar, sinapslar, neyronlar va boshqalar masalalarni yechish uchun to'rlarda birlashgan bo'ladi.

Neyroinformatikada foydalaniladigan haqiqiy sxemotexnikalar NTlarni tasvirlashning o'ziga xos tilini va ularni muxokama qilishni o'zida namoyon etadi.

Neyrotizimlarning eng muhim elementlaridan biri-bu *adaptivli (moslashuvchan) summator* hisoblanadi. Adaptivli summator x kirish signalini vektorini α parametrlar vektoriga skalyar ko'paytmasini hisoblaydi. Sxemada uni 7.3-rasmda ko'rsatilgandek belgilaymiz. Uni adaptiv deb atashimizning boisi-unda α parametrlarga moslashuvchi bektorning mavjudligidir. Ko'pchilik masalalarda chiqish signallarining chiziqli birjinslimas funksiyalariga ega bo'lish foydali hisoblanadi. Uni hisoblashni ham 0-li kirishda doimiy bitta signaldan olinadigan $(n+1)$ kirishdan iborat adaptivli summator yordamida tasvirlash mumkin (7.4-rasm).



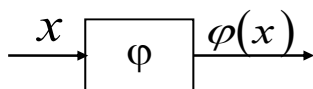
7.3.-rasm. Adaptivli summator.



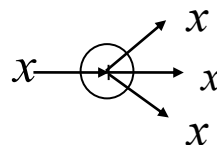
7.4-rasm. Birjinslimas adaptivli summator.

Signalni chiziqsiz o'zgartirtkich 7.5-rasmda tasvirlangan. U skalyarli x kirish signalini oladi va uni $\varphi(x)$ fumksiyaga aylantiradi.

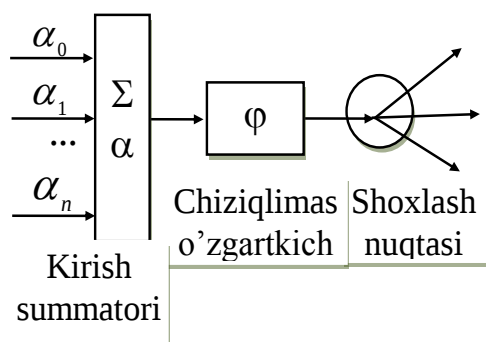
Shoxlash nuqtasi bitta signalni bir nechta manzillarga tarqatish uchun xizmat qiladi (7.6-rasm). U skalyarli x kirish signalni oladi va uni o'zining barcha chiqishlariga uzatdi. Standartli formal neyron kirish summatori, chiziqsiz o'zgartkich va chiqishdagi shoxlash nuqtalaridan iborat bo'ladi (7.7-rasm).



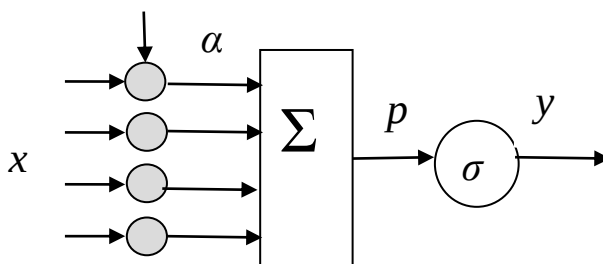
7.5-rasm. Signalni chiziqlimas o'zgartkich.



7.6-rasm. Shoxlash nuqtasi.



7.7-rasm. Formal neyron.



7.8-rasm. Neyronga misol.

Misol. Ko'pchilik NTlarda foydalaniladigan neyronlar 7.8-rasmda keltirilgan struktura ko'rinishida bo'ladi.

7.8-rasmda quyidagi belgilashlardan foydalanilgan:

x - neyronning kirish signallar vektori;

α - neyronning sinaptikli vaznlari vektori;

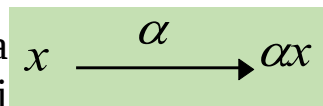
Σ - neyronning kirish sigallari summatori;

$p = (\alpha, x)$ - kiruvchi summatorning chiquvchi signali;

σ - funksional o'zgartkich;

y - neyronning chiquvchi signali.

Chiziqli aloqa-sinaps-summatordan alohida uchramaydi, lekin ba'zi bir fikrlashlarda bu elementni alohida ajratish qulay hisoblanadi (7.9-rasm). Agar sinapsning kirish signalini x , sinaptikli vaznini esa α yordamida belgilasak, u holda sinapsning chiquvchi signali αx ga teng bo'ladi.

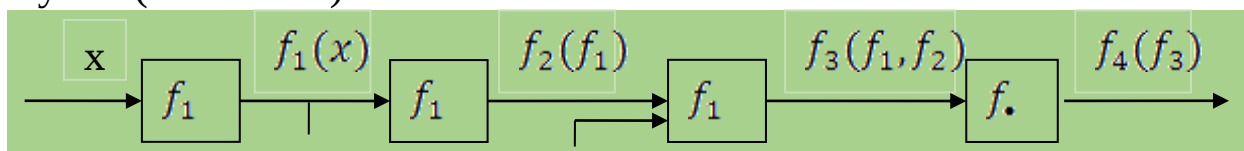


7.9-rasm

Aloqalarni faqat kirish signallari summatoriga emas, balki shoxlash nuqtasiga ham ulash foydalali bo'lishi mumkin. Natijada adaptivli summatorga ikkiyoqlama va "chiqishli yulduz" deb nomlanuvchi elementni hosil qilamiz. Uning chiqish aloqalari signalni o'zining vazniga ko'paytirishdan hosil bo'ladi.

Demak, NTlarni hosil qilidigan asosiy elementlarga tavsif berildi.

To'rlarning to'g'ri aloqali ishlashi. To'rlarning masalani yechish jarayonida bajaradigan ishini bundan keyin to'g'ri aloqali ishlash deb ataymiz (7.10 -rasm).

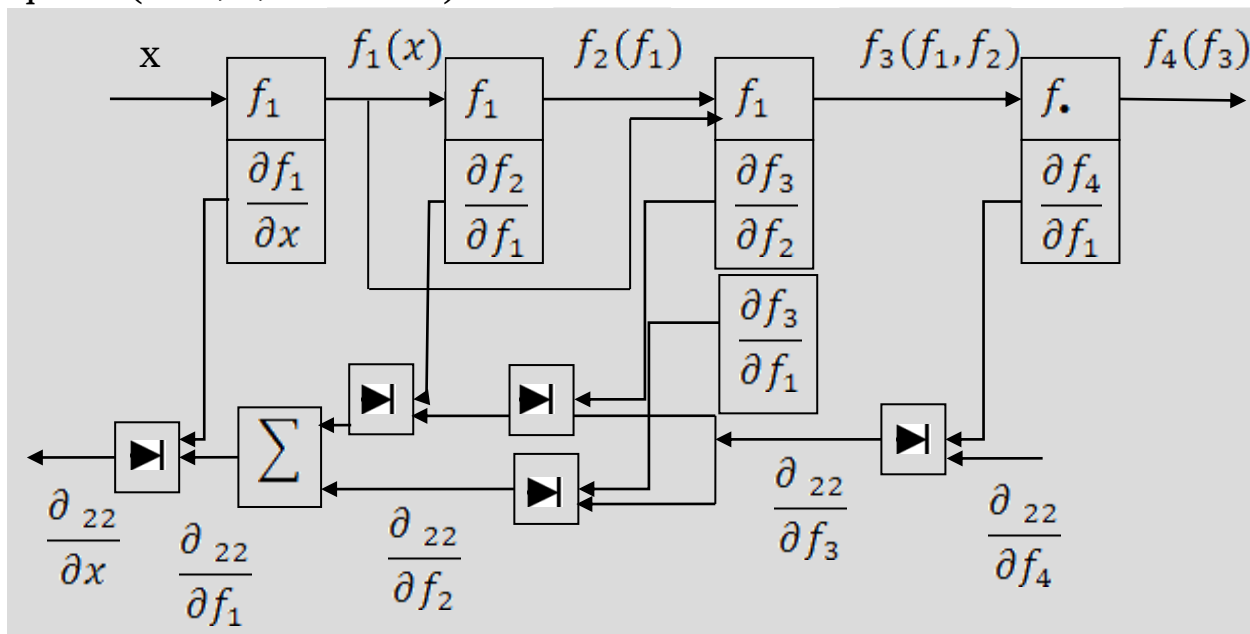


7.10-rasm. To'g'ri yuklanmaydigan tarmoqlarning ishlashi.

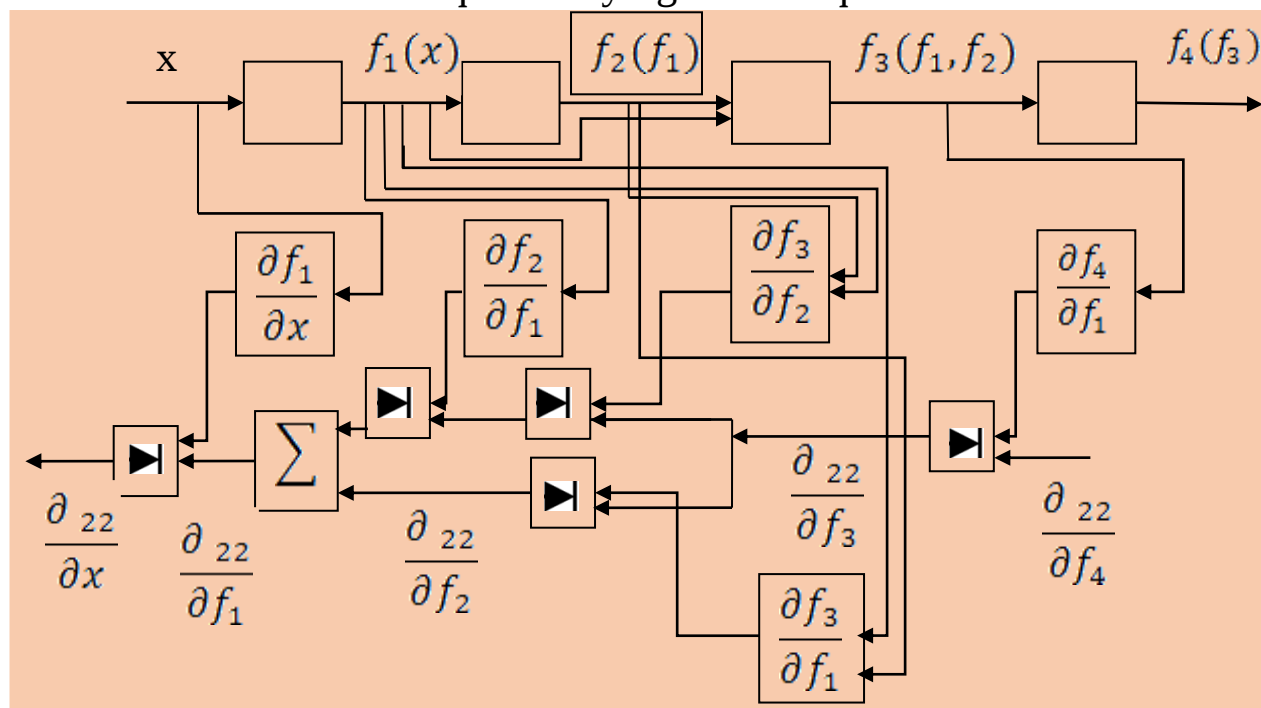
NTlarni hatoliklarning teskari tarqalishli neyronli to'ri usuli bilan o'rganishda teskari aloqali ishlashni bajarishni amalga oshira bilish kerak. Bundan keyin ananaviy ravishda o'rgatish mumkin emas deb hisoblangan,

lekin shakllantiriladigan (masalan, Xopfield to'rlari) NTlarni ham o'rgatishga imkoniyat yaratadigan *teskari aloqali ishlash* jarayoni ko'rsatiladi.

Teskari aloqali ishlash deb to'rlarning shunday ishlash jarayoni tushuniladiki, bunda ikkitaraflama to'rlarning kirishiga qandaydir signallar beriladi va ular ikkitaraflama to'rlarning aloqalari bo'yicha keyingilarga tarqaladi (7.11, a, b-rasmlar).



a) A.N.Gorbanning usuli bo'yicha to'g'ri yuklangan va teskari aloqali ishlaydigan tarmoqlar.



b) Unifikatsiyalastirilgan(bir shaklga keltirilgan) usul bo'yicha tarmoqlarning to'g'ri va teskari aloqali ishlashi.

7.11-rasm. To'rlarning ishlash sxemasi.

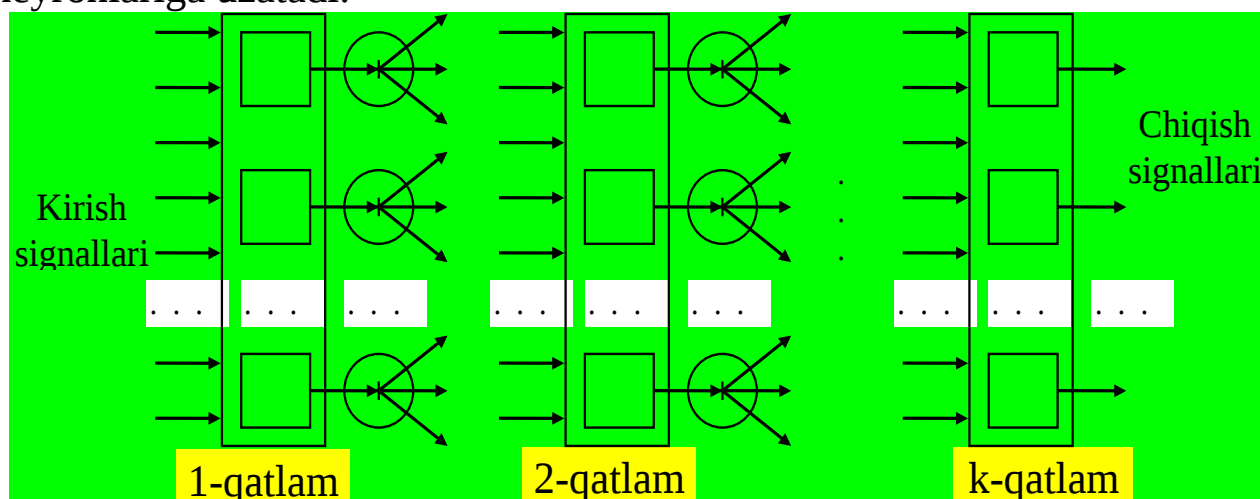
Teskari aloqali ishlashda signallarning o'rgatuvchi parametrlarga ikkitaraflama bo'lgan element orqali o'tishida ushbu element parametrlariga kiritiladigan tuzatishlar hisoblanadi. Agar uzluksiz elementli to'rlarga ikkitaraflama to'rlarning kirishiga chiqish signallaridan bog'liq qandaydir ixtiyoriy F funksiyaning hosilasi berilsa, u holda to'r yordamida hisoblanadigan tuzatmalar to'rlar parametrlari bo'yicha o'rgatuvchi F funksiyaning gradiyentli elementlari bo'lishi kerak.

3-§. Neyronli to'rlar arxitekturalari

Endi NTlarni qanday qilib qurish masalasini qaraymiz. NTlarni qurish uchun bir qancha standart arxitekturalardan foydalaniladi va ulardan ortiqchasini olib tashlash yoki ulatga qo'shish yo'li bilan ko'plab foydalaniladigan to'rlar quriladi.

NTlar to'plamida ikkita bazaviy arxitekturalarni ajratish mumkin: *qatlamli va to'labog'langan* to'rlar.

Qatlamli to'rlar. Bu holda neyronlar bir nechta qatlamlarda joylashdi (7.12-rasm). Birinchi qatlamdagi neyronlar kirish signallarini qabul qiladi, ularni almashtiradi va shoxlash nuqtalari yordamida ikkinchi qatlam neyronlariga uzatadi.



7.12-rasm. Qatlamli to'r.

To'labog'langan to'rlar. Har bir neyron o'zi bilan birgalikda chiquvchi signallarini qolgan neyronlarga uzatadi. *To'rlarning chiquvchi signallari*-barcha signallar yoki to'rlarning bir nechta taktlarining ishlashi natijasida hosil bo'lgan ba'zi bir chiquvchi signallardan iborat bo'lishi mumkin. Bunda barcha kirish signallari barcha neyronlarga uzatiladi.

Qatlamli va to'labog'langan to'rlarning elementlari turlicha

ajratilishi mumkin. Bunda kirishda adaptivli birjinslimas chiziqli summatoridan iborat neyronni standartli tanlash uslubi mavjud (7.8-rasm).

To'labog'langan to'rlar uchun neyronning kirish summatori ikkiga tarqaladi: *birinchisi*-to'rlarning kirish signallarining chiziqli funksiyasini hisoblaydi, *ikkinchisi* esa-oldingi qadamda olingan boshqa neyronlarning chiquvchi signallarining chiziqli funksiyasini hisoblaydi.

Summatorning chiquvchi signalini almashtiruvchi φ -chiziqlimas o'zgartkichning neyronlarni faollashtiruvchi funksiyasi (xarakteristikali funksiyasi) to'rlarning barcha neyronlari uchun bir xil bo'lishi mumkin (7.8-rasmga qarang). Bu holda to'r *birjinsli (gomogenli)* deyiladi. Agarda φ -chiziqlimas o'zgartkich qiymatlari neyrondan neyronga o'tganda o'zgaradigan yana bitta yoki bir nechta parametrlardan bog'liq bo'lsa, u holda bunday to'r *birjinslimas (zemepozehli)* to'r deb ataladi.

Agar to'labog'langan to'r berilgan k taktlar soni bo'yicha javobni olguncha ishlasa, u holda uni *k-qatlamli to'rlarning* xususiy holi sifatida tasvirlash mumkin. Bu holda to'labog'langan to'rda barcha qatlamlar bir xil bo'ladi va ularning har biri to'labog'langan to'rning taktiga mos keladi.

To'labog'langan va qatlamli to'rlar o'rtasidagi muhim farq mavjud boladi, qachonki taktlar sonining ishlashi oldindan chegaralanmagan bo'lsa. *Qatlamli to'rda* taktlar sonining ishlashi oldindan chegaralangan, *to'labog'langan to'rda* esa - chegaralanmagan bo'ladi. Shuning uchun *qatlamli to'r to'labog'langan to'rning xususiy xoli hisoblanadi*.

4-§. Neyronli to'rlarni obyektlarni anglab olishga o'rgatishning umumiy sxemasi va uslubiy jihatlari

NTlarni obyektlarni anglab olishga o'rgatishning umumiy sxemasi.
NTlarni obyekt(misol)larni anglab olishga o'rganish uchun obyektlardan iborat *o'rgatuvch tanlov zarur bo'ladi*. Har bir obyekt kiruvchi parametrlar tasvirlanadi va oldindan ma'lum bo'lgan javoblar bilan beriladi. Masalan, tibbiy tashxislash masalasida kiruvchi parametrlar sifatida bemorning tibbiy xususiyatlaridan foydalanilsa, oldindan ma'lum bo'lgan javob sifatida unga qoyiladigan diagnoz hisoblanadi.

NTlarni obyektlarni anglab olishga o'rgatishning umumiy sxemasini qaraymiz.

1. O'rgatuvchi tanlovdan joriy (boshida birinchi) obyekt olinadi va uning kiruvchi parametrlari o'rgatuvchi NTlarning kiruvchi sinapslariga uzatiladi. Odatda obyektning har bir kiruvchi parametri unga mos kiruvch

sinapsiga uzatiladi.

2. NT berilgan sondagi taktlarning bajarilishini amalga oshiradi va kiruvchi signallarning vektori neyronlar o'rtasidagi bog'lanishlar bo'yicha tarqaladi (to'g'ri ishlash).

3. Neyronlar yordamida hosil qilingan chiquvchi signallar deb ataluvchi signallar o'lchanadi.

4. Hosil qilingan signallarni izohlash amalga oshiriladi va to'r yordamida obyektida mavjud bo'lgan javobning talab etilayotgan javob bilan farqli tomonlarini xarakterlaydigan baho hisoblanadi. Bu baho mos funksiyalar baholari yordamida hisoblanadi. Baho qancha kichik bo'lsa, u holda to'r yordamida olingan javob talab qilingan javobga shuncha yaqin bo'ladi. Agar baho nolga teng bo'lsa, u holda oldindan ma'lum bo'lgan javobga erishildi deb hisoblanadi.

5. Agar obyekt bahosi nolga teng bo'lsa, u holda hech qanday ish amalga oshirilmaydi. Aks holda baholar asosida aloqalar matritsasining har bir sinaptikli vazni uchun tuzatish koeffitsiyentlari hisoblanadi, undan keyin esa sinaptikl vaznlarni moslashtirish amalga oshiriladi (teskari ishlash amalga oshiriladi). To'rlarning vaznlarini bunday to'g'rilash esa-to'rlarni obyektни anglashga o'rgatish deb ataladi.

6. Navbatdagi obyekt olinadi va yoridagi qadamlardagi amallar takrorlanadi. O'rgatuvchi tanlovning birinchi obyektidan oxirgi obyektigacha barcha obyektlarni tekshirish to'rni obyektlarni anglashga o'rgatishning bitta sikli deb ataladi.

Siklning bajarilishida har bir obyekt o'zining bahosiga ega bo'ladi. Bundan tashqari o'rgatuvchi tanlovdagi barcha obyektlar to'plamining yig'indi bahosi hisoblanadi. Agarda siklning bir nechta qadamidan keyin obyektlar to'plamining yig'indi bahosi nolga teng bo'lsa, u holda to'r yordamida o'rgatish jarayoni to'xtaydi, aks holda sikllar takrorlanadi.

To'liq o'rgatishga erishish uchun o'rgatish sikllarining soni ko'plab faktorlarga bog'liq bo'ladi. Bu faktorlarga o'rgatuvchi tanlovning hajmi, kiruvchi parametrlarning soni, obyektning ko'rinishi, NTlar turi va parametrlari hamda to'rlar nomlanganda ushbu to'rlarda vaznlarning tavakkal joylashishi kiradi.

NTlarni obyektlarni anglashga o'rgatishning uslubiy jihatlari. Ba'zi hollarda shunday holatlar uchraydiki, bunda to'r obyektни anglashga o'rgata olmaydi. Bu shunday holatda ro'y beradiki, qachonki o'rgatishning qandaydir pog'onasida o'rgatuvchi parametrlar va natijalar o'rtasidagi qonuniylikni bundan keyin izlash imkoniyatlari mumkin bo'lmay qoladi. Masalan, oddiy holatda to'rga bir hil parametrlarga ega bo'lgan turli

sinflarga tegishli ikkita obyekt yoki turli javov qiymatiga ega bo'lgan ikkita obyekt berilishi mumkin. Korinib turibdiki, bu holda *ikkita obyekt fazoning bitta nuqtasiga tushadi*, shuning uchun ularni bir-biridan ajratish mumkin bo'lmaydi va o'rgatish jarayoni to'xtaydi. NTlarni boshqaruvchi dastur o'rgatish jarayonining to'xtaganligi haqida signal beradi va bundan keyin o'rgatish jarayoni mumkin emasligini ko'rsatadi. Bu holatda NTlarni obyektlarni anglab olishga o'rgatuvchi mutaxassisning vazifasi bunday holatlarning oldini olishdan iborat, ya'ni bunday holat ro'y bermasligi uchun u masalani *qat'iy qo'yishi* va o'rgatuvchi tanlovni *sinchkovlik* bilan nazorat qilishi talab etiladi.

NTlarni obyektlarni anglab olishga o'rgatishda yana bir muhim jihatni e'tiborga olish zarur. *O'rgatish yutug'i* umuman ko'p hollarda to'rlardagi *neyronlar soniga* yoki aniqrog'i *to'rlar soniga* bog'liq. Chunonchi, tamoqlardagi "*tajriba*" to'rlarning vaznli koeffitsiyentlarida saqlanadi. *Nazariy jihatdan neyronlar va to'rlar sonini cheksiz ko'paytirish natijasida hammavaqt berilgan o'rgatuvchi tanlovda NTlarni to'liq o'rgatishga erishish mumkin*. Bu holda eng muhim masala o'rgatuvchi NTlarning nafaqat *o'rgatuvchi tanlovdagi obyektlarni*, balkim o'rgatuvchi tanlovga kirmagan *yangi obyektlarni* ham yaxshi anglab olishi eng muhim masala hisoblanadi.

5-§. Neyronli to'rlar yordamida yechiladigan asosiy masalalar

Quyida keltiriladigan predmet sohalarining har birida NTlar uchun masalaning qo'yilishini aniqlashtirish mumkin. Hozirgi kunda bunday masalalarni yechishning muvaffaqiyatli amaliy tadbqiqiy sohalarini birma-bir qarab chiqamiz.

Iqtisodiyot va biznesda: vaqtga doir qatorlar (valyuta kurslari, kursi, tovar narxi, savdo hajmi, ...), avtomatlashtirilgan savdo (valyuta, aksiyalari yoki tovar birjasida savdo), kreditning qaytmaslik xavflarini baholash, bankrotlikni va ko'chmas mulkni baholash, reytingni baholash, tovar va pul oqimlarini optimallashtirish, chek va hujjatlarni o'qish va anglab olish, plastik kartochkalar bo'yicha tranzaksiyalar xavfsizligi.

Tibbiyotda: bemorga tashxis qo'yish, tibbiy tasvirlarni qayta ishlash, bemorning holatini monitoringlash, davolash samaradorligini tahlil qilish, tibbiy asboblarni shovqin(xatolik)lari ko'rsatkichlarini tozalash.

Aviatsiyada: o'qitilgan avtopilotlar, radar signallarini anglash, kuchli zarar ko'rgan samolyotni adaptiv boshqaruvi, uchuvchisiz uchish apparatlari - dronlarni boshqarish.

Aloqada: video axborot siqishni, tezkor kodlash-dekodlash, to'r va paketli marshrutlash loyihalarni optimallashtirish.

Internetda: axborotni assotsiativ qidirish, internetda elektron kotiblar va muxtor agentlar, spamlarni filtrlash va to'sib qo'yish, yangiliklar lentasidan xabarlarni avtomatik bo'limlarga ajratish, elektron tijorat uchun avto manzilli reklamalar va marketing.

Ishlab-chiqarishni avtomatlashtirishda: ishlab-chiqarish jarayonlarining holatini optimallashtirish, mahsulot sifatini nazorat qilish, ko'p o'lchovli dispetcherli ma'lumotlarni monitoringlash va vizuallashtirish, favqulodda vaziyatlar haqida xabar berish.

Robototexnikada: robot oldindagi ko'rish maydonini, obyektlarni va to'siqlarni anglashi, harakat yo'lini qurish; manipulyatorni nazorat qilish, muvozanatni saqlash.

Siyosiy va ijtimoiy texnologiyalarda: saylov natijalarini taxmin qilish; so'rovnomalarni tahlil qilish, reytinglar dinamikasini bashoratlash, muhim omillarni aniqlash, saylovchilarning klasterlarini aniqlash, aholini ijtimoiy dinamikasini o'rganish va tasvirlash.

Xavfsizlik va qo'riqlash tizimlarida: shaxs yuzini anglash, barmoq izidan, ovozidan, imzosi va yuzidan shaxsini identifikatsiyalash, avtomashina davlat nomer belgisini anglash, aerokosmik tasvirlarni tahlil qilish, kompyuter to'rlarida axborot oqimini monitoringi va hujumlarni aniqlab berish, soxtalikni aniqlash, videodatchik va turli sensorlardan tushayotgan ma'lumotlarni tahlil qilish.

Axborotni kiritish va qayta ishlashda: qo'lyozma matnlarni anglash, skanerlangan pochta, to'lov, moliyaviy va buxgalteriya hujjatlarini anglash.

Geologik o'rganish(razvedka)da: seysmik ma'lumotlarni tahlil qilish, foydali qazilmalarni qidirishning assotsiativ uslublari, qazilma boylik manbalarini baholash.

NTlarning qo'llanilishining ushbu sohalari ko'pligi bejizga emas [7,15,16,19]. Haqiqatan ham NTlar - ma'lumotlarga ishlov berish va tahlil qilishning turli xil masalalarini yechish uchun kuchli va moslashuvchan vositalar majmuidir. Ya'ni:

1) Sinflash. Bunday masalalarda obyektning belgilar vektori $X_n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ beriladi. Bular asosida har bir obyektни o'zaro kesishmaydigan $C_1, C_2, \dots, C_m$ ($C_i \cap C_j = \emptyset, i \neq j, i, j = \overline{1, m}$) sinflardan biriga, ya'ni C_i sinfga kiritish kerak. Masalan, uchadigan obyektlarning belgilari qanotlar, dvigatel, patlar va h.k. bo'lishi mumkin. Bunday obyektlarning

sinflari: Samolyot, Qush, Raketa va h.k. kabilar bo'lishi mumkin. Belgilarning majmuisi kirish vektorini, sinflar majmuisi esa - chiqish vektorini tashkil qiladi.

Mazkur masalani yechish uchun n ta kirish va m ta chiqish neyronlardan iborat bo'lgan perseptron turdagi NT quriladi. Aniq belgilar vektori kirishga berilganda NTning chiqish qatlamida eng yuqori darajadagi faol neyron tanlanadi. Bu neyron beriladigan belgilarga muvofiq bo'lgan sinfni belgilaydi. Masala to'g'ri yechilishi uchun NTni o'rgatish kerak. O'rgatish jarayonida tadqiq qilinayotgan obyektlarning o'zgaruvchan bog'lanishli koefitsiyentlarining qiymatlari belgilar va sinflarning aniq qiymatlariga munosib etib moslanadi.

2) Klasterlash. Bu masalalarda belgilar majmuisi asosida obyektlar alohida klaster(sinf)larga ajratiladi. Bitta sinfga kiradigan obyektlar belgilar majmuisi bo'yicha bir-biriga yaqin bo'lishi kerak. Turli sinflarga kiradigan obyektlar esa belgilar majmuisi bo'yicha bir-biridan uzoq bo'lishi kerak. Bunday masalani yechish uchun dastlabki belgilar majmuasida qatnashadigan belgilar soniga teng bo'lgan kirish va sinflar soniga teng bo'lgan chiqish neyronlardan iborat bo'lgan NT quriladi. Bunday NTning vaznli koefitsiyent qiymatlari o'rgatish jarayonda topiladi.

3) Approksimatsiyalash. Bunday masalada izlangan $F(x)$ funksiyaga to'g'ri keladigan va $d[F(x), F^*(x)] < \varepsilon$ qanoatlantiradigan approksimatsiyalovchi $F^*(x)$ funksiyasi tanlab olinadi. Bu yerda ε - funksiyalar o'rtasidagi masofa uchun berilgan kichik qiymat (porog).

Umumiy holda $F(x)$ funksiyaning ko'rinishi noma'lum bo'ladi. U $x_1 \rightarrow y_1, x_2 \rightarrow y_2, \dots, x_n \rightarrow y_n$ turdagi "kirish - chiqish" qiymatlar juftligi bilan beriladi. Bu yerda x_i - kirish o'zgaruvchilar qiymatlari, y_i esa chiqishdagi funksiyalar qiymatlari. An'anaviy matematik usullardan foydalanib, avval kerakli approksimatsiyalash modeli ($F^*(x)$ funksiyaning ko'rinishi) tanlab olinadi. Keyin tanlab olingan mezonlar bo'yicha $F^*(x)$ funksiyaning koefitsiyentlari topiladi.

NTlar universal approksimatorlar bo'lib, approksimatsiyalovchi $F^*(x)$ funksiyani tanlab olishni talab qilmaydi. Bu yerda NTni o'rgatish uchun faqat qayd qilingan $\{x_i \rightarrow y_i\}$ juftlar qaraladi.

Bu masala obyektlarni identifikatsiyalashda, ularning aniq matematik modellarini qurish murakkab bo'lgan holatlarda keng qo'llaniladi.

4) Avtoassotsiatsiya. Bu masala assotsiativ xotira modellarini qurish

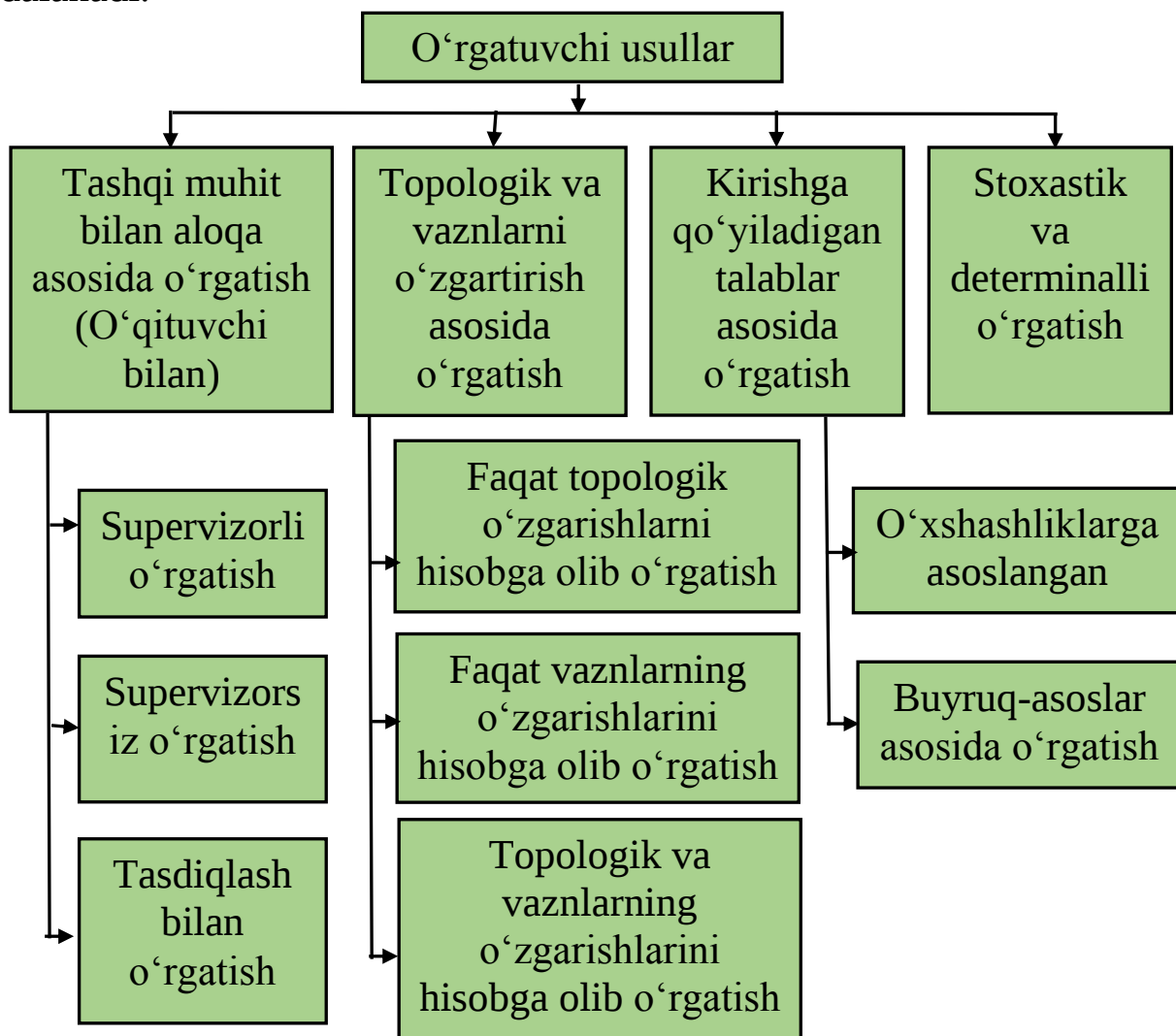
masalasi bilan bog'liq. Assotsiativ xotirali neyron modelida neyron guruhlar orqali tegishli obyektlarning ba'zi qismlarini xotiraga olinishi ta'minlanadi. Bunday NTning kirishiga obyektning qismi berilganda uning chiqishida butun obyektни tavsiflaydigan neyronlarning barchasi faollashtiriladi.

Shuni qayd qilish kerakki, bir qatlamli NTlar faqat sodda masalalarni yechish qobiliyatiga ega. Murakkab masalalarni yechish uchun turli tipdagi ko'p qatlamli NTlar ishlatiladi.

6-§. Neyron to'rlarni o'rgatish usullari

O'rgatish jarayonida NT ning bog'lanishli vazn koeffitsiyenti, chegara va tuzilma kabi qiymatlari to'g'rilanadi. Shu holatda mazkur parametrlarning boshlang'ich qiymatlari odatda tasodifiy ravishda beriladi.

NTning o'rgatish usullari tasnifi 7.13-rasmda keltirilgan ko'rinishda ifodalanadi.



7.13-rasm. NTning o'rgatish usullari tasnifi.

Tasnifning eng asosiy ko'rsatkichlaridan biri-bu tashqi muhit bilan o'zaro aloqaning mavjudligi. O'rgatish jarayonida tashqi muhitdan keladigan axborotning miqdori va sifati(semantikasi, ma'nosi)ga ko'ra supervizorli (supervised learning), nosupervizorli (unsupervised learning) va tasdiqlash (reinforcement learning)ni o'rgatadigan usul (algoritm)larga ajratiladi.

Supervizorli usulda oldindan barcha o'rgatish juftlaridan iborat bo'lgan o'rgatish to'plami shakllanadi. O'rgatish jufti X kirish va unga muvofiq bo'lgan Y chiqish vektorlar qiymatlari bilan ifodalanadi. Bu holatda har bir x_i kirish vektorining i - komponentasi i - kirish neyronga keladigan signalga muvofiq bo'ladi. Shunga o'xshash har bir y_j chiqish vektorning j - komponentasi j -chiqish neyronda paydo bo'ladigan signalga muvofiq bo'ladi.

O'rgatish jarayonida chiqish vektorlarining qiymati berilgan kirish vektorlarining qiymatlariga muvofiq oldindan berilgan chiqish qiymatlarining og'ishlarini hisobga olib topiladi. Bu og'ishlarning qiymatiga muvofiq NTning parametrlari mazkur og'ishlar qiymatlarini minimum(berilgan)ga keltirish bilan to'g'irlanadi. Supervizorli o'rgatish algoritmlarining orasida eng keng tarqalgani xatoliklarni (to'lqinlarni) teskari tarqatish algoritmi (error backpropagation) hisoblanadi.

Supervizorsiz usullarda o'rgatish to'plami faqat kirish vektorlari majmaisini o'z ichiga oladi. Bu holatda qo'llaniladigan raqobatli o'rgatish algoritmi (competitive learning) klasterlash masalalarini yechish uchun NTning parametrlarini to'g'rilaydi. O'rgatish jarayonida tegishli klasterga kiradigan kirish komponenta(neyron)lari va bu klasteri tavsiflaydigan chiqish neyronlari orasidagi bog'lanishli vaznlarning qiymatlari maksimal darajada ko'paytiriladi. Shuningdek, chiqish neyronining faol bo'lmagan kirish neyronlari bilan bog'lanishli vaznlar qiymatlari kamaytiriladi.

Tasdiqlash bilan o'rgatish usullari yuqorida keltirilgan ikkita usulning o'rtasida turadi. Bu usulning asosiy tamoyili tashqi muhitdan (o'qituvchidan) keladigan "Tasdiqlash-rad qilish" yoki "Rag'batlantirish-jazolash" (reward/penalty) signalining mavjudligi bo'ladi. Bunday o'rgatish jarayonida navbatdagi kirish vektori berilganda NTning harakati qoniqarli bo'lsa, u holda tasdiqlash («+1») signal, aks holda - rad qilish («0» yoki «-1») signal orqali bajariladi. Bu holatda to'rdasda tasdiqlash signallarini olish tezligini oshirishni ta'minlash maqsadida vazn koeffitsiyentining qiymatlarini tegishli ravishda o'zgartiradi. Bu vazn koeffitsiyentining qiymati maqbul darajasiga yetmaguncha o'rgatish

jarayoni davom etadi.

Tuzilmali o'rgatish usullari endi rivojlana boshladi. Ular murakkab masalalarni yechish uchun mo'ljallangan NTni qurishga imkoniyat beradi.

Kirishlarga quyiladigan talablar bo'yicha o'xshashliklarga va yagona buyruqqa asoslangan o'rgatish usullariga ajratiladi. Bu holatda tadqiq qilinadigan obyektlarni tavsiflaydigan etalon to'plam shakllanadi. Berilgan etalonga muvofiq NT parametrlari shunday qilib tanlanadiki, kirish belgilarining tegishli qiymatlarida faqat mazkur belgilarga ega bo'lgan chiqish neyronlari faollashishi kerak.

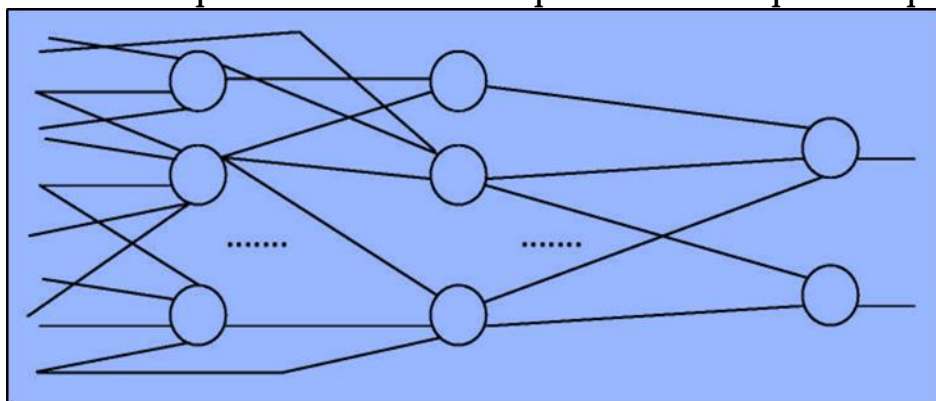
Stoxastik o'rgatish usullari ehtimolli qoidalarga, determinalli usullar esa - aniq qoidalarga asoslanadi.

7-§. Neyronli to'rlar tavsifi

7.1. Neyronli to'rlarning turlari

Ma'lum ko'rinishda bog'langan neyronlardan (tugunlardan) ma'lum sondagi kirish va chiqishlarga ega bo'lgan NTlar quriladi. Odatda uch turdagi neyronlarni ajratish mumkin: kiruvchi, chiquvchi va neyronning yashirin qatlamlari (7.14-rasm).

Kiruvchi qatlam Yashirin qatlam Chiquvchi qatlam



7.14-rasm. To'g'ri bog'lanishli NT.

NTlarning faoliyati ikki bosqichdan iborat bo'ladi: *to'zni kiruvchi axborotga o'rgatish* (kiruvchi vektor) va *o'rgatilgan to'rdan kiruvchi vektorlarni aniqlash* uchun qo'llash. Oxirgi bosqich odatda testdan o'tkazish deyiladi.

NTlarning ba'zi modellarida kiruvchi va chiquvchi signallar ajratilmaydi (masalan, Xopfield modeli) va to'ring ularga mos kirishlari (chiqishlari) to'ring faoliyat ko'rsatish jarayonida o'z vazifalarini almashishi mumkin.

Hozirgi kunda NTlarning juda ko'p xilma-xilliklari mavjud. Ularni to'rt tuzilishi, neyron modelining xususiyatlari, o'qitish xususiyatlariga ko'ra ajratishadi.

Tuzilishiga ko'ra NTlarni to'liqsiz bog'lanishli (yoki qatlamli) va to'liq bog'lanishli, tasodifiy va regulyar (qat'iy) bog'lanishli, simmetrik va nosimmetrik bog'lanishli kabi turlarga ajratish mumkin.

To'liqsiz bog'lanishli NTlar to'liqsiz bog'langan yo'naltirilgan graflar bilan tavsiflanadi. Bunday NTlarning keng tarqalgan turi *perseptronlar* hisoblanadi. Ular bir qatlamli (oddiy perseptronlar) va ko'p qatlamli, to'g'ri, kesishuvchi va teskari bog'lanishli turlarga bo'linadi. *To'g'ri* bog'lanishli NTlarda j -qatlam neyronlari kirishlarda faqat i -qatlamdagi neyronlar, ya'ni quyi qatlamdagi neyronlar bilan bog'lanishi mumkin (bu yerda $j > i$). *Kesishuvchi bog'lanishli* NTlarda bir qatlam ichida bog'lanishga ruxsat beriladi, ya'ni yuqorida keltirilgan tengsizlik $j \geq i$ ga almashadi. *Teskari bog'lanishli* NTlarda $j < i$ bo'lganda j -qatlamning kirishlarda i -qatlam bilan aloqasi ham ishlatiladi. Bundan tashqari bog'lanish shakliga qarab perseptronlar *regulyar* va *tasodifiy* bog'lanishli turlarga ajratiladi.

Kirish va chiqishlarda ishlatiladigan signallarga qarab NTlar *analog* va *binar* turlarga bo'linadi.

Vaqtning modellashtirish bo'yicha NTlar *uzluksiz* va *diskret* vaqtli to'rtlarga bo'linadi. Dasturiy foydalanish uchun diskret vaqtli turi ishlatiladi.

Kirishlarda axborotni uzatish usuliga ko'ra NTlar :

- kirish neyronlariga qarab signallarni uzatuvchi;
- chiqish neyronlariga qarab signallarni uzatuvchi;
- kirish neyronlarining kuchiga qarab signallarni uzatuvchi.

Chiqishlarda axborotni uzatish usuliga ko'ra NTlar:

- chiqish neyronlariga qarab signallarni qabul qiluvchi;
- chiqish neyronlari kuchiga qarab signallarni qabul qiluvchi.

O'rgatishni tashkil etishga ko'ra NTlar *o'qituvchi yordamida o'rgatadigan* (supervised neyral networks) va *o'qituvchisiz o'rgatadigan* (nonsupervised) turlarga bo'linadi. O'qituvchi yordamida o'qitishda o'qitish bosqichida o'qituvchi misollarni beradigan yoki NT faoliyatining to'g'riligini baholaydigan va o'zining mezonlariga mos holda NTning holatini o'zgartiradigan yoki NTni kengaytiradigan tashqi muhit bor deb faraz qilinadi. O'zgartirish mumkin bo'lgan NTning holati deganda odatda quyidagilar tushuniladi:

- neyronlar kuchi;
- neyronlar bo'sag'a(porog)si;
- neyronlar o'rtasida yangi aloqalarni o'rnatish (biologik neyronlarning yangi aloqalarni o'rnatish va eskilarini yo'q qilish xususiyati egiluvchanlik deyiladi).

O'qitish usuliga ko'ra NTlar quyidagi turlarga bo'linadi:

- kirishlar bo'yicha o'qitish;
- chiqishlar bo'yicha o'qitish.

Kirishlar bo'yicha o'qitishda o'qituvchi misol faqat kiruvchi signallar vektoridan iborat bo'ladi, chiqishlar bo'yicha o'qitishda unga kiruvchi vektorga mos keladigan chiquvchi signallar vektori ham kiradi.

Agar NTlarni bilimlarni tasvirlash usuli deb qarajak, u holda bilimlar odatda neyronlar o'rtasidagi bog'lanishlar kuchi shaklida saqlanadi.

NTlarning *bilimlarni tasvirlash* usuli sifatidagi kamchiliklari:

- NT ishining natijalarni tahlil qilishdagi qiyinchiliklar va uning nima uchun u yoki bu qarorni qabul qilishini tushuntirishdagi qiyinchiliklar;

- natijalarni olishda takrorlanmaslik va bir ma'nolilikka kafolat berish mumkin emasligi.

NTlarning *bilimlarni tasvirlash* usuli sifatidagi afzalliklari:

- bilimlarni formallashtirishning shart emasligi, formallashtirish misollarga ko'ra o'qitishga almashtiriladi;

- noaniq bilimlarni ular tabiiy intellektual tizim, ya'ni miyada amalga oshadiganday tabiiy tasvirlash va qayta ishlash;

- parallel qayta ishlashga yo'naltirilganlik, ya'ni qurilmaviy imkoniyat ta'minlanganda haqiqiy vaqtda ishlash imkoniyatini taminlaydi;

- ko'p o'lchamli (uch o'lchamlidan katta) ma'lumotlar va bilimlarni kichik o'lchamdagi ma'lumotlardek qayta ishlash imkoniyati.

Hozirda bitta tizimga bilimlarni tasvirlashning mantiqiy va (yoki) empirik usullari bilan NTlarda qo'llaniladigan assotsiativ usullarni birlashtirish sezilmoqda. Bu tadqiqotlar natijasida quyidagilar paydo bo'ldi: semantik Ntlar, noaniq Ntlar, ekspert tizimlar.

Bu tadqiqotlarning maqsadi xuddi shaxs o'qitadigandek o'qitadigan SITlarini yaratish hisoblanadi.

Neyron majmuini belgilangan ravishda bir-biri bilan hamda tashqi muhit bilan bog'lab, har xil turdagi NTlarning modellarini qurish mumkin.

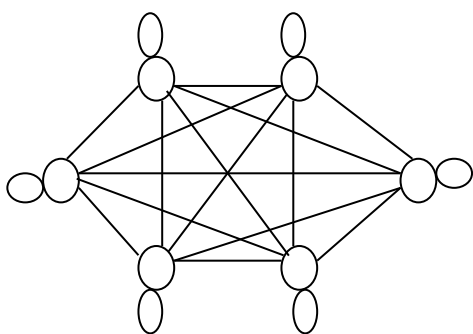
Bu holda kirish signallar to'plami to'ring kirish vektorini, chiqish signallari to'plami esa chiqish vektorini tashkil qiladi. NTning bog'lanish vaznlari W matritsa ko'rinishda ifodalanadi. Bunda matritsaning w_{ij} elementi i va j neyronlar o'rtasidagi bog'lanish vazni bo'ladi. Neyron tarmog'i o'zining ishlash jarayonida kirish vektorini chiqish vektoriga o'zgartiradi, ya'ni axborotni qayta ishlash jarayonini bajaradi. Bu qayta ishlashning aniq ko'rinishi neyron modelining turlari bilan hamda NTning arxitekturasini va xossalari bilan belgilanadi.

NTlarning arxitekturasini va turlari neyronlarning to'rdagi bog'lanish tartibi bilan belgilanadi. Shuning uchun ko'pincha NTlarni va tizimlarni konneksionistik nomi bilan ataydi ("Connection" - "Bog'lanish" ingliz so'zidan).

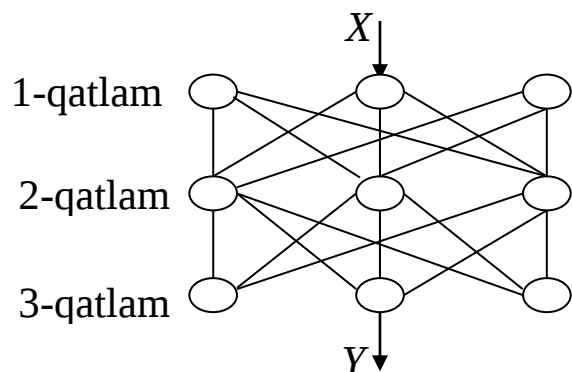
NTlarini ikki asosiy: to'liq bog'langan va iyerarxikli turlariga ajratadi (7.15-rasm).

To'liq bog'langan NT - bu har bir neyronning chiqishi barcha boshqa neyronlar kirishlari bilan, uning kirishlari esa qolgan neyronlar chiqishlari bilan bog'langan to'r. Bundan tashqari har bir neyronning chiqishi uning kirishiga ulangan bo'ladi ("o'z - o'ziga bog'lanish") (7.15, a- rasm). N neyronlardan iborat bo'lgan to'liq bog'langan NTda bog'lanish soni $N * N$ teng.

Iyerarxikli NT - bu neyron guruhlarining tegishli alohida qatlam va darajalarda joylashgan tarmog'i. Bunday NTda tegishli qatlamning har bir neyroni oldingi va keyingi qatlamlarning har bir neyronlari bilan bog'langan bo'ladi (7.15, b -rasm). Uning kirish va chiqish qatlamlari tashqi muhit bilan ham bog'langan.



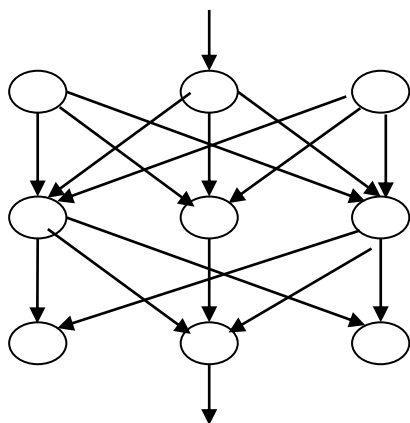
a) To'liq bog'langan NT.



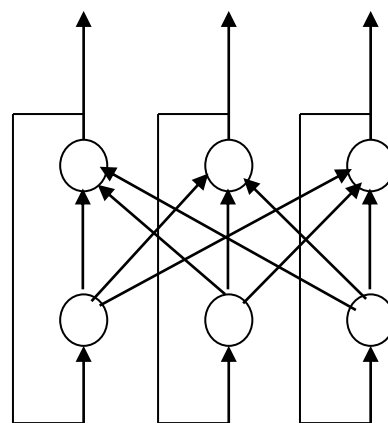
b) Iyerarxikli NT.

7.15-rasm. NTlar turlari.

Bog'lanish yo'nalishlari bo'yicha teskari aloqasiz - norekurrent (feed - forward) (7.16-rasm) va teskari aloqali - rekurrent (feed-back) (7.17-rasm) NTlar ajratiladi.

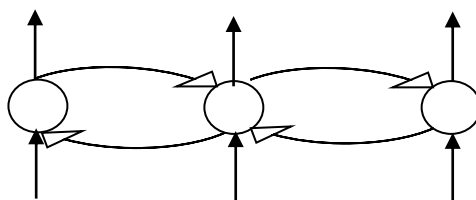


7.16-rasm. Norekurrent NT.



7.17-rasm. Rekurrent NT.

Agar rekurrent NTda o'zining bir qatlamdagi neyronlar o'rtasida tormozlaydigan (manfiy bog'lanishli vaznlar bilan) aloqalari bo'lsa, u holda bunday to'rni lateral yoki lateralli tormozlanishli NT deb ataydi (7.18-rasm).



7.18-rasm. Lateralli tormozlanishli NT.

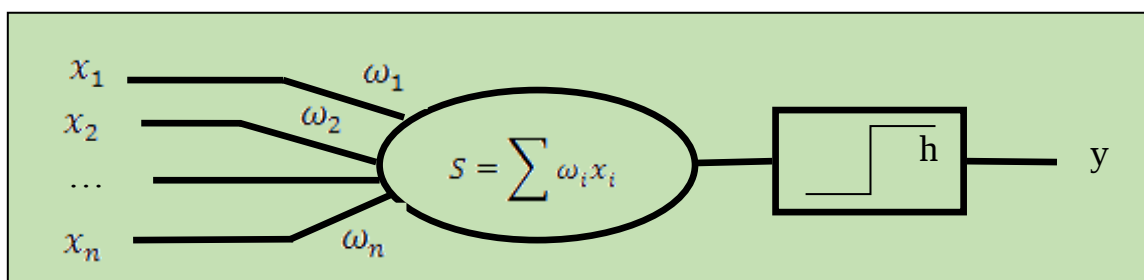
Bir qatlamli NT - bu sodda, iyerarxik, norekurrent turdagi to'r. Bunday to'rda tashqi muhit signallarini qabul qiladigan va taqsimlaydigan kirish neyronlar qatlami hamda hisoblanadigan neyronlar qatlami mavjud bo'ladi. Ularning har birining chiqish signallari uning kirishiga keladigan vaznlangan yig'indi funksiyasi sifatida belgilanadi. Chiqish signallar majmuisi NTning $Y = W * X$ chiqish vektorini tashkil qiladi. Bu yerda X - n o'lchamli kirish vektori; W - $n * m$ o'lchamli (m - chiqish katlamning neyronlari soni) bog'lanish vaznlar matritsasi; Y - m o'lchamli chiqish vektori.

Ko'p qatlamli NT - bu bir nechta hisoblanuvchi neyronlar qatlamlaridan iborat bo'lgan to'rlar. Bunday qatlamlar soni ko'payishi bilan to'rning hisoblash quvvati ham oshadi.

7.2. Mak-Kallok-Pitts neyronli to'riining formal modeli

Sun'iy neyron modeli ilk bor 1943 yilda Dj. Mak-Kallokk va U. Pitts tomonidan tavsiflangan [7,16]. NTlarda bilimlar neyroo'xshash elementlar (yoki neyronlar) deb ataluvchi to'plamlar va ular o'rtasidagi aloqalardan iborat bo'ladi. Burchak boshida yo'nalish konnektivizm deyiladi. Mak-

Kallok-Pitts neyronining formal modeli 7.19 - rasmda ko'rsatilgan.



7.19-rasm. Mak-Kallok-Pitts neyronli to'riining formal modeli

Bu model hozir ham NTlarda alohida neyronni tavsiflash uchun keng qo'llaniladi.

Bu yerda:

x_i - neyronning i - kirishidagi signal;

ω_i - neyronning i - kirishi massasi;

y - neyronning chiqishi;

h - neyronning ishlash chegarasi.

Modelda neyron kirishlaridagi signallarning orttirilgan yig'indisi h chegaraviy qiymat bilan taqqoslanadi, agar u chegaradan oshib ketsa chiqishda signal mavjud bo'ladi. Neyronlarning hozirgi modelida chegaraviy funksiya umumiy holda chiziqli funksiya bilan almashtiriladi. Bu funksiya sifatida

$$f(S) = \frac{S}{S + \alpha}$$

keltirish mumkin. α parametr odatda siljish deyiladi. Shuning uchun odatda neyron ko'paytuvchilar, summator va chiziqsiz elementlardan tashkil topgan deyiladi.

7.3. Rozenblatt perseptroni

Perseptron ta'rif. Perseptron binarli kirish signallari yordamida obyektlarni ikkita sinfga ajratish masalasini yechishi kerak. Kirish signallari naborini n -o'lchovli x vektori bilan belgilaymiz. Vektorning barcha elementlari «Chin(1)» yoki «Yolg'on(0)» mantiqiy o'zgaruvchilarni qabul qiluvchi elementlar hisoblanadi.

Perseptron deb-quyidagi funksiyaning qiymatini hisoblovchi qurilmaga aytiladi

$$\Psi = [\sum_{i=1}^m \alpha_i \varphi_i > \theta],$$

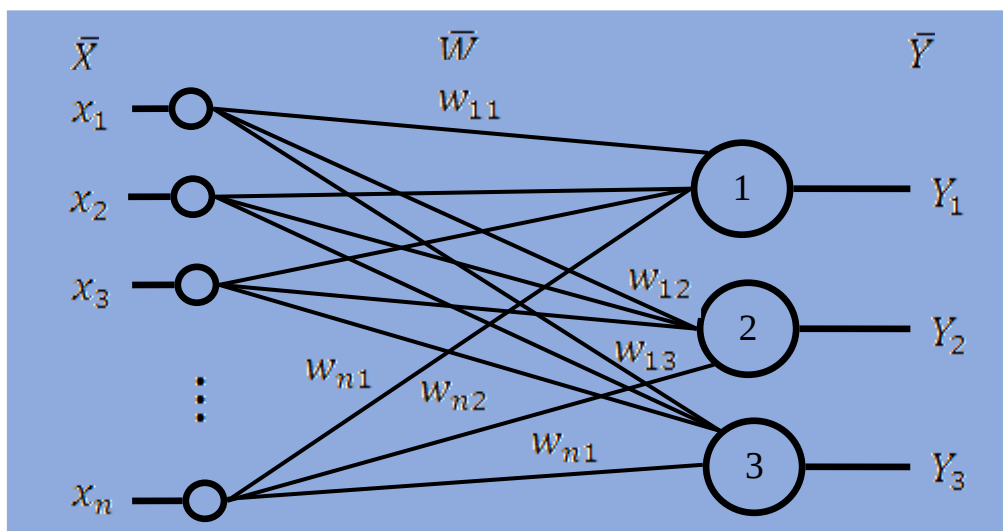
bu yerda α_i - perseptron vazni, θ - chegaraviy qiymat (porog), φ_i - kirish signallarining qiymatlari, $[\]$ -qavs mantiqiy o'zgaruvchilarning «Chin» yoki

«Yolg'on» qiymatlaridan 0 yoki 1 sonli qiymatlarga o'tishni bildiradi [7, 16]. Perseptronning kirish signallari sifatida barcha to'rlarning kirish x signallari va boshqa perseptronlarning chiqish signallari qatnashishi mumkin. Doimiy $\varphi_0 \equiv 1$ kirish signalini qo'chimcha kiritib va $\alpha_0 = -\theta$ e'tiborga olib perseptronni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\Psi = [\sum_{i=1}^m \alpha_i \varphi_i > 0]$$

Korinib turibdiki, ushbu ifoda chegaraviy qiymatli chiziqlimas almashtirgichli bitta neyron bilan hisoblanadi. Neyronlarning shunday bir nechta qatlamlari tizmasi (kaskad) *ko'pqatlamli perseptron* deb ataladi. Endi perseptronning ba'zi bir xossalarini qaraymiz. Perseptronning batafsil tavsifi va ifodasi [65] ishda keltirilgan.

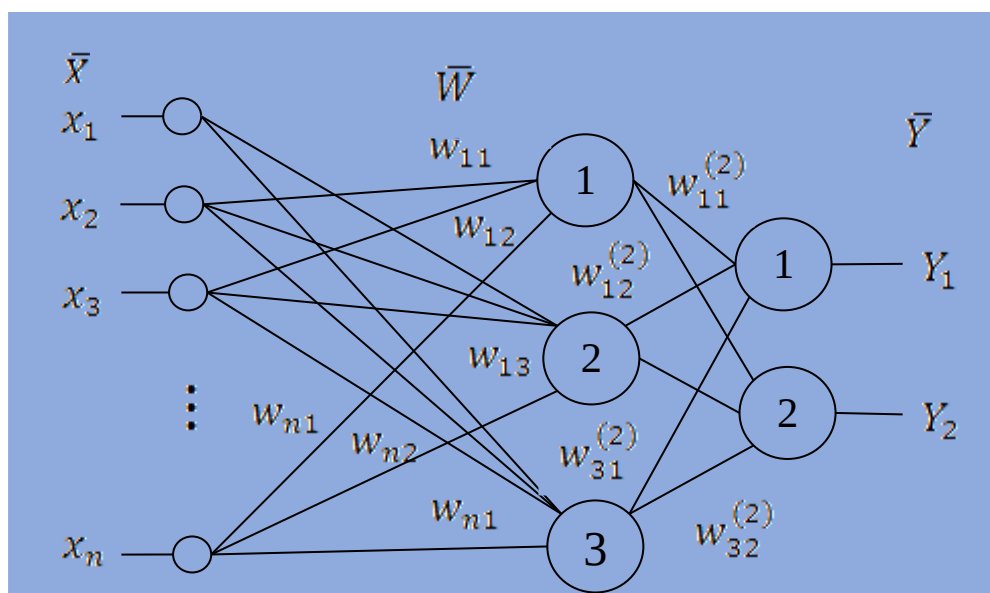
Rozenblatt perseptroni [7,16,30] tarixiy birinchi o'rgatuvchi NT hisoblanadi. Perseptronning bir nechta turlari mavjud (7.20 va 7.21-rasmlar).



7.20. Birqatlamli perseptron.

Klassikli perseptronni, ya'ni chegaraviy qiymatli neyronlarga va kirish signallari qiymati no'l yoki birga teng bo'lgan to'rni qaraymiz.

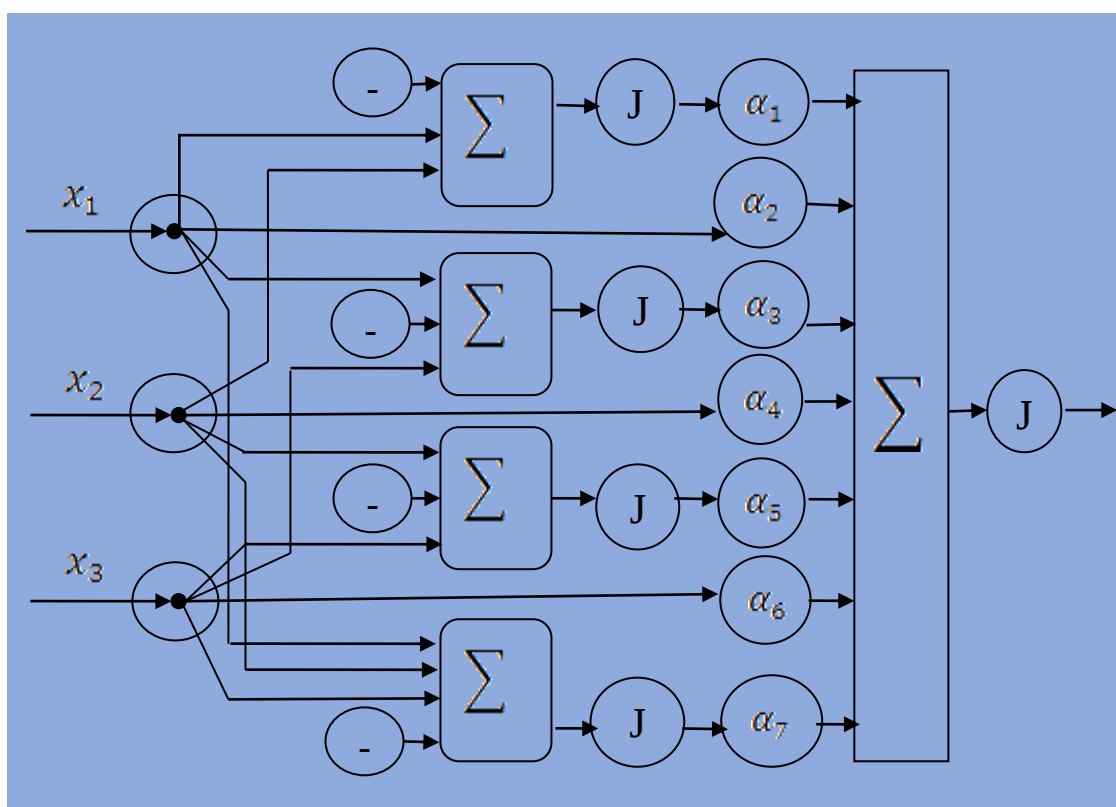
Barcha sinaptikli (kirish) vaznlar butun sonlardan iborat bo'lishi mumkin. Ko'pqatlamli perseptron o'zining imkoniyatlari bo'yicha ikkiqatlamliga ekvivalent bo'ladi. Barcha neyronlar sinapsga ega bo'lib, ushbu sinapslarga doimo birlik signal uzatiladi. Ushbu sinapsning vaznini bundan keyin chegaraviy qiymat (porog) deb ataymiz. Birinchi qatlamning har bir neyroni barcha bog'lanishli aloqalarda kirish signallaridan chiquvchi va minus ishora bilan olingan hamda ikkiga kamaytirilgan chegaraviy qiymati kirish signallarining summatorlar soniga teng bo'lgan bitta sinaptikli vaznga ega bo'ladi.



7.21-rasm. Ikkiqatlamli perseptron.

Shunday qilib, obyektlarni anglab olishga o'rgatmaydigan birinchi qatlamni o'z ichiga olgan ikkiqatlamli perseptronlar bilan chegaralanish mumkin. Ta'kidlaymizki, to'la birinchi qatlamni qurish uchun 2^n ta neyronlardan foydalanish talab qilinar edi, bu yerda n - perseptronning kirish signallari to'plami.

7.22-rasmda kirish signallarining uch o'lchovli vektori uchun to'liq perseptronning sxemasi keltirilgan.



7.22-rasm. Uchta kirish signalli to'liq Rozenblatt perseptroni.

Albatta n ning yetarli katta qiymatlarida bunday to'rlarni qurish mumkin bolmaganligi uchun bu holda birinchi qatlamning ba'zi neyronlar to'plamostilaridan foydalaniladi. Bunday to'plamostilari sonini faqat masalani to'liq yechib bo'lgandan keyin aniqlash mumkin. Odatda foydalaniladigan to'plamostilari tadqiqotchi tomonidan qandaydir *mazmunli mulohazalar asosida* yoki *tavakkal ravishda* tanlanadi.

Perseptronni o'rgatishning klassikli algoritmi Xebba qoidasining xususiy holi hisoblanadi [7]. Perseptronni birinchi qatlamining vaznlar aloqasi obyektlarni anglab olishda o'rgatuvchi hisoblanmaganligi uchun ikkinchi qatlam neyronining vaznini bundan keyin vaznlar deb ataymiz. Ta'kidlaymizki, agar perseptronga birinchi sinfning obyekti kelib tushsa, u holda perseptron chiqishda nol(0)li signal, agarda obyekt ikkinchi sinfdan kelib tushsa-bir(1)li signal berishi kerak.

7.4. Assotsiativ xotirali neyronli to'rlar

Assotsiativ xotirali NTlarni tuzishdan oldin *assotsiativli xotira* qanday tuzilma va u qanday masalalarni yechishda qo'llaniladi kabi savollarni qarab chiqamiz.

Insonda assotsiatsiya paydo bo'lishi uchun u obyekt haqidagi to'liq bo'lmagan ba'zi axborotlarni olishi va ushbu axborotlar asosida obyektни batafsil tavsiflashi mumkin bo'lsa. Masalan, unchalik tanish bo'lmagan odam haqida ba'zi bir axborotlarga asoslanib uni anglab olish mumkin. Bu holda odatdagi ko'nikma bo'yicha inson xotirasida assotsiatsiya paydo bo'ladi. Ta'kidlash joizki, obyektни aniq anglab olish uchun to'liq bo'lmagan axborotlar yetarli bo'lmaydi. Shuning uchun obyektlarni to'liq anglab olishga erishish uchun ular haqidagi qo'shimcha axborotlardan ham foydalanish talab etiladi.

Yuqoridagi misollardan kelib chiqib aytish mumkinki, *assotsiativli xotira*-bu noto'liq va qisman noishonchli axborotlar asosida "*oldindan tanish bo'lgan*" obyekt haqida yetarli to'liq tavsifni tiklashga imkoniyat yaratadi. "*Oldindan tanish bo'lgan*" so'zi juda muhim hisoblanadi, chunki oldindan notanish bo'lgan obyektlar bilan assotsiatsiyalarni paydo qilish mumkin emas. Bu holda obyekt kimga oldindan tanish bo'lgan bo'lsa, o'sha odamda assotsiatsiya paydo bo'ladi.

Endi masalalarni *assotsiativli xotira yordamida yechishni formallashtirish masalasini* qaraymiz [7, 30]:

1. Tanish bo'lgan obyektlar bilan ular haqidagi boshlang'ich axborotlarning o'zaro munosabatlarini aniqlash va obyektlarni aniq

tavsiflash uchun qo'shimcha axborotlar bilan to'ldirish.

2. Boshlang'ich axborotlardan noishonchli axborotlarni olib tashlash va qolganlari asosida birinchi masalani yechish.

Bu yerda obyektning *aniq tavsifi* deganda assotsiativli xotira uchun yetarli bo'lgan barcha axborotlar tushuniladi. Ikkinchi masala qadamba-qadam yechilmaydi, balki olingan axborotlarning ma'lum bo'lgan etalonlar va noishonchli axborotlarsiz saralanib olingan axborotlar bilan o'zaro munosabatini aniqlash amalga oshiriladi.

Misol. Masalaning formal qo'yilishi. n -o'lchovli $\{x^i\}$ vektorda m ta etalonlar to'plami berilgan bo'lsin. Shunday to'r qurish kerakki, ushbu to'rning kirishida ixtiyoriy obyektни tasvirlaydigan x vektor to'rning chiqishida "Eng o'xshash" etalonni aniqlasin.

Quyida obyekt deganda ± 1 koordinatali n -o'lchovli vektorlar va etalon misolida X ga "Hammadan ko'ra" tushunchasiga x ga yaqin x^i vektor tushuniladi.

Osongina payqash mumkinki, bu talab X va x^i vektorlarning maksimal skalyar ko'paytmasiga ekvivalent

$$\|x - x^i\|^2 = \|x\|^2 + \|x^i\|^2 - 2(x, x^i).$$

O'ng qismning birinchi ikki qo'shiluvchisi ixtiyoriy X va x^i obyektlar uchun mos tushadi, negaki barcha obyektlarning vektor uzunliklari $\sqrt{n}$ ga teng. Shunday qilib, yaqin obyektlarni izlash masalasi shunday obyektlarni izlashga olib kelinadiki, ularning skalyar ko'paytmasi maksimal bo'lishi kerak bo'ladi.

7.4.1. Xopfild neyronli to'rlari

Xopfild NTlari taniqli assotsiativ xotirali to'rlar hisoblanadi [7]. NTlarning turli shakllari orasida shunday to'rlar uchraydiki, ular yordamida obyektlarni sinflashda o'qituvchili o'rgatish va o'qituvchisiz o'rgatish prinsiplari to'g'ri kelmaydi. Bunday to'rlarda vaznli koeffitsiyentlar qayta ishlanadigan ma'lumotlar haqidagi axborotlar asosida to'rlarning ishga tushishidan oldin, faqat bir marta hisoblanadi va to'rlar yordamida barcha o'rgatishlar xuddi ushbu hisobga keltiriladi.

Xopfild tarmog'i asosida quyidagi g'oya yotadi - H "Energiya"ni gradiyentli minimallashtirish uchun differensial tenglamalar sistemasi ko'rinishida (Lyapunov funksiyasi) yozib olamiz.

Bunday sistemaning teng ta'sir etuvchi nuqtalari energiyaning

minimum nuqtalarida topiladi. Energiya funksiyasini har bir etalonning minimum nuqtasi va minimum nuqtasida obyektlarning barcha koordinatalari ± 1 qiymat orasida bo'lishi kerak degan mulohazalardan kelib chiqib quramiz.

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (x, x^i)^2 + \alpha \sum_{j=1}^n (x_j^2 - 1)^2 \quad \text{funksiyasi bu talablarni qat'iy}$$

qonatlantirmaydi, lekin taxmin qilish mumkinki, bunda birinchi qo'shiluvchi etalonlarga yaqinlashishini ta'minlasa (fiksirlangan uzunlikdagi X vektor uchun $(x, x^i)^2$ skalyar ko'paytmaning kvadrati $x = x^i$ bo'lganda maksimumga erishadi), ikkinchi $\sum_{j=1}^n (x_j^2 - 1)^2$ qo'shiluvchi esa barcha koordinata nuqtalarining absolyut qiymatlarini 1 ga yaqinlashtiradi.

α qiymat bu ikki talab o'rtasidagi o'zaro nisbatni xarakterlaydi va vaqt o'tishi bilan u o'zgarishi mumkin.

Energiya uchun mavjud ifodadan foydalanib, Xopfild tarmog'i harakatini tavsiflovchi tenglamalar sistemasini

$$\dot{x}_j = -\frac{\partial H}{\partial x_j} = \sum_{i=1}^m (x, x^i)^2 x_j^i - 4\alpha(x_j^2 - 1)x_j \quad (7.1)$$

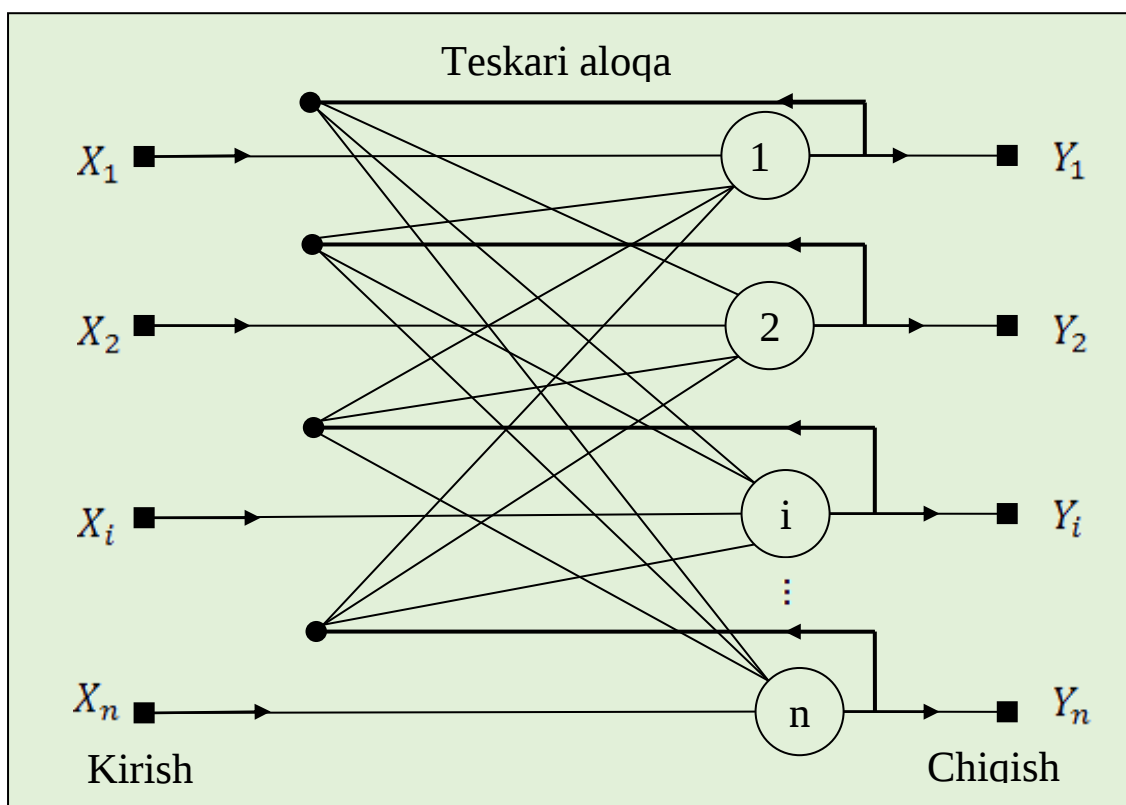
yoziq mumkin.

(7.1) ko'rinishdagi Xopfild to'ri *uzluksiz vaqtli to'r* hisoblanadi. Bu, balkim, ayrim analogli amalga oshirish variantlari uchun qulay bo'lishi mumkin, lekin raqamli kompyuterlarda qadamba-qadam diskret vaqtda ishlaydigan to'rlardan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Xopfild NTlarining struktursi 7.23-rasmda keltirilgan [7]. *Xopfild NTi* - bu alohida turdagi rekurrent NT. Bunday to'rda har bir neyronning kirishiga, X kirish vektorning tegishli komponentasidan tashqari, birinchi qatlamning taqsimlovchi neyronlari orqali boshqa neyronlarning chiqish signallari ham keladi. U bitta neyronlar qatlamidan iborat bo'lib, neyronlar soni bir vaqtda to'rning kirishi va chiqishi hisoblanadi.

Barcha sinaptikli (kirish) vaznlar butun sonlardan iborat bo'lishi mumkin. Ko'pqatlamli perseptron o'zining imkoniyatlari bo'yicha ikkiqatlamli ekvivalent bo'ladi. Barcha neyronlar sinapsga ega bo'lib, ushbu sinapslarga doimo birlik signal uzatiladi. Ushbu sinapsning vaznini bundan keyin chegaraviy qiymat (porog) deb ataymiz. Birinchi qatlamning har bir neyroni barcha bog'lanishli aloqalarda kirish signallaridan chiquvchi va minus ishora bilan olingan hamda ikkiga kamaytirilgan

chegaraviy qiymati kirish signallarining summatorlar soniga teng bo'lgan bitta sinaptikli vaznga ega bo'ladi.



7.23-rasm. Xopfild to'ringi strukturali sxemasi

To'ringi nomlash jarayonida to'ringi vaznli koeffitsiyentlari quyidagicha o'rnatiladi [65]:

$$w_{ij} = \begin{cases} \sum_{k=0}^{m-1} x_i^k x_j^k, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (7.2)$$

Bu yerda i va j - indekslar, mos ravishda, oldsinaptikli va ortsinaptikli neyronlar; x_i^k, x_j^k - k -etalon vektorining i -va j -elementlari.

Xopfild NTlarining ishlash algoritmi quyidagicha (p -iteratsiyalar tartib raqami) [7]:

1. To'ringi kirishiga noma'lum signal beriladi. Ushbu signalni haqiqiy kiritish aksonlar qiymatlarini o'rnatish yordamida amalga oshiriladi:

$$y_i(0) = x_i, i = 0 \dots n-1, \quad (7.3)$$

Qavsdagi nol to'ringi ishlash sikllaridagi nolli iteratsiyani bildiradi.

2. Neyronlarning yangi holati

$$s_j(p+1) = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} y_i(p), j=0 \dots n-1 \quad (7.4)$$

va aksonlarning yangi qiymati

$$y_j(p+1) = f[s_j(p+1)] \quad (7.5)$$

hisoblanadi. Bu yerda f -sakrashli ko'rinishdagi aktivlashgan funksiya bo'lib, u 7.24, b-rasmda keltirilgan.

3. Oxirgi iteratsiyadan keyin aksonlarning chiqish qiymatlarining o'zgarganligi tekshiriladi. Agar o'zgargan bo'lsa, u holda 2-qadamga, aks holda tugatish (agar chiqishlar bir maromda bo'lsa). Bu holda chiquvchi signal o'zida kirish signallari bilan eng yaxshi mos tushadigan etalon obyektini aks ettiradi.

Ba'zi hollarda Xopfild Ntlari obyektlarni *to'g'ri anglab ololmaydi* va chiqishda *muhim bo'lmagan* obyektini beradi. Bu barcha to'rlarning imkoniyati chegaralanganligi muammosi bilan bog'liq. *Xopfild Ntlarida* xotirada eslashi mumkin bo'lgan obyektlarning umumiy soni m taxminan $0.15 \cdot n$ ga teng bo'lgan qiymatdan oshmasligi kerak. Bundan tashqari, agarda ikkita A va B obyektlar bir-biriga juda o'xshash bo'lgan holda kirishda A obyekt berilgan bo'lsa, u holda chiqishda B obyektning paydo bo'lishiga olib keladi va aksincha.

Xopfild to'rini *diskret vaqt oralig'ida* quramiz. To'r kiruvchi X vektorni shunday o'zgartirishni amalga oshirishi kerakki, x^i chiquvchi vektorning hisoblangan to'g'ri javobi etalonga yaqin bo'lmog'i kerak.

To'ring o'zgarishini

$$x^i = \text{Sign} \left(\sum_{i=1}^m w_i x^i \right) \quad (7.6)$$

ko'rinishda izlaymiz. Bu yerda, w_i - i - etalonning vazni bo'lib, uning x vektorga yaqinligini xarakterlaydi, Sign - chiziqlimas operator, y_i koordinatali vektorni $\text{sign}(y_i)$ koordinatali vektorga o'zgartiradi.

To'rlarning harakat qilishi. To'r quyidagi tartibda ishlaydi:

1. To'r kirishiga X obyekt beriladi, chiqishida esa x^i obyekt hosil qilinadi.

2. Agar $x^i \neq x$ bo'lsa, u holda $x = x^i$ bo'ladi va 1- qadamga qaytamiz.

3. Olingan x^i vektor natija hisoblanadi.

Shunday qilib, hamma vaqt natija to'rni o'zgartirishdagi (7.6) qo'zg'almas nuqta hisoblanadi va xuddi shu shart (to'ring obyektini qayta ishlashdagi o'zgarmasligi) to'xtash sharti bo'lib hisoblanadi.

Aytaylik i' - X obyektga yaqin joylashgan etalon raqami bo'lsin. Agar X boshlang'ich obyektga proporsional yaqin etalonning vazni tanlansa, u holda x^i obyekt $x^{i'}$ etalonga x ga qaraganda yaqin bo'ladi va bir nechta iteratsiyalardan so'ng x^i obyekt $x^{i'}$ etalon bilan ustma-ust tushadi.

(7.6) ko'rinishdagi to'rning oddiy ko'rinishi Xopfild to'rining *diskret varianti* hisoblanib, unda taqdim etilayotgan obyekt vazni etalonlarning skalyar ko'paytmasiga teng.

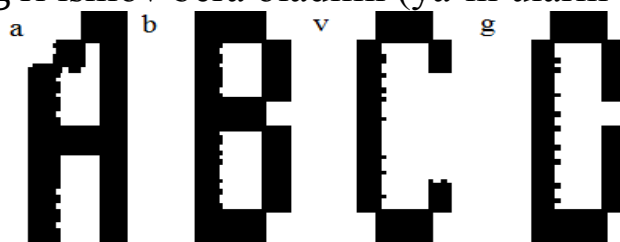
$$x' = \text{Sign} \left(\sum_{i=1}^m (x, x^i) x^i \right) \quad (7.7)$$

Xopfild to'rlari (7.7) 0.15 n tartibli sust korreliirlangan obyektlarni eslab qolish va aniq tasvirlash xususiyatiga ega. Bu mulohaza ikkita cheklanishga ega:

- 1) Etalonlar soni 0.15 n dan oshmaydi;
- 2) Etalonlar sust korreliirlangan.

Xususan, ikkinchi cheklanish muhim ahamiyatga ega, negaki to'r ishlov beradigan obyektlar ko'pincha juda o'xshash bo'ladi.

Misol tariqasida lotin alfavitining harflarini keltirish mumkin. Xopfild to'rini (7.7) formula yordamida o'rganganda uchta birinchi harflarni (7.25, a, b, v - rasmlarga qarang) anglashda, to'rning kirishiga javob sifatida ixtiyoriy etalonlar taqdim etilganda, 7.24, g-rasmda keltirilgan harflar olinadi (barcha harflar 10x10 nuqtali ramkalarda keltirilgan). Bunday keltirilgan misollar bilan assotsiativ xotirada to'rning ishlash sifati haqidagi birinchi savol quyidagicha: To'r bu etalon harflarning o'ziga to'g'ri ishlov bera oladimi (ya'ni ularni buzmaydimi)?



7.24-rasm. Harf tasvirlarini anglab olish:

a, b, v - etalonlar, g - ixtiyoriy etalonni ko'rsatishda to'r javobi.

Obyektlarning korreliirlangan o'lchovi deb - $C_{ij} = \frac{|(x^i, x^j)|}{n}$ miqdorni ataymiz.

Xopfild to'ri ishini obyektlarning korreliirlangan darajasiga bog'liqligini quyidagi misol bilan osongina namoyish etishimiz mumkin.

Shunday uchta etalon x^1, x^2, x^3 :

$$\begin{aligned}(x^1, x^2) + (x^1, x^3) &> n, \\(x^1, x^2) + (x^2, x^3) &> n, \\(x^1, x^3) + (x^2, x^3) &> n, \\(x^i, x^j) &> 0 (\forall i, j)\end{aligned}\tag{7.8}$$

berilgan bo'lsin.

Ixtiyoriy koordinatalar uchun to'rtta imkoniyatdan bittasi mavjud:

- 1) $x_l^i = x_l^j = 1 (\forall i, j),$
- 2) $x_l^i = -x_l^j = x_l^k = 1,$
- 3) $x_l^i = -x_l^j = x_l^k = -1,$
- 4) $x_l^i = x_l^j = -1 (\forall i, j).$

Birinchi holatda kuch formulasi (7.7) q -chi etalonning to'rini taqdim etganda, (7.8) shart bo'yicha barcha skalyar ko'paytmalar musbat bo'lganligi uchun

$$x'_l = \text{Sign} \left(\sum_{i=1}^3 (x^q, x^i) \times 1 \right) = 1$$

bo'ladi. Shunga o'xshash to'rtinchi holatda $x'_j = -1$ ni topamiz.

Ikkinchi holatda alohida uchta variantni:

$$x = x^i, x'_j = \text{Sign} \left(- (x^i, x^i) + (x^i, x^j) + (x^i, x^k) \right) = 1$$

$$x = x^j, x'_l = \text{Sign} \left(- (x^j, x^i) + (x^j, x^j) + (x^j, x^k) \right) = 1$$

$$x = x^k, x'_l = \text{Sign} \left(- (x^k, x^i) + (x^k, x^j) + (x^k, x^k) \right) = 1$$

qarab chiqamiz, negaki ixtiyoriy obyektning skalyar kvadrati n ga teng, (7.8) shart bo'yicha ikkita ixtiyoriy etalonlarning skalyar ko'paytmasi n dan katta. Shunday qilib, taqdim etilgan etalonga bog'liq bo'lmagan holda $x'_j = 1$ ga ega bo'lamiz. Shunga o'xshash uchinchi holatda $x'_j = -1$ ga ega bo'lamiz.

Oxirgi xulosa quyidagicha: agar etalonlar (7.8) shartni qanoatlantirsa, u holda ixtiyoriy etalon taqdim etilganda chiqishda doimo bitta obyekt ko'rinadi. Bu obyekt etalon yoki "Химера" (русчадан, хом-хайол), ya'ni ko'pincha turli etalonlarning anglanuvchi qismlaridan tuzilgan bo'lishi mumkin ("Химера"ga misol sifatida 7.24, g-rasmda keltirilgan obyekt xizmat qilishi mumkin). Yuqorida harflar misolida qaralganlar bunday holatni batafsil ifodalaydi.

Yuqorida keltirilgan fikrlar “Sust korreliirlangan obyektlar” tushunchasini detallashtiruvchi talablarni ifodalash imkoniyatini beradi.

Barcha etalonlarni to‘g‘ri anglash uchun $\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^m C_{ij} < 1, \forall j$ tengsizlikning

bajarilishi yetarlidir. Ushbu shartni oddiyroq ko‘rinishda $C_{ij} < \frac{1}{m}, \forall i \neq j$ keltirish mumkin.

Bu shartlardan ko‘rinadiki, etalonlar qancha ko‘p berilgan bo‘lsa, ularning korreliirlangan darajasiga shuncha qat’iy talablar qo‘yiladi, hamda ularning ortogonallari yaqin bo‘lishi kerak.

(7.7) almashtirishni ikkita almashtirishning superpozitsiyasi

$$P_x = \sum_{i=1}^m (x, x^i) x^i, \quad x' = \text{Sign}(Px) \quad (7.9)$$

sifatida qaraymiz.

$$L(\{x^i\}) = \left\{ x \mid x = \sum_{i=1}^m \alpha_i x^i; \alpha_i \in R \right\} \text{ orqali etalonlar ko‘phadining chiziqli}$$

fazosini belgilaymiz. U holda (7.9) dagi birinchi almashtirish vektorlarni R^n dan $L(\{x^i\})$ ga o‘tkazadi. (7.9) dagi ikkinchi almashtirish P_x birinchi almashtirishning natijasida obyektlarni giperkub uchlaridan biriga o‘tkazadi. Osongina ko‘rsatish mumkinki, (7.9) dagi ikkinchi almashtirish obyektlarni P_x nuqtaga yaqinroq joylashgan giperkubning uchiga o‘tkazadi. Haqiqatdan ham, a va b giperkubning turli ikkita uchi bo‘lsin, bunda $a - P_x$ ga yaqin, $b = x'$ bo‘lsin. a va b turlicha bo‘lganligi sababli, indekslar to‘plami mavjud, va ularda a va b vektorlarning koordinatalari turlicha. Bu to‘plamni $I = \{i : a_i = -b_i\}$ orqali belgilaymiz. (7.9) dagi ikkinchi almashtirish va $b = x'$ dan kelib chiqadiki, P_x vektor koordinatalari belgilari b vektor koordinatalari belgilari bilan doimo mos tushadi.

$i \in I$ bo‘lganda a va P_x ning i - vektorlar koordinatalari belgilarining turlicha ekanligini hisobga olgan holda

$$|a_i - (P_x)_i| = |a_i| + |(P_x)_i| = 1 + |(P_x)_i|$$

hosil qilish mumkin.

$i \in I$ bo‘lganda b va P_x ning i - vektorlar koordinatalari belgilarining mos tushishini hisobga olgan holda

$$|b_i - (P_x)_i| = |b_i| + |(P_x)_i| = 1 + |(P_x)_i|$$

hosil qilish mumkin.

a va b uchlardan P_x nuqtagacha bo'lgan masofani

$$\begin{aligned} \|b - P_x\|^2 &= \sum_{i=1}^n (b_i - (P_x)_i)^2 = \sum_{i \in I} (b_i - (P_x)_i)^2 + \sum_{i \notin I} (b_i - (P_x)_i)^2 < \\ &< \sum_{i \in I} (1 + |(P_x)_i|)^2 + \sum_{i \notin I} (a_i - (P_x)_i)^2 = \sum_{i=1}^n (a_i - (P_x)_i)^2 = \|a - P_x\|^2 \end{aligned}$$

solishtiramiz.

Olingan $\|b - P_x\| < \|a - P_x\|$ tengsizlik a ning P_x ga yaqin ekanligiga qarama-qarshi ekanligini ko'rsatmoqda. Shunday qilib, isbotlandiki, (7.9) dagi ikkinchi almashtirish P_x nuqtani yaqinroq joylashgan giperkubning uchiga o'tkazadi.

Diskret vaqtda ishlaydigan Xopfild to'rining klassik turi quyidagicha quriladi. $\{e^i\}, i = (1, \dots, m)$ - etalon obyektlarning tanlovi bo'lsin. Har bir obyekt, etalonlarni hisobga olgan holda, n -o'lchovli vektor koordinatalari nolga yoki birga teng bo'lgan ko'rinishga ega. X obyektini to'rning kirishiga taqdim etganda, to'r X ga o'xshashroq obyektini hisoblaydi. Obyektlarning yaqinlik o'lchovi sifatida mos vektorlarning skalyar ko'paytmasini tanlaymiz. Hisoblashlar $x' = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^m (x, e^i) e^i \right)$ orqali amalga oshiriladi.

Bu jarayon keyingi iteratsiyadan so'ng $x = x'$ bo'lganicha davom ettiriladi.

Oxirgi iteratsiya natijasida olingan x vektor natija hisoblanadi. To'r ishining formulasini

$$x'_j = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^m (x, e^i) e_j^i \right) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n x_k e_k^i e_j^i \right) = \text{sign} \left(\sum_{k=1}^n x_k \sum_{i=1}^m e_k^i e_j^i \right) = \text{sign} \left(\sum_{k=1}^n a_{jk} x_k \right)$$

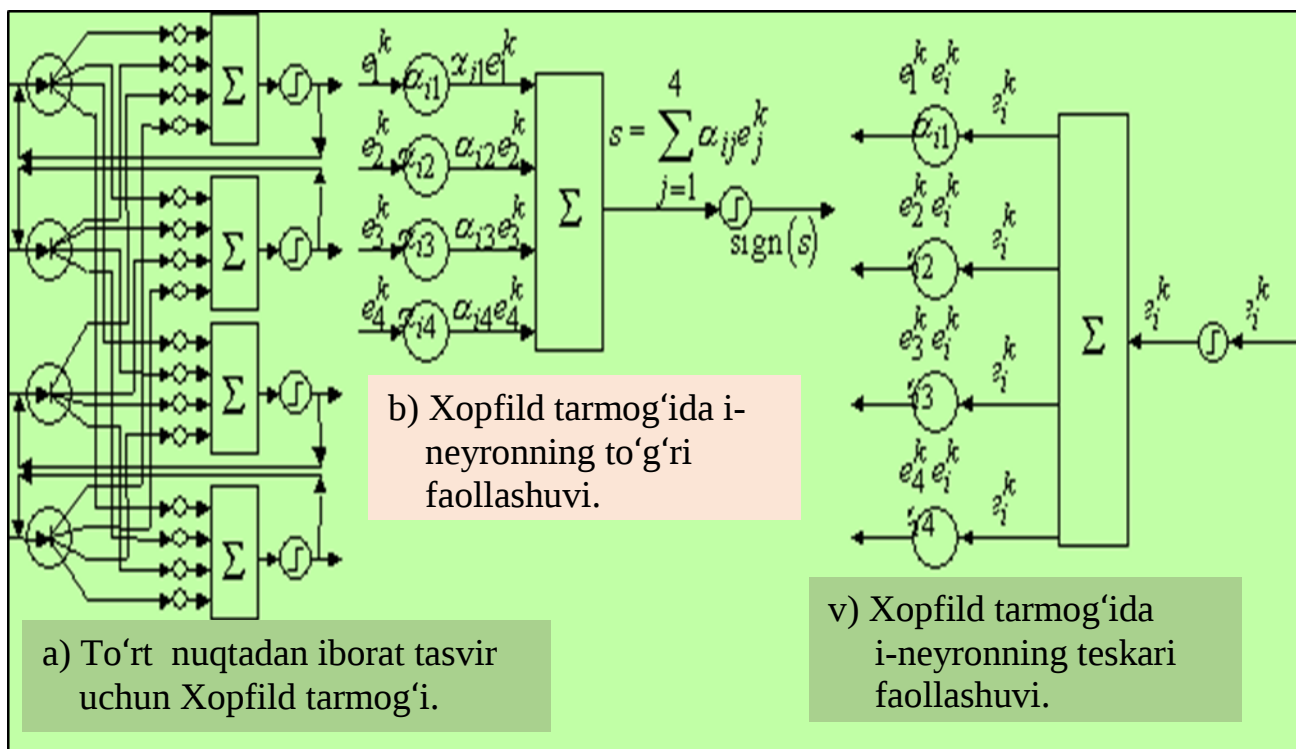
yoki

$$x' = \text{sign}(Ax)$$

ko'rinishda hosil qilamiz. Bu yerda

$$a_{jk} = a_{kj} = \sum_{i=1}^m e_j^i e_k^i.$$

7.25-rasmda to'rt o'lchovli obyektlarni anglovchi Xopfild to'ri keltirilgan.



7.25-rasm. Xopfild to'ri. Xopfild to'rida neyronlarning to'g'ri va teskari faollashuvi.

Odatda Xopfild to'ri sinaptik kartalar bilan shakllantiriluvchi to'rlarga talluqli bo'lishadi. Xopfild to'rini qurish uchun "Shaffof" bo'sag'aviy elementlardan foydalanamiz. Quyida Xopfild to'rini o'rganuvchi algoritmi keltirilgan.

1. Barcha nolga teng bo'lgan sinaptik mezonlarni qo'yamiz.
2. To'rga birinchi e^1 etalonni taqdim etamiz va ishlash jarayonini bir takt oldinga o'tkazamiz (7.25, b-rasmga qarang).

3. Har bir neyronning chiqishiga e^1 vektorning mos keluvchi koordinatalarini keltiramiz (7.25, v-rasmga qarang). Tuzatish: j -sinapsdagi i -neuronning hisobi to'g'ridan-to'g'ri ishlovchi signalni teskari ishlovchi signal ko'paytmasiga teng. Sababi, teskari ishlashda bo'sag'aviy element shaffof, summator esa to'rlanish nuqtasiga o'tadi, va tuzatish $e_i^1 e_j^1$ ga teng.

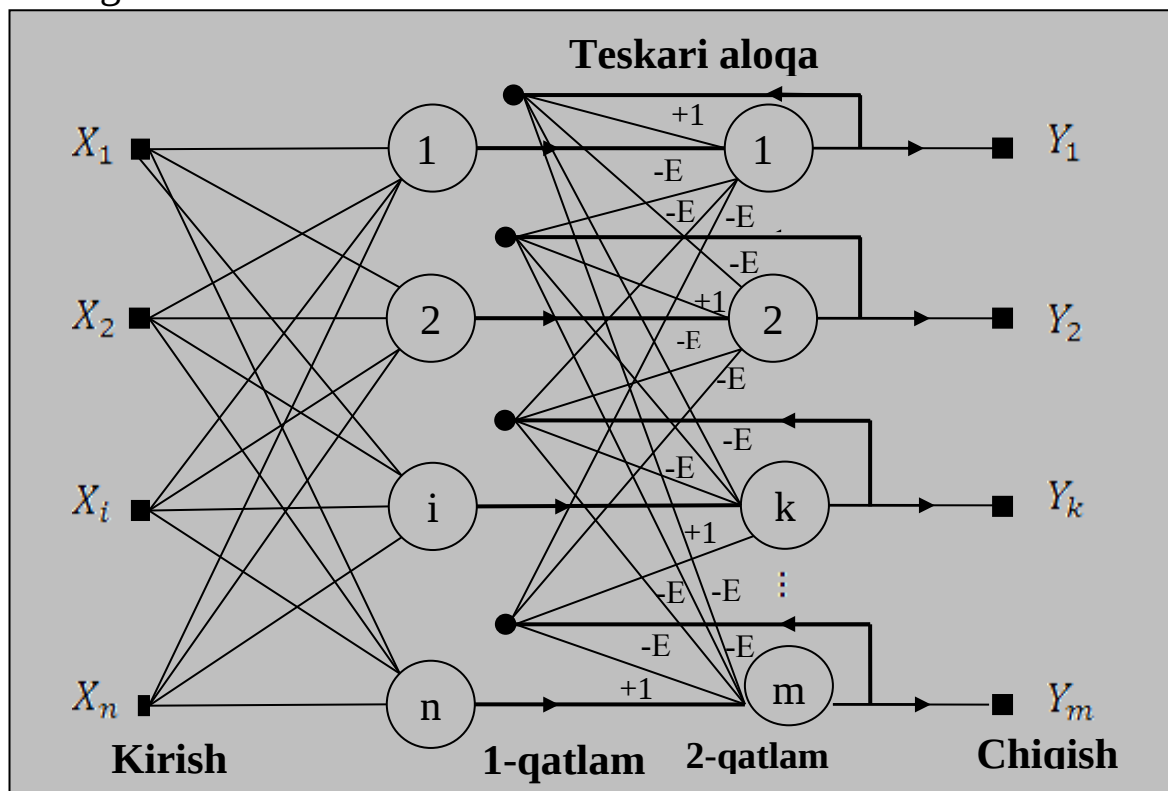
4. Keyin o'qitish qadaming birga teng bo'lgan parametrlarini o'qitish bilan davom ettiramiz. Natijada $a_{ij} = e_i^1 e_j^1$ hosil qilamiz.

Bu algoritmi takrorlab, ikkinchi qadamdan boshlab, barcha etalonlar uchun $a_{ij} = \sum_{i=1}^m e_i^k e_j^k$ hosil qilamiz. Bu bo'lim boshida keltirilgan Xopfild to'rining sinaptik haritasini shakllantirish formulasi bilan to'lig'icha mos tushadi.

7.4.2. Xemming neyronli to'rlari

Agar NT yordamida etalonni *oshkora ko'rinishda emas*, balki uning *tartib raqaminigina olish yetarli* deb hisoblansa, u holda assotsiativ xotirali Xemming NTdan foydalanish qulay hisoblanadi [7, 30]. Bunday holda Xemming to'riga Xopfild to'riga nisbatan xotira va hisoblashlar hajmi kam sarflanadi. Bu Xemming NTning strukturasidan ham ochiq ko'rinadi (7.26-rasm).

To'r ikkita qatlamdan iborat. Birinchi va ikkinchi qatlamlarning har biri m ta neyronlardan iborat, bu yerda m -etalonlar soni. *Birinchi qatlam neyronlari* to'rning kirishlar bilan bo'g'langan n ta to'rlardan (soxta nolli qatlamni hosil qiluvchi) iborat. *Ikkinchi qatlam neyronlari* bir-biri bilan *ingibitorli* (manfiylik teskari) sinaptikli aloqalar bilan bo'g'langan. Har bir neyron uchun musbat teskari aloqali bitta sinaps uning aksonlari bilan birlashtirilgan.



7.26-rasm. Xemming NTning strukturali sxemasi.

Xemming NTlarining goyasi testlanayotgan obyektдан boshqa barcha etalon obyektlargacha bo'lgan Xemming masofasini topishdan iborat. Xemming masofasi deb ikkita binar qiymat qabul qiluvchi vektorlarning bitlardagi farqlar soniga aytiladi. To'r kirishdagi noma'lum obyektgacha minimal masofaga ega bo'lgan etalon obyektни tanlashi kerak va natijada to'rda ushbu etalon obyektga mos keluvchi bitta chiqish faollashadi.

Birinchi qatlamning vaznli koeffitsiyentlarining nomlanish (initsializatsiy) jarayoniga va chegaraviy qiymatli (porogli) aktivlashuv funksiyasiga quyidagi qiymatlar beriladi:

$$w_{ik} = \frac{x_i^k}{2}, i=0...n-1, k=0...m-1, \quad (7.10)$$

$$T_k = n/2, k = 0...m-1 \quad (7.11)$$

Bu yerda x_i^k - k-etalon obyektning i-elementi.

Ikkinchi qatlamda to'rlarni tormozlovchi (to'xtatuvchi) vaznli koeffitsiyentlarni qandaydir $0 < \varepsilon < 1/m$ qiymarlarga teng qilib olinadi. Neyronning sinapsi o'zi bilan bo'g'langan aksonlari bilan +1 vaznga ega bo'ladi.

Xemming to'rlarining ishlash algoritmi quyidagicha:

1. To'ring kirishlariga noma'lum $X = \{x_i: i=0...n-1\}$ vektor berildi. Ushbu vektordan foydalanib birinchi qatlamning neyronlari holati hisoblanadi (yuqoridagi qavsli index qatlam tartib raqamini bildiradi):

$$y_j^{(1)} = s_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} x_i + T_j, j=0...m-1 \quad (7.12)$$

Bundan keyin olingan qiymatlar bilan ikkinchi qatlam aksonlari qiymatlari nomlanadi:

$$y_j^{(2)} = y_j^{(1)}, j = 0...m-1 \quad (7.13)$$

2. Ikkinchi qatlam neyronlarining yangi holati

$$s_j^{(2)}(p+1) = y_j(p) - \varepsilon \sum_{k=0}^{m-1} y_k^{(2)}(p), k \neq j, j = 0...m-1 \quad (7.14)$$

va ularning aksonlarining qiymatlari

$$y_j^{(2)}(p+1) = f[s_j^{(2)}(p+1)], j = 0...m-1 \quad (7.15)$$

hisoblanadi.

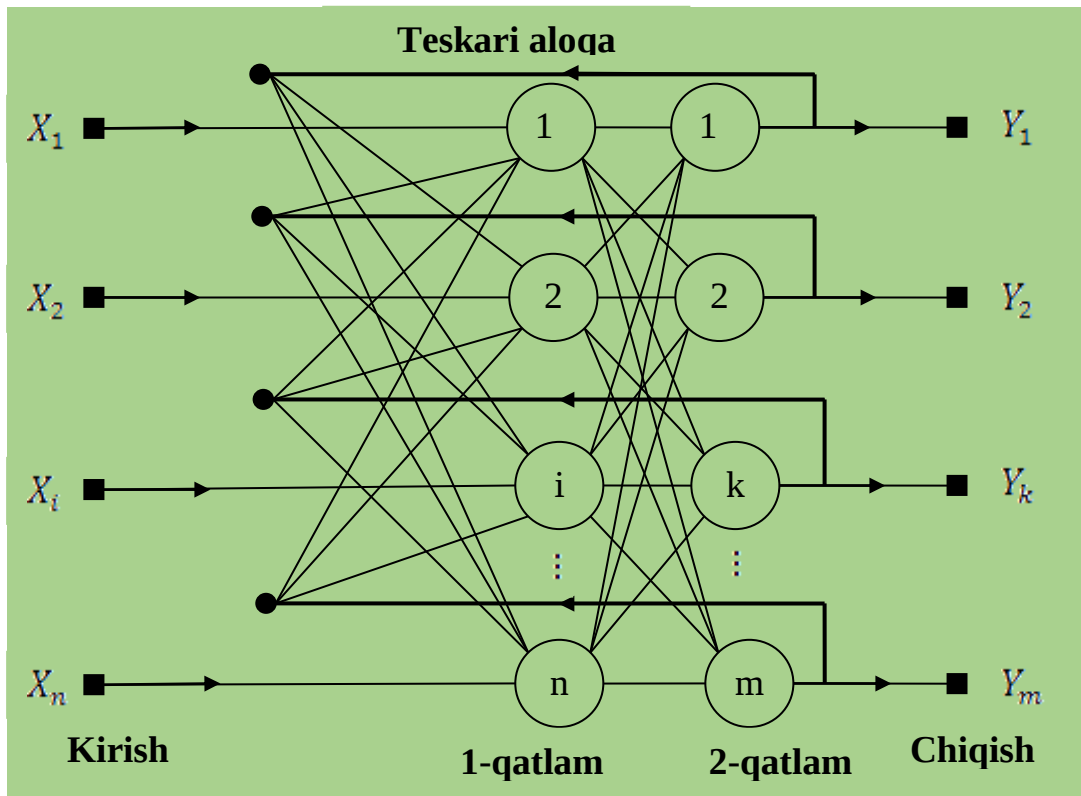
3. Oxirgi iteratsiyadan keyin ikkinchi qatlam neyronlarining chiqishi qiymatlarining o'zgarganligi tekshiriladi. Agar o'zgargan bo'lsa, u holda 2-qadamga, aks holda tugatish.

Ta'kidlash joizki, Xemming NTLari bilan obyektlarni anglab olish boshqa to'rlarga nisbatan ancha oddiy hisoblanadi.

7.4.3. Ikki yo'nalishli assotsiativli xotira

Ikki yo'nalishli assotsiativli xotira (IAX) Xopfild to'rlarining mantiqiy davomi bo'lib, ularga ikkinchi qatlam qoshiladi. IAX strukturasi

7.27 -rasmda keltirilgan [7,16,30].



7.27-rasm.IAX ning strukturali sxemasi.

To'rt bir-biri bilan assotsiatsiyalashgan juft obyektlarni eslash qobiliyatiga ega. Aytaylik juft obyektlar $X^k = \{x_i^k: i=0...n-1\}$ va $Y^k = \{y_j^k: j=0...m-1\}$, $k=0...r-1$ (bu yerda r -juft obyektlar soni) vektorlar ko'rinishida yozilgan bo'lsin. To'rtning birinchi qatlamining kirishiga qandaydir $P = \{p_i: i=0...n-1\}$ vektorning uzatilishi ikkinchi qatlamning kirishida qandaydir boshqa $Q = \{q_j: j=0...m-1\}$ vektorni tashkil qilishga chaqiradi va ushbu vektor keyin yana birinchi qatlamning kirishiga tushadi. Vektorlarning har bir shunday siklida birinchi va ikkinchi qatlamlarning chiqishlarida etalon obyektlarning juftligiga yaqinlashadi, ya'ni ulardan eng boshida to'rtning kirishiga uzatilgan birinchisi X -obyekt P ga juda o'xshash bo'ladi, ikkinchisi - Y - esa u bilan assotsiyalangan bo'ladi. Vektorlar o'rtasidagi assotsiyalashuv birinchi qatlamning vaznli $W^{(1)}$ matritsasida kodlashtiriladi. Ikkinch qatlamning vaznli $W^{(2)}$ matritsasi birinchi qatlamning vaznli $W^{(1)}$ matritsasining transponirlangan $(W^{(1)})^T$ matritsasiga teng. IAX to'rtini obyektlarni anglab olishga o'rgatish jarayoni. xuddi *Xopfield to'rtlari* kabi, W va W^T matritsalarining elementlari qiymatlarini oldindan quyidagi formula yordamida hisoblashdan iborat:

$$w_{ij} = \sum_k x_i y_j, i = 0...n-1, j = 0...m-1 \quad (7.16)$$

Bu formula xususiy hol uchun, ya'ni obyektlar vektor ko'rinishda yozilganda

$$\mathbf{W} = \sum_k \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (7.17)$$

matritsali tenglamaning kengaytirilgan ko'rinishdagi yozuvi hisonlanadi. Bunda mos $[n \times 1]$ va $[1 \times m]$ o'chovli ikkita matritsaning ko'paytmasi (7.16) ko'rinishga keladi.

Yuqoridagilardan quyidagicha xulosaga kelamiz. *Xopfilda*, *Xemming* va *IAX* to'rlari noto'liq va noto'g'ri (buzilgan) axborotlar bo'yicha obyektlarni tiklash masalasini oddiy va samarali yechishga imkoniyat yaratadi. Ushbu to'rlar hajmining unchalik katta emasligi (eslab qoladigan obyektlar soni) shundan iboratki, ular nafaqat obyektlarni eslab qoladi, balkim ularni umumlashtiradi ham, masalan, *Xemming* to'rlari yordamida maksimal o'zhashlik kriteriyasi asosida obyektlarni sinflashni ham amalga oshiradi [8]. Shuning bilan birgalikda leltirilgan NTlar uchun daturiy va apparatik modellarni qurish ularning ko'plab sohalarda qo'llanilishiga imkoniyat yaratadi.

7.5. O'qituvchisiz o'rgatuvchi neyronli to'rlar

Yuqorida keltirilgan to'rlar o'qituvchili o'rgatuvchi to'rlarga

kiradi. Ularni muvaffaqiyatli qo'llash uchun ekspertning ishtiroki zarur.

O'qituvchisiz o'rgatuvchi to'rlarda o'rgatish jarayonida to'rlarning vaznlari to'g'rilanib (uzatilib) boriladi. Bunda to'rlarni to'g'rilab borish neyronlardagi mavjud vaznli koeffitsiyentlar asosida olib boriladi. Ushbu prinsip asosida ishlashdigan Xebba NTini keltiramiz.

7.5.1. Xebba to'ri bo'yicha o'rgatishning signalli usuli

Bu usul bo'yicha o'rgatishda vaznlarning o'zgarishi quyidagi qoida bo'yicha aniqlanadi [7, 30]:

$$w_{ij}(t) = w_{ij}(t-1) + \alpha \cdot y_i^{(n-1)} \cdot y_j^{(n)}, \quad (7.18)$$

bu yerda $y_i^{(n-1)}$ - (n-1)-qatlamning i-neyronining chiquvchi qiymati; $y_j^{(n)}$ - n-qatlamning j-neyronining chiquvchi qiymati; $w_{ij}(t)$ va $w_{ij}(t-1)$ - sinapsning vaznli koeffitsiyentlari bo'lib, ular mos ravishda t va (t-1)-iteratsiyalarda

ushbu neyronlarni birlashtiradi; α - o'rgatish tezligining koeffitsiyenti. Bu yerda va bundan keyin n sifatida to'ring ixtiyoriy qatlami tushuniladi.

Xebba to'ri bo'yicha o'rgatishning *differensial usuli* ham mavjud.

$$w_{ij}(t) = w_{ij}(t-1) + \alpha \cdot [y_i^{(n-1)}(t) - y_i^{(n-1)}(t-1)] \cdot [y_j^{(n)}(t) - y_j^{(n)}(t-1)] \quad (7.19)$$

Bu yerda $y_i^{(n-1)}(t)$ va $y_i^{(n-1)}(t-1)$ - $(n-1)$ -qatlamni i -neyronining t va $(t-1)$ iteratsiyalardagi mos chiqish qiymatlari; $y_j^{(n)}(t)$ va $y_j^{(n)}(t-1)$ - n -qatlamni i -neyronining t va $(t-1)$ iteratsiyalardagi mos chiqish qiymatlari.

Yuqorida keltirilgan formulalar asosida *Xebba to'ri bo'yicha o'rgatishning to'liq algoritmi* quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

1. Barcha vaznli koeffitsiyentlarga katta bo'lmagan qiymatlar ta'minlanadi.

2. To'ring kirishiga kiruvchi obyekt uzatiladi va uyg'atuvchi signallar klassik to'griqatlamli prinsip bo'yicha to'ring barcha qatlamlarga tarqaladi (feedforward) [17], ya'ni to'rdagi har neyron uchun orttirilgan yig'indi hisoblanadi va unga neyronning aktivlashgan funksiyasi qo'llaniladi, natijada neyronning chiqish qiymatlari $y_i^{(n)}$, $i=0 \dots M_i-1$, (M_i - i -qatlamdagi neyronlar soni; $n=0 \dots N-1$, N - to'rdagi qatlamlar soni) hosil bo'ladi..

3. (7.18) yoki (7.19) formulalar bo'yicha olingan neyronlarning chiqish qiymatlari asosida vaznli koeffitsiyentlar o'zgartiriladi.

4. Chiqish qiymatlari berilgan aniqlikda barqarorlashmagunch 2-qadamdan sikl bajarilaveradi.

Siklning ikkinchi qadamida kiruvchi obyektlarning barchasi navbatma-navbat to'ring kirishiga taqdim qilinadi.

7.5.2. Koxonen neyronli to'rlari

Koxonen to'rlari [7, 30] dinamik yadrolar usulining xususiy holi bo'lib, sinflash masalasini *o'qituvchisiz yechadigan to'rlar* hisoblanadi. Koxonen to'rlarining fazoli variantini qaraymiz. n -o'lchovli fazoda m nuqtadan (obyektdan) iborat $\{x^p\}$ nabor berilgan bo'lsin. *Talab qilinadi*, $\{x^p\}$ nuqtalar to'plamini Evklid masofasining kvadrati bo'yicha bir-biriga yaqin bo'lgan k ta singlarga ajratish. Buning uchun α^i ta shunday k nuqtalarni topish kerakki, ular uchun

$$D = \sum_{l=1}^k \sum_{x \in P_l} \|a^i - x\|^2 \text{ minimal bo'lsin,}$$

bu yerda $P_i = \{x: \|a^i - x\| < \|a^q - x\|, \forall q \neq i\}$.

Bu masalani yechishning turli algoritmlari mavjud. Ulardan eng samaralirog'ini keltiramiz [7,30].

1. Ba'zi boshlang'ich a^i nuqtalar naborini beramiz.

2. $\{x^p\}$ nuqtalar to'plamini quyidagi qoida bo'yicha K ta sinflarga ajratamiz

$$P_i = \{x: \|a^i - x\| < \|a^q - x\|, \forall i \neq q\}.$$

3. Hosil qilingan ajratish bo'yicha $D_i = \sum_{x \in P_i} \|a^i - x\|$ minimallik sharti bo'yicha yangi a^i nuqtani hisoblaymiz.

$|P^i|$ yordamida i -sinfidagi nuqtalar sonini belgilaymiz va 3-qadamda qo'yilgan masalaning yechimini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$a^i = \frac{1}{|P_i|} \sum_{x \in P_i} x.$$

Algoritmning 2- va 3-qadamlarini a^i nuqtalar nabori o'zgarmas bo'lib qolguncha davom ettiramiz. Obyektlarni sinflashga o'rgatishning oxirida shunday n NTni hosil qilamizki, u ixtiyoriy x nuqtadan barcha qolgan a^i nuqtalargacha Evklid masofasining kvadratlarini hisoblaydi va x nuqtani k -sinfnig biriga talluqli ekanligini aniqlaydi. To'rd a javob sifatida minimal signalni beruvchi neyronning tartib raqami olinadi.

Endi ushbu algoritmni NTli ifodalashni qaraymiz. Birinchidan, Evklid masofasining kvadratini hisoblashni to'rlar ko'rinishida ifodalash ancha murakkab hisoblanadi (7.28, a-rasm).

Ta'kidlaymizki, kvadrat masofalarni to'liq hisoblash shart emas. Haqiqatdan ham:

$$\|a^i - x\|^2 = (a^i - x, a^i - x) = \|a^i\|^2 - 2(a^i, x) + \|x\|^2.$$

Oxirgi formulada birinchi had x nuqtadan bo'g'liq emas, ikkinchi had adaptivli summator yordamida hisoblanadi va uchinchi had barcha taqqoslanadigan qiymatlar uchun bir xil. Demak, har bir sinf uchun birinchi ikkita hadlarni hisoblaydigan NTni oson hosil qilish mumkin (7.28, b-rasm).

O'rgatuvchi to'rni qisqartirishning ikkinchi tomoni algoritmning ikkinchi va uchinchi qadamlarini ajratishdan voz kechish hisoblanadi.

Sinflash algoritmi.

1. 7. 28, b-rasmda keltirilgan bitta neyronlar qatlamidan iborat NT kirishiga x vektor uzatiladi.

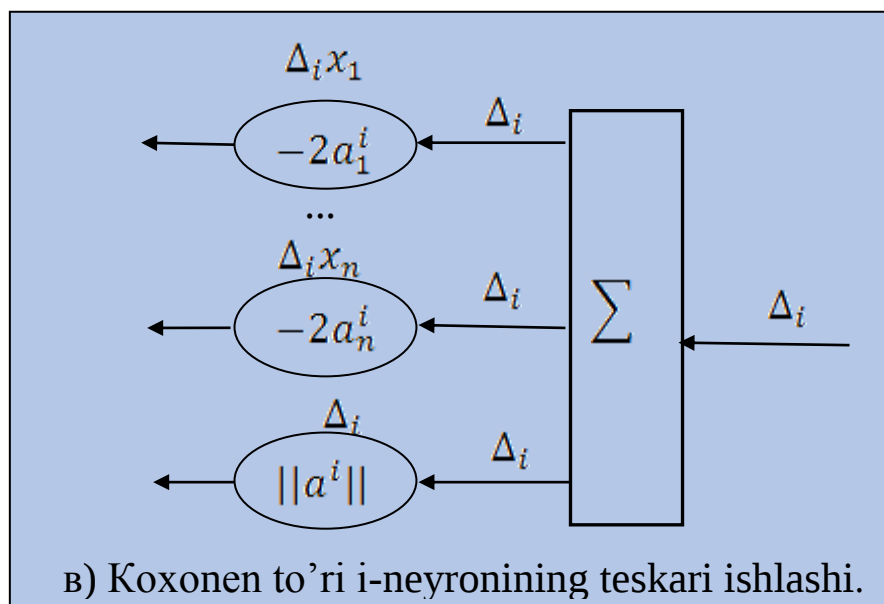
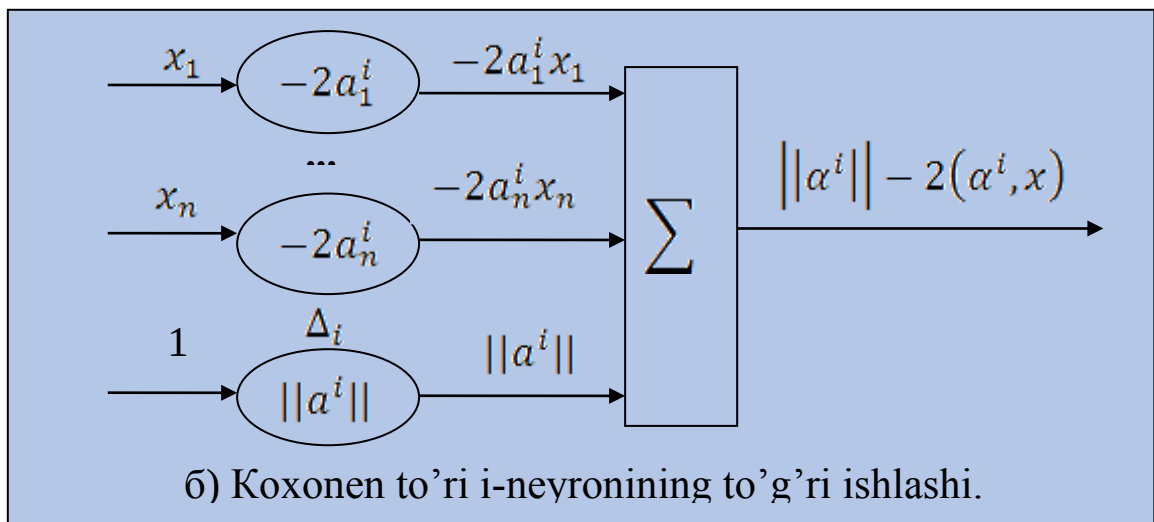
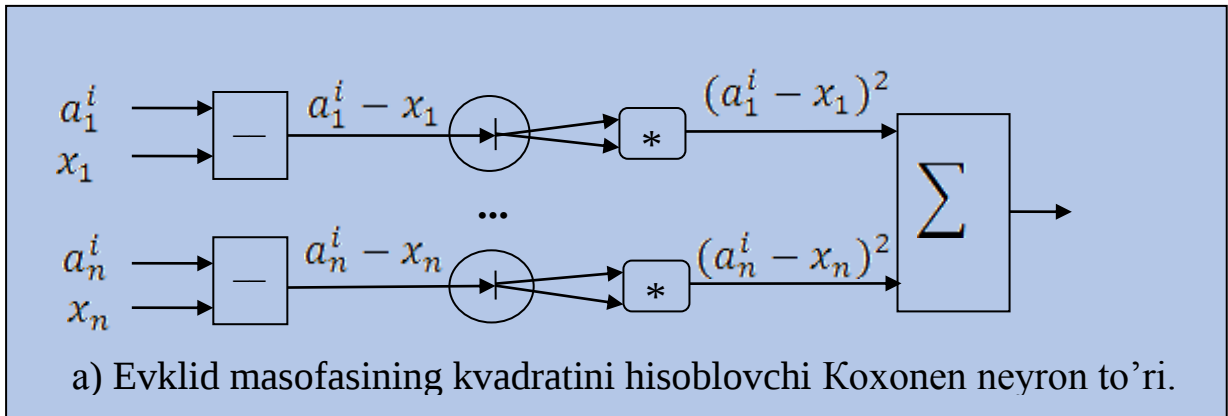
2. Minimal javobni beradigan neyron tartib raqami x vektor qarashli bo'lgan sinf raqami hisoblanadi.

O'rgatish algoritmi.

1. Barcha to'rlardagi tuzatishlarni nolga teng deb hisoblaymiz.

2. $\{x^p\}$ to'plamdagi har bir nuqta uchun quyidagi protseduralarni bajaramiz.

2.1. To'rda sinflash uchun nuqtani (obyektni) olamiz.



7.28-rasm. Koxonen to'ri. Кoxonen to'ri neyronlarining to'g'ri va teskari ishlashi.

2.2. Aytaylik sinflashda nuqta 1-sinfga tegishli degan javob olingan bo'lsin. U holda to'ring teskari ishlashi uchun Δ vektor uzatilgan bo'lsin va uning koordinatalari quyidagi qoida bo'yicha aniqlansin:

$$\Delta_i = \begin{cases} 0, & i \neq 1 \\ 1, & i = 1 \end{cases}$$

2.3. Ushbu nuqtalar uchun hisoblangan tuzatmalar oldingi hisoblanganlarga qo'shiladi.

3. Har bir neyron uchun quyidagi prorseduralarni amalga oshiramiz.

3.1. Agar oxirgi sinaps bilan hisoblangan tuzatma 0 ga teng bo'lsa, u holda NTdan olib tashlanadi.

3.2. Aytaylik, o'rgatish parametri qiymati-oxirgi sinaps yordamida hisoblangan tuzatmaga teskari qiymatga teng bo'lsin.

3.3. Birinchi n ta sinapslarda to'plangan tuzatmalarning kvadratlar yig'indisini hisoblaymiz va (-2) ga bo'lib, oxirgi sinapsning tuzatmasiga kiritamiz.

3.4. $h_1 = 0, h_2 = -2$ parametrlar bilan o'rgatish qadamini bajaramiz.

4. Agar yana hisoblangan sinaptikli vaznlar oldingi qadamda olingan vaznlardan farq qilsa, u holda algoritmnining birinchi qadamiga o'tamiz.

8-§. Neyronli to'rlarning yutuqlari va kamchiliklari

NTlarning bilimlarni tasvirlash usuli sifatidagi yutuqlari:

- bilimlarni formallashtirishning zarur emasligi, ya'ni formallashtirishning obyektlarni o'rganishga almashganligi;
- noravshan bilimlarni tabiiy tasvirlash va ishlash tabiiy intellectual tizimidek, ja'ni inson miyasidek amalga oshiriladi;
- parallel ishlashga yo'naltirilganligi - mos apparatli quvvatlash natijasida real vaqtda ishlash imkoniyatini ta'minlaydi;
- ko'p o'lchovli ma'lumotlar va bilimlarni ishlash imkoniyati.

NTlarning bilimlarni tasvirlash usuli sifatidagi kamchiliklari:

- NTlar ishi natijalarini verballashtirishning va nima uchun u yoki bu qarorni qabul qilganligini tushuntirishlarning qiyinligi;
- olingan natijalarni takrorlanishini va birqiymatliligini ta'minlashning mumkin emasligi.

Hozirgi vaqtda neyronli to'rlardan foydalanib bilimlarni tasvirlashning mantiqiy va empiric usullarini bitta tizimga birlashtirish g'oyasi ustida tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu ning natijasida quyidagi tadqiqot yo'nalishlari paydo bo'ldi:

- semantikli NTlar;
- noravshan NTlar;
- "Ikkiyarimsharli " ETlar.

Bu yo'nalishlardagi tadqiqotlarning maqsadi-bu shunday SIT yaratiga yo'naltirilgan bo'lib, ular xuddi insonga o'xshab o'rgatish qobiliyatiga ega bo'lishi, o'rgatishda tashqi olam parametrlari va simvolli tushunchalar hamda tushunchalar ierarxiyasi o'rtasidagi assotsiativli aloqalarni yaratishi, assotsiativli izlash va mantiqiy xulosalashni birgalikda qo'llab masalalarni yechishi kerak.

Nazorat savollari

1. Neyron to'rlar yordamida o'rgatish masalasi bo'yicha birinchi tadqiqotlarni qaysi olimlar amalga oshirgan?

2. "Perseptron" nomli neyron modeli kim tomonidan va nechanchi yilda yaratilgan?

3. Neyron nima va neyron tarkibiga nimalar kiradi?

4. NTli hisoblashlarning afzalligi qanday holatlarda ko'rinadi?

5. NT qanday murakkab masalalarni yechishda qo'llaniladi?

6. Mak-Kallok-Pitts neyronining formal modeli qanday?

7. To'g'ri bog'lanishli va to'liqsiz bog'lanishli NT sxemasini keltiring?

8. Kirishlarda va chiqarishlarda axborotni uzatish usuliga ko'ra NTlar qanday turlarga ajratiladi?

9. O'qitishni tashkil etishga ko'ra NTlar qanday turlarga bo'linadi?

10. NTlarning bilimlarni tasvirlashning usuli sifatidagi kamchiliklari va afzalliklarini izohlang?

11. To'liq bog'langan, iyerarxikli va Lateralli tormozlanishli NTlar sxemasini keltiring?

12. Bir qatlamli va ko'p qatlamli NTlar qanday to'rlar?

13. Xopfild NTi sxemasini keltiring?

14. Perseptron turdagi NT sxemasini keltiring?

15. NTlar yordamida yechiladigan sinflash, klasterlash, approksimatsiyalash va avtoassotsiatsiyalash masalalari mohiyatini tushuntiring?

16. NTlarni o'rgatishning supervizorli, supervizorsiz va tasdiqlash usullarini tushuntiring?

17. Xopfild tarmog'ida neyronlarning to'g'ri va teskari faollashuvi sxemasini keltiring?

Nazorat testlari

1. Inson miyasi nechta neyronlardan va ular o'rtasidagi aloqalar nechtdan iborat?

- a) 10^{10} - 10^{11} neyronlardan va 10^{22} gacha aloqalardan iborat;
- b) 10^{15} - 10^{17} neyronlardan va 10^{24} gacha aloqalardan iborat;
- c) 10^{17} - 10^{20} neyronlardan va 10^{25} gacha aloqalardan iborat;
- e) 10^{18} - 10^{20} neyronlardan va 10^{27} gacha aloqalardan iborat.

2. Elektr faolliklikka ega bo'lgan va organizmni operativ boshqaradigan tirik organizmlar nerv hujayralarining alohida turi –bu hisoblanadi.

- a) neyron; b) sinaps; c) akson; e) soma.

3. Neyron tarkibiga nimalar kiradi?

a) dendritlar, akson, soma; b) neyropaketlar; neyrokompyuterlar, sinaps;

- c) dendritlar, akson, neyrokompyuterlar; e) driggerlar, akson, soma.

4. NTlar yordamida asosan qanday tipdagi masalalar yechiladi ?

- a) Sinflash, klasterlash, approksimatsiyalash, avtoassotsiatsiya;
- b) Differensiallash, klasterlash, integrallash, avtoassotsiatsiya;
- c) Bo'laklash, ketma-ket izlash, to'plamlarni qo'shish;
- e) To'plamlarni ko'paytirish, mantiqiy amallar bajarish, sinflash.

5. To'g'ri bog'lanishli NTlarda odatda uch turdagi qanday neyronlar qatlamlari mavjud bo'ladi ?

- a) Kiruvchi, yashirin va chiquvchi neyronli qatlamlar;
- b) Topologik , o'xshashlik va chiquvchi neyronli qatlamlar;
- c) Supervizorli, vaznli va sinapsli neyronli qatlamlar;
- e) Buyruq-asosli, topologik va kiruvchi neyronli qatlamlar.

6. Kirishlarda axborotni uzatish usuliga ko'ra NTlar qanday turlarga bo'linadi?

a) kirishga, chiqishga va kirish neyronlarining kuchiga qarab signallarni uzatuvchi NTlar;

- b) Topologik, o'xshashlik va chiquvchi signallarni uzatuvchi NTlar;

c) Supervizorli, vaznli va sinapsli signallarni uzatuvchi NTlar;

- e) Buyruq-asosli, topologik va kiruvchi signallarni uzatuvchi NTlar.

7. Chiqishlarda axborotni uzatish usuliga ko'ra NTlar qanday turlarga bo'linadi ?

a) chiqish neyronlariga va chiqish neyronlarining kuchiga qarab signallarni qabul qiluvchi NTlar;

b) Topologik, o'xshashlik va chiquvchi signallarni uzatuvchi NTlar;

c) Supervizorli, vaznli va sinapsli signallarni uzatuvchi NTlar; e) Buyruq-asosli, topologik va kiruvchi signallarni uzatuvchi NTlar.

8. O'rgatishni tashkil etishga ko'ra NTlar qanday turlarga bo'linadi?

a) O'qituvchili va o'qituvchisiz o'rgatadigan NTlar;

b) Topologikli va chiquvchi signallarsiz NTlar;

c) Supervizorli va vaznli NTlar;

e) Buyruq-asosli va topologikli NTlar.

9. Har bir neyronning chiqishi barcha boshqa neyronlar kirishlari bilan, uning kirishlari esa qolgan neyronlar chiqishlari bilan bog'langan bo'lsa—bu NT deyiladi.

a) to'liq bog'langan; b) topologikli; c) supervizorli;

e) to'liq bog'lanmagan.

10. Neyron guruhlarining tegishli alohida qatlam va darajalarda joylashgan tarmog'i—bu NT bo'ladi.

a) iyerarxikli; b) topologikli; c) supervizorli; e) to'liq bog'langan.

11. Bir nechta hisoblanuvchi neyronlar qatlamlaridan iborat bo'lgan to'rlar—buNTlar bo'ladi.

a) ko'p qatlamli; b) to'liq va topologikli; c) rekurrent;

e) lateralli va to'liq bog'langan.

12. Mak-Kallokk va U. Pits NTining formal modeli qaysi formula bilan tavsiflanadi ?

a) $S = \sum \omega_i x_i$; b) $S = \frac{1}{n} \sum \omega_i x_i$; c) $S = -\frac{1}{2} \sum \omega_i x_i$; e) $S = -\sum \omega_i x_i$.

13. Perseptron nechta qatlamli bo'lishi mumkin ?

a) ko'pqatlamli; b) faqat bir qatlamli; c) faqat ikki qatlamli;

e) faqat nol qatlamli.

14. Xopfild NTlariva.....hisoblanadi.

a) bir qatlamli; teskari aloqali; b) bir qatlamli; to'g'ri aloqali;

c) ko'p qatlamli; teskari aloqali; e) ko'p qatlamli; to'g'ri aloqali.

15. Xemming NTining kirishdagi obyektgacha masofaga ega bo'lgan etalon obyektini tanlashi kerak va natijada to'rda ushbu etalon obyektga mos keluvchichiqish faollashadi.

a) noma'lum; minimal; bitta; b) noma'lum; maxsimal; bitta;

c) noma'lum; minimal; ikkita; e) noma'lum; minimal; uchta.

8-BOB. SUN'IY INTELLEKTNI RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI VA YO'NALISHLARI

1-§. Sun'iy intellektning resurslar bilan bog'liq muammolari

SIning resurslar bilan bog'liq muammolari *ikki* tipdagi resurslarning etishmasligi bilan bo'g'liq. *Birinchisi*—bu kompyuterli resurslarning etishmasligi bo'lib, unda kompyuterlarning hisoblash quvvati, operativ xotira va tashqi xotira hajmlari e'triborga olinadi. *Ikkinchisi* esa-inson resurslarining etishmasligi bo'lib, unda ilmiynamo intellektual DTlarni yaratishga bilimlarning turli sohlaridan ilg'or mutaxassislarni jalb etish va uzoq muddatli tadqiqot loyihalarni tashkillashtirish talab etiladi.



Bugungi kunda *birinchi tipli resurslar* yaxshi pog'onaga chiqqan (yoki yaqin besh-o'n yilda chiqadi) bo'lib, ular inson uchun juda qiyin bo'lgan amaliy masalalarni yechmoqda. *Ikkinchi tipli resurslar* bilan bog'liq holat esa dunyo bo'yicha yomonlashmoqda. Shuning uchun ham SI sohasidagi muaffaqiyatlar yirik universitetlar qoshidagi uncha ko'p bo'lmagan ilg'or tadqiqot institutlari va markazlarida olib borilayotgan ilmiy-tadqiqotlar bilan bog'liq [6] (8.1-jadval).

2-§. Istiqbolli yo'nalishlar va texnologiyalar

SIning istiqbolli yo'nalishlarini mutaxassislar nuqtai-nazaridan qisqacha quyidagicha qaraymiz.

Neyronli to'rlar. Bu yo'nalish birinchi o'rinda barqaror turibdi. Quyidagi *yo'nalishlar bo'yicha tadqiqotlar* davom etmoqda [1,4,5,7,12, 15, 19]:

- real vaqt (dinamik) rejimida obyektlarni anglashni o'rgatish va sinflash algoritmlarini mukamallashtirish;
- tabiiy tillarni ishlash;
- tasvirlarni, nutqlarni va signallarni anglab olish;
- foydalanuvchiga moslashuvchi intellektualli interfeys modellarini yaratish.

NTlar yordamida yechilayotgan asosiy amaliy masalalarga quyidagilar kiradi:

- moliyalashtirishni bashoratlash;
- tizimlarni tashxislash;

8.1-jadval. Sun'iy intellektning istiqbolli texnologiyalari bo'yicha asosiy ilmiy maktablar.

Neyronli to'rlar (Neural Networks)	Noravshan tizimlar (Fuzzy Systems)	Intellectual robotlar (Robotics)	Mul'tiagentli tizimlar (Multi-agent Systems)	Ma'lumotlar ni intellektual tahlili (Intelligent Data Analyzing)	Tabiiy tilni ishlash (Natural Language Processing)
University of Toronto www.cs.toronto.edu/neuron/ , Iowa State University http://www.cs.iastate.edu/~honavar/ailab/ , Institute in Sheffield http://www.shef.ac.uk , Austrian Research Institute for AI www.ai.univie.ac.at , Bauman nomidagi MDTU http://www.chat.ru/	Stanford University http://cs.stanford.edu/Research , Iowa State University http://www.cs.iastate.edu/~honavar/ailab/ , Carnegi-Mellon University http://www.cs.cmu.edu , New University	Carnegi-Mellon University http://www.cs.cmu.edu , MIT http://www.ai.mit.edu , University of Melbourne http://www.cs.mu.oz.au , Stanford University http://cs.stanford.edu	Iowa State University http://www.cs.iastate.edu/~honavar/ailab/ , Santa Fe Institute http://alife.santafe.edu , University of Melbourne http://www.cs.mu.oz.au , Edinburg	Iowa State University http://www.cs.iastate.edu/~honavar/ailab/ , Stanford University http://cs.stanford.edu/Research , Manchester University http://www	Massachusetts Institute of Technologies (MIT) http://www.ai.mit.edu , Stanford University http://cs.stanford.edu/Research , Edinburg University http://www.informati.cs.ed.ac.uk , New University of Lisboa

~vlasov/, RFA SB HM (Krasnoyarsk), Neyrokibernetika instituti (Rostov- Don), SpbGETU, V.M.Glushkov nomidagi kibernetika instituti (Kiyev), XTURE, MIFI, Lebedev nomidagi fizika instituti http://canopus.lpi.msk.su/neurolab/	of Lisboa http://www.di.fct.unl.pt , Rossiya sun'iy intellekt instituti (Moskva- Novosibirsk) www.aha.ru/~artint/ , Dasturiy tizimlar instituti (Pereslavl'- Zalesskiy) www.botik.ru/PSI/	rd.edu/ Research, Edinburg University Http://www.informatics.ed.ac.uk , Tokyo University, University of Sussex, V.M.Glushkov nomidagi kibernetika instituti (Kiyev), FAW-Ulm instituti (Germaniya)	University http://www.informati.cs.ed.ac.uk , Austrian Research Institute for AI www.ai.univie.ac.at , Rossiya sun'iy intellekt instituti www.aha.ru/~artint/	cs.man.ac.uk http://www.di.fct.unl.pt , Harvard University http://www.eecs.harvard.edu/ai , Austrian Research Institute for AI www.ai.univie.ac.at , Bauman nomidagi MDTU http://www.chat.ru/~vlasov/ , Rossiya sun'iy intellekt instituti (Moskva- Novosibirsk) www.aha.ru/~artint/ , FAW-Ulm instituti (Germaniya)
--	--	---	---	--

- to'rlar faoliyatini nazorat qilish;
- ma'lumotlarni shifrlash.

Oxirgi yillarda *parallel qurilmalar* asosida NTlar ishini sinxronlashtirishning samarali usullarini izlash bo'yicha izchil tadqiqotlar olib borilmoqda.

Evolyutsiyali hisoblash. Evolyutsiyali hisoblash sohasini (kompyuter ilovalarning va robototexnik qurilmalarning avtonomli va moslashuvchanlik xususiyatlari) rivojlantirishda nanotexnologiyalarga e'tibor berilmoqda [18,19,25]. Evolyutsiyali hisoblash birvaqtda faoliyat ko'rsatayotgan uzellar to'plamidan iborat o'zini-o'zi yig'ish, o'zini-o'zi shakllantirish va o'zini-o'zi tiklash tizimlari kabi amaliy muammolariga ta'sir qilmoqda. Bunda raqamli avtomatlar sohasidagi ilmiy natijalarni qo'llash mumkin bo'lmoqda.

Evolyutsiyali hisoblashning yana bir aspekti-bu avtonom agentlardan kunlik masalalarni echish uchun shaxsiy kotibalar sifatida foydalanish. Shaxsiy kotibalar shaxsiy hisoblarni, uchinchi avlod algoritmlari yordamida tarmoqlarda kerakli ma'lumotlarni tanlab oluvchi assistentlarni, ishlarni rejalashtiruvchilarni, shaxsiy o'qituvchilarni, virtual sotuvchilarni va h.k. boshqaradi. Bunga robototexnika va u bilan bog'liq barcha sohalar ham taaluqli.

Evolyutsiyali hisoblashni rivojlantirishning asosiy yo'nalishlari-bu standartlar, intellektual qatlamlar, senriylar/savollar tillari, insonlar va dastururlarning o'zaro aloqasini tashkil etishning samarali uslubiyotlarini ishlab chiqishdan iborat.

Avtonom harakatlanuvchi modellar xonalarni tozalash, egulik buyurtmalar berish va tayorlash, avtomobillarni boshqarish va b.q. sohalarga faol joriy qilinmoqda.

Kelajakda evolyutsiyali hisoblashdan foydalanib murakkab masalalarni (genlarga o'xshash tarmoqlardan va katta massivli ma'lumotlardan iborat masalalarni tez tadqiq qilish) yechish uchun avtonomli agentlar jamoasidan foydalaniladi. Buning uchun evolyutsiyaning mumkin bo'lgan quyidagi yo'nalishlarini o'rganish bilan shug'ullanish talab qilinadi: jamoalar bilan ishlash, birgalidagi ishlarni rejalashtirish, aloqalar uslublarini o'rganish, guruxli o'zini'-o'zi o'rgatish, noto'liq ma'lumotlar bilan berilgan noravshan sohada kooperativli harakat, qiziqishlari bo'yicha birlashuvchi bir nechta agentlarning harakati, o'zaromunosabat ziddiyatlarini hal qilishni o'rganish va h.k.

Noravshan mantiq. Noravshan mantiq tizimlari barcha sohalarga nisbatan ko'proq *gibridli* bosqaruv tizimlarida faol qo'llaniladi [11, 16, 19, 24].

Tasvirlarni ishlash. Bu sohada tasvirlarni tavsiflash va tahlil qilish tadqiqotlari tasvirlarni qisish, turli protokollardan foydalanib uzatilgan tasvirlarni kodlashtirish, biometrik tasvirlarni va sputnikli rasmlarni ishlash kabi masalalarni yechishda davom ettiriladi. Keyingi rivojlanishlar tasvirlarning mazmunini tahlil qilish va indekslash, nusxa olishdan himoyalash, mashinali ko'rish, tasvirlarni anglab olish va sinflash algoritmlarini yaratishdan iborat [13, 22, 16].

Ekspert tizimlar. Ekspert tizimlarga talab yetarli yuqori pog'onda saqlab qolinadi. Bugungi kunda eng katta e'tibor real vaqt rejimida ishlaydigan tizimlarga, bilimlarni saqlash, olish, tahlil qilish va modellashtirish, dinamik rejalashtirish tizimlariga qaratilmoqda [6,17,21].

Intellegualli ilovalar. Kombinatorli muammolarni (masalan, transport masalalarida uchraydigan) optimal yechimini tez topish qobiliyatiga ega intellektual ilovalar sonining o'sishi rivojlangan mamlakatlar ishlab chiqarishi va sanoatining o'sishi bilan bo'g'liq.

Taqsimlangan hisoblashlar. Kompyuterli tarmoqlarning tarqalishi va yuqori ishlab chiqarishli klasterlarning yaratilishi taqsimlangan hisoblashlar masalasiga qiziqishni oshirdi. Bu masalalarga resurslarni muvozanatlashtirish, protsessorlarni optimal yuklash, maksimal samaralilikga erish maqsadida qurilmalarni o'zini-o'zi shakllantirish, yangilanishga talabgor elementlarni kuzatish, tarmoqdagi elementlar orasidagi nomosliklarni aniqlash, dasturlar ishlashining aniqliligini tashxislash kabilar kiradi.

Real vaqtli operatsion tizimlar. Avtonom robototexnikli qurilmalarning paydo

bo'lishi real vaqtli operatsion tizimlarga talablarni oshiradi. Bu talablarga o'zini-o'zi sozlashni tashkillashtirish, hizmat ko'rsatuvchi operatsiyalarni rejalashtirish, vaqt tanqisligi sharoitida qaror qabul qilishda SI vositalaridan foydalanish kabilar kiradi.

Intellegualli injeneriya. Oxirgi yillarda yirik dasturiy tizimlarni (dasturiy injeneriya) yaratish jarayonlarini tashkillashtirish bilan shug'ullanuvchi kompaniyalar SIDA alohida qiziqish uyg'otmoqdalar. SI usullari ko'proq boshlang'ich matnlarni tahlil qilish va ularning ma'nosini tushunish, talablarni boshqarish, tasniflashni tuzish, loyihalash, kodli generatsiyalash, testlash, sifatni baholash, masalalarni parallel tizimlarda echish kabilarda qo'llanilmoqda.

Dasturiy injeneriya asta-sekinlik bilan bilimlarni tasvirlash va ishlashning (hozircha intellektual injeneriyada asosiy e'tibor bilimlardagi axborotlarni o'zgartirish uslublariga qaratilgan) ko'proq umumiy muammolarini qaraydigan intellektual injeneriyaga aynadi [1,6,12,17,19].

O'zini-o'zi tashkillashtiruvchi ma'lumotlar bazasini boshqarish tizimlari (MBBT). O'zini-o'zi tashkillashtiruvchi MBBT haqiqiy masalalarga egiluvchanlik bilan moslashish qobiliyatiga ega bo'ladi va boshqarishni talab etmaydi.

SIda mashhurligi bo'yicha quyidagi texnologiyalar guruhlari turadi:

1) Tabiiy tillarni avtomatik tahlil qilish (leksikali (so'z boyligi), morfologikli, terminalogikli, notanish so'zlarni ajratib olish, milliy tillaarni aniqlash, tarjima qilish, hatolarni tuzatish, lug'atlardan samarali foydalanish);

2) Yuqoriunumli OLAP-ma'lumotlarni izlash va tahlil qilish, so'rovlarni vizualli berish uslublari;

3) Shoshilinch holatlarda doktorlarga maslahat beruvchi tibbiy tizimlar, jarrohlik operatsiyalar jarayonida aniq harakarni bajaruvchi robotlar-manipulyatorlar;

4) To'liq avtomatlashtirilgan kiberzavodlar yaratish, moslashuvchan tejamkor ishlab chiqarish, tez protiplashtirish, ishni rejalashtirish, ta'minot zanjirini bir-biriga moslashtirish;

5) Moliya, tibbiyot va matematika sohalarida haqiqiy masalalarni yechishga yo'naltirilgan amaliy usullarni ishlab chiqish;

6) Turli o'yinlar va ovunchoq dasturlar. Yangi yo'nalishli tadqiqotlarga: ijtimoiy harakatlar, munosabatlar, insoniy tuyg'ular, ijodiyot kabilar kiradi.

Yaponiyada SIning mashxur yo'nalishlari va texnologiyalari. Evropa va Amerika mamlakatlariga nisbatan Yaponiyada SI bo'yicha yo'nalishlar va texnologiyalar orasida quyidagi ilmiy maktablar mashxur hisoblanadi:

- E-bozorlar va E-ayksionlar ishlarini modellashtirish va yaratish;
- bioinformatika (kataklarning elektronli modeli, oqsilli axborotlarni parallel kompyuterlarda tahlil qilish, DNK hisoblovchilari);
- tabiiy tillarni ishlash (matnlar ma'nosini anglash va tushunishning o'zini-o'zi o'rgatuvchi ko'ptilli tizimlari);
- Internet (tarmoqlarni va odamlar yashaydigan uylarda real vaqt rejimida ishlaydigan turli datchiklarni, intellektual interfeyslarni integratsiyalash, Internetning amaliy va tizimli tushunchalarini formallashtirish asosida qo'lda bajariladigan ishlarni, katta hajmdagi

axborotlardan kerakli ma'lumotlarni ajratib olishning iteratsiyali texnologiyalarini avtomatlashtirish);

- robototexnika (mashinali o'rgatish, avtonomli qurilmalarning bir-biri bilan samarali aloqasini tashkil etish, harakatlarni tashkillashtirish, harakatlarni rejalashtirish, harakatlarni tavsiflovchi axborotlarni indeksatsiya qilish);

- bilimlarni tasvirlash va ishlash uslublari (bilimlar sifatini oshirish, inson-ekspertlardan bilimlarni olish usullari, ma'lumotlarni izlash va tuzish, xujjatlar almashinuvini boshqarish).

Ko'pchilik ishlar mantiqiy xulosalash, robotlarni o'rgatish va ularning harakatini rejalashtirish algoritmlariga bag'ishlangan.

Harbiy texnologiyalar. NTlar sohasidagi tadqiqotlar boshqarishning murakkab masalalarini yechishda yaxshi natijalar olishga imkoniyat yaratmoqda va uni *DARPA* harbiy ilmiy agentligi moliyalashtirmoqda. Masalan, Smart Sensor Web loyihasi-jang maydonida sinxronli ishlaydigan turli xildagi datchiklarning taqsimlangan tarmoqlarini tashkillashtirishga mo'ljallangan. Bunday tarmoqdagi har bir obyekt (bahosi 300 dollar) vizualli, elektromagnitli, raqamli, kimyoli va b.q ma'lumotlar bilan tasvirladi. Bu loyiha optimallashtirishning ko'po'lchovli masalalarini yechishning yangi matematik usullarini talab qiladi. Texnikalar ishining to'xtab qolish sabablarini, maqsadlarini, tahlilini va bashoratini avtomatik tarzda aniqlash bo'yicha tadqiqotlar (masalan, ovoz bo'yicha) olib borilmoqda.

Intelлектни modellashtirish tizimlarining harbiy sohalarida o'zi yurar robor- mashinalar va boshqaruvchisiz samolyotlardan iborat mustaqil harakatlanuvchi armiyalar haqida ma'lumotlar mavjud. Biroq yaqin o'n yillarda o'zining yechimini kutayotgan muammolar ham yetarlicha. Eng avvalo bu muammolarga real vaqt rejimida avtomatik anglab oluvchi tizimlarning videoaxborotlarni to'g'ri tahlil qilish qobiliyatiga ega emasligidir. Shuningdek, avtonom qurilmalarning katta birlashmalarida qarama-qarshiliklarni hal qilish, o'zinikini va begonalarini mutlaqo aniq anglab olish, yo'q qilib tashlanadigan nishonni tanlash, tanish bo'lmagan muhitda harakat qilish algoritmlarni ishlab chiqish kabi masalalarini hal qilish ham dolzarb hisoblanadi.

Shuning uchun harbiylar amliyyotda kichikroq masshtabli maqsadlarga erishishga intiladi. Asosiy e'tibor nutqni anglab olish tadqiqotlariga qaratiladi, qo'lda bajariladigan ishlarni avtomatlashtirish va uchuvchilarning mehnatini engillashtirish maqsadida ekspert va maslaxat beruvchi tizimlar yaratiladi. NTlar signallarni ishlashda va suvostidagi

toshlarni minalardan farqlashda samarali qo'llanilmoqda. Genetik algoritmlardan harbiy qurilmalarning (mo'ljalni olish, boshqarish tizimlarida) ishlashini aniqlovchi tenglamalarning yechimini evristik izlashda, shuningdek, anglab olish masalalarida-tabiiy va sun'iy obyektlarni ajratishda, harbiy mashinalarning tipini aniqlashda, kameralar yordamida olingan tasvirlarni tahlil qilishda foydalaniladi.

3-§. Asosiy xulosalar

Bugungi kunda SI texnologiyalarini rivojlanishining belgilovchi faktori- bu kompyuterlarni hisoblash quvvatining o'sish surati hisoblanadi, chunki inson psixikasining ishlash jarayoni hozirgacha noma'lumligicha qolmoqda. Shuning uchun SI yo'nalishidagi mavzular yetarli darajada standart shaklda va tarkibi bo'yicha ancha vaqtdan buyon o'zgarmasdan kelmoqda. Lekin zamonaviy kompyuterlar unumdorligining o'sishi va algoritmlar sifatining oshishi turli ilmiy usullarni amaliyotga qo'llashga imkoniyat yaratmoqdalar. Bunday holatlar hozirgi vaqtgacha intellektual o'yinchoqlarda amalga oshirilib kelingan bo'lsa, endi uydagi robotlar bilan ham shunday holatlar amalga oshiriladi.

Obyektlar juda kam xossalar bilan berilganda vaqtinchalik unitilgan "variantlarni birma-bir oddiy tekshirish" usullaridan (xuddi shaxmat dasturlari kabi) foydalanish qaytadan tiklanmoqda. Bunday yondashuvlar (ularni muvaffaqiyatli qo'llashning asosiy resursi-bu unymdorlik hisoblanadi) yordamida juda ko'plab masalalarni yechish mumkin (masalan, kriptografiya sohasidagi masalalar). Avtonomli qurilmalarning ishonchli harakat qilishida yetarlicha oddiy, lekin ko'p resurslarni talab etadigan moslashuvchanlik xususiyatga ega bo'lgan algoritmlar yordam beradi. Buning uchun tashqi ko'rinishi odamga o'xshaydigan emas, balki xuddi odamga o'xshab harakat qiladigan tizimlarni yaratish maqsad qilib qo'yiladi.

Olimlar ancha uzoqni ko'zlab kelajakga harakat qilishmoqdalar. Yaqin kelajakda o'z yechimini topishi mumkib bo'lgan masalalar bo'yicha quyidagi savollar mavjud: Mustaqil ravishda o'ziga o'xshaydigan nusxalarni hosil qilish (nusxalarni ko'paytirish) qobiliyatiga ega bo'lgan avtonom qurilmalarni yaratish mumkinmi? Bunday algoritmlarni fan yaratish qobiliyatiga egami? Bunday mashinalarni biz nazorat qila olamizmi? Bu kabi savollarga hozircha javoblar yo'q.

Formal mantiqni bilimlarni tasvirlash va qayta ishlashga mo'ljallangan amaliy tizimlariga qo'llash faol davom etadi. Shuning bilan

birgalikda formal mantiq haqiqiy hayotni to'la aks ettiraolmaganligi sababli mantiqiy xulosalashning turli tizimlarining bitta qatlamga birlashuvi amalga oshadi. Bunda obyektlar haqidagi axborotlarni batafsil tasvirlash va bu axborotlarni manipulyatsiya qilish qoidalari qarashlaridan xulosalashni abstrakt formal tavsiflash va xulosalashning universal mexanizmlarini yaratishga o'tiladi, obyektlarning o'zi esa xarakteristikalarining ehtimolli taqsimlanishiga asoslangan ko'p bo'lmagan ma'lumotlar massivi bilan xarakterlanadi.

SI ilmiy etilgan soha bo'lib, u asta-sekinlik bilan oldinga uzluksiz siljimoqda. Uning kelajakdagi rivojlanishi turli matematik fanlar kesimida, ayniqsa, mulohazalar va predikatlar mantiqi, ehtimollar nazariyasi, noravshan to'plam va noravshan mantiq kabi fanlarning qo'llanilishi natijasida namoyon bo'ladi.

Nazorat savollari

1. SIning resurslar bilan bog'liq muammolari qanday tipdagi resurslarning etishmasligi bilan bo'g'liq?

2. SIning istiqbolli texnologiyalari bo'yicha asosiy ilmiy maktablarni keltiring?

3. NTlar bo'yicha tadqiqotlar qaysi yo'nalishlarda davom etmoqda?

4. Evolyutsiyali hisoblashni rivojlantirishning asosiy yo'nalishlarini keltiring?

5. Noravshan mantiq tizimlari qanday sohalarda faol qo'llaniladi?

6. Tasvirlarni ishlash sohasida qanday masalalar yechiladi?

7. Ekspert tizimlarga bugungi kunda e'tibor qanday tizimlarni yaratishga qaratilmoqda?

8. Intellektualli ilovalarning o'sishi nimalarga bog'liq?

9. Taqsimlangan hisoblashlarga qanday masalalar kiradi?

10. Real vaqtli operatsion tizimlarga qanday masalalar kiradi?

11. Intellektualli injeneriyada qanday ishlar amalga oshirilmoqda?

12. SI da mashhurligi bo'yicha qanday texnologiyalar guruxlari turadi?

13. Yaponiyada SIning qanday mashhur yo'nalishlari va texnologiyalari mavjud?

14. NTlar harbiy texnologiyalar sohasida qanday qo'llaniladi?

15. Genetik algoritmlardan harbiy qurilmalarda qanday masalalarda foydalaniladi?

Xotima

Umid bilan aytmoqchimizki, o`quv qo`llanmani o`rganib chiqqach kitobxon uning foydali ekanligi haqida ishonch hosil qiladi, ko`pincha esa SITlarni qo`llash zarurligi, ularning imkoniyatlari, qurish prinsiplari va rivojlanish yo`nalishlari haqidagi tasavvurlarni shakllanishiga olib keladi.

SITlar evolyutsiyasi jadal sur`atlar bilan o`smoqda. Ulardan ayrimlari (masalan, idrok etish, ET, timsollarni anglash va sinflash, mashinali tarjima, nutqni anglash va boshqalar) bugungi kun uchun axborot – kompyuterli muhitda xizmat qiluvchi insonlar uchun odatiy komponentalar bo`lib hisoblanadi. SITlarning asosiy yo`nalishlaridan biri ET larning amalda keng qo`llanishiga erishilgan (AQSh, Yaponiya va Evropada) bo`lishiga qaramay, ularni ommaviy ishlab chiqarish va yoyishga to`squinlik qiluvchi bir qator hal bo`lmagan quyidagi muammolar bor.

- ETlarni yaratish shu paytgacha uzoq va qiyin jarayon bo`lib qolayotganligi;

- bilimlarni qabul qilish (olish): saralash, strukturalash, tasvirlash, sozlash va bilimlarni kuzatib borish;

- hayotda ko`pincha yechiladigan masalalar vaqt o`tishi bilan turlicha yechilishi taqozo etiladi, ko`pgina ETlar: asosan o`zgarmas masalalarni yechishga mo`ljallanganligi uchun ularni boshqa masalalarga qo`llab bo`lmaydi;

- bilimlar injeneriyalarini dastur bo`yicha quvvatlashning yo`qligi (chunki ekspertdan bilimlarni olish va ularni formallashtirish ET larni yaratishda eng qiyin va ma`suliyatli masala hisoblanadi).

Demak, ETlarni yaratish va ulardan natijalar olish uchun hali ko`p ishlar qilinishi kerak.

Boshqalari esa, hozircha ekzotik va amaliy qo`llashdan uzoqda deb tuyulayotganlari, ertagayoq bizning hayotimizga puxtalik bilan kirib keladi.

SITlar ko`plab bilimlar sohasiga tegishli bo`lgan tadqiqotlar natijalariga asoslanadi. Birinchi navbatda diskret matematika, matematik mantiq, kibernetika, matematik lingvistika, sun`iy intellekt, psixologiya, sistemotexnika va boshqalarni aytish kerak. Bundan tashqari, dasturlash texnologiyasi, Internet, ko`pagentli tizimlar va boshqalarda barcha so`nggi muvaffaqiyatlar foydalaniladi.

Misol tariqasida, intellektual ATlar va dasturlashning zamonaviy texnologiyalarining o`zaro kirishi natijasi *Microsoft.NET* platformasini

ko'rsatish mumkin, uni yaratishda korporatsiya 2 mlrd. doll. ortiq mablag' sarfladi va uni rivojlantirishda 5 mingdan ortiq mutaxassislar ishlamoqda. Yangi imkoniyatlarni esa u SI g'oya va usullarini mujassamlashtirish hisobiga egallamoqda.

Shunday qilib, kompyuter bilan "tabiiy" muloqotga javob beruvchi *Natural Interface* texnologiyalari qo'lyozma ma'lumotlarni kiritish va anglashni, nutqni anglashni va sintez qilishni ta'minlaydi, shuningdek, turli xil tashqi qurilmalardan qulay foydalanish uchun sharoitlar yaratadi.

Universal Canvas texnologiyasi XML-sxemaga asoslangan arxitekturani, ya'ni Internet ni "o'qish" uchun platformasidan "o'qish/yozib olmoq" platformasiga aylantiradi, va hujjatlar ustida o'zaro tahrirlash, manbalarni birlashtirish, tushuntirishlar berish, tahrirlash va tahlil qilish kabi jarayonlarni ta'minlaydi.

Information Agent texnologiyasi Internet ga foydalanuvchi vakilni kiritish imkonini beradi, bu vakil foydalanuvchining ehtiyojini, ma'qul ko'rganlarini biladi va Internet – servislarni unga ko'nikishiga imkon beradi.

Smarttags texnologiyasi Intellisense texnologiyasining rivojlangani hisoblanadi. U dasturchi – yordamchi *Microsoft Office, Internet Explorer* va boshqa ilovalarda, shuningdek, avto'o'zgartirish, avtoformatlash, avto'to'ldirish va boshqa funksiyalar bilan ishlovchi foydalanuvchining harakatlarini oldindan bilishga va xatolarni tuzatishga imkon beradi.

Sining bazaviy asoslari bilimlarga tayanish, tabiiy tillarda muloqotni tashkil etish, matnni tushunish, mantiqiy xulosa chiqarish, yechimlarni asoslash va tushuntirish hisoblanadi.

O'quv qo'llanmaning hajmi chegaralanganligi tufayli SITlarning barcha yo'nalishlarini qarab chiqish imkonini bermaydi. Amaliy intellektual avtomatlashtirilgan tizim(IAT)lar [1-3,13,16, 18] va ET texnologiyalari to'g'risidagi ma'lumotlarni bibliografik ro'yxatda ko'rsatilgan [2-4,6,9,16,17] manbalardan olishlari mumkin. Intellektual anglovchi tizmlarni qurish modellari [2,3,7,15,16,22] manbalarda yoritilgan. Neyronli to'rlar [1-4,6,7,17,19,30] qaralgan. Intellektual robotlar asosini tashkil etuvchi modellar [2,3,17,25] larda tavsiflangan.

SITlar investitsiyalar kiritish bo'yicha istiqboli porloq sohalardan biriga aylanmoqda. Intellektual ATlari investitsiya kiritishda kelajakda eng asosiy yo'nalishlardan biri hisoblanmoqda, Xorijiy mamlakatlardagi manbalarda keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra bu sohaga sarflangan 1 dollar 50-60 dollar foyda keltiradi. Bajarilgan loyihalardan tushgan foyda ushbu loyihaga sarflangan xarajatlarni 2-3 yilda qoplamogda.

XXI asrni fan va texnikada SITlar keng qo'llanilmaydi deb fikrlab bo'lmaydi. Tabiiy intellekt imkoniyatlarini ochish uchun sharoitlar yaratilgani tufayli, ular inson hayotining barcha yo'nalishlariga chuqur ta'sir ko'rsatadi, va uni yanada qulay va qiziqarli bo'lishiga olib keladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 304 с : ил. - (Информатика в техническом университете). ISBN 5-7038-2544-X.
2. Bekmuratov K.A., Mamaraufov O.A., Bekmuratov D.K. Sun'iy intellekt. Oliy ta'lim muassasalari uchun uslubiy qo'llanma. Tashkent. "Navro'z" nashriyoti DUK. 2015. 366 bet. (UDK 004.8. ISBN:978-9943-381-08-7).
3. Bekmuratov K.A., Mamaraufov O.A., Bekmuratov D.Q.. Sun'iy intellekt. Ma'ruzalar matni. Samarqand: TATU Samarqand filiali. SamDU bosmaxonasida chop etildi. 2018. – 655 bet. ISBN:978-9943-997-51-6).
4. Бессмертный И.А. Искусственный интеллект - СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. -132 с.
5. Вольфганг Эртел. Введение в искусственный интеллект. Издательства Шпрингер. 2011. 316 с.
6. Гаврилов А.В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие: в 2-х ч. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. - Ч. 1. - 67 с.
7. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. М.: изд-во СССР-США СП "ParaGraph", 1990. 160 с.
8. Гундо Ван Россум, Фред Л.Дрейк. Введение в Python. Изд. Network theory. 2003. 1120 с.
9. Давид Пул, Алан Макворф. Искусственный интеллект. Основы вычислительных агентов. Chembridge University Press. 2010. 682 с.
10. Дафни Коллер, Пир Фидман. Вероятностные графические модели. Принципы и техники. Изд. MID Press, 2009.-1231 с.
11. Заде Д. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Д. А. Заде. - М. : Мир, 1976. -168 с.
12. Иванов В. М. Интеллектуальные системы : учебное пособие / В. М. Иванов. - Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2015. — 92 с. ISBN 978-5-7996-1325-9.
13. Косимов С.С. Ахборот технологиялари. Ўқув қўлланма. Тошкент. Алоқачи. 2006.-369 б.
14. Лихтарников Т.П., Сукачева Д.Л. Математическая логика. Сант-Петербург, 1999 г. 288 с.
15. Мичи Д., Спигелхалтер Д.Ж, Тейлор С.С. Машинное

обучение, нейронная и статистическая классификация. 1994 г. 290 с.

16. Павлов С. Н. Системы искусственного интеллекта : учеб. пособие. В 2-х частях. / С. Н. Павлов. - Томск: Эль Контент, 2011. - Ч. 1. - 176 с. ISBN 978-5-4332-0013-5.

17. Попов Д.А. Искусственный интеллект : в 3 кн. / под ред. Д. А. Попова. -М.: Радиои связь, 1990. -Кн.1: Системы общения и экспертные системы. -461 с.

18. Потапов А.С. Технологии искусственного интеллекта – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 218 с.

19. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход 2-е изд. / Artificial Intelligence: A Modern Approach 2. Изд-во: Вильямс. 2007. 1408 с. ISBN код книги: 0-13-790395-2.

20. Тураев Х.Т. Дискрет математика. 1, 2- томлар. Ўқув қўлланма. Т-2001. 456 б.

21. Филиппович Ю.Н., Филиппович А.Ю. Системы искусственного интеллекта. - М.: МГУП, 2009. - 312 с.

22. Фор А. Восприятие и распознавание образов.- М.: Машиностроение. 1989. -272 с.

23. Хачатурова Е.М., Кимизбаев О.Э. Учебное пособие по курсу “Экспертные системы”. ТУИТ ИММ Алоқачи, Ташкент 2006. 105 с.

24. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [электронный ресурс] / Д. С. Штовба. - Режим доступа: <http://www.matlab.ru/fuzzylogic/book1/index.asp>.

25. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е издание. Изд-во: БХВ-Петербург. 2005. 416 с. ISBN код книги: 5-94157-473-8.

Internet manzillari

26. Mamaraufov O.A., Bekmuradov D.K., Djumayev S. Intellectual tizimlar. Elektron masofaviy ta’lim kursi. <http://etuit.uz/dl/course/view.php?id=808>

27. <http://www.searchengines.ru/>

28. <http://www.tuit.uz/>

29. <http://www.ziyonet.uz>

30. neyronus.com/robo.html.

Qisqartma soʻzlar

AT	Axborot texnologiy
AQT	Axborotni qidirish tizimi
BB	Bilimlar bazasi
BF	Baholash funksiyasi
BT	Bayesli toʻr
CASE	Computer Aided Software Engineering – dasturiy taʼminotni avtomatik yaratish
CLIPS	C Language Integrated Production System- ekspert tizimni yaratish uchun dasturiy qobiq
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency – AQSh himoya vazirligi istibolli tadqiqotlarni rivojlantirish agentligiri
DM	Data Mining – maʼlumotlarni chuqur tahlil qilish
DNSH	Dizyuntiv normal shakl
DT	Dasturiy taʼminot
EHM	Elektron hisoblash mashinasi
EL	Elaboration Language – qayta ishlash va aniqlik kiritish tili (IDEF5 da foydalaniladi)
ET	Ekspert tizim
FT	Formal tizim
HF	Holatlar fazosi
HM	Hisoblash mashinasi
HOLAP	Hybrid OLAP – gibridli OLAP (OLAPda maʼlumotlarni saqlash uslubi)
HTML	Hyper Text Markup Language – gipermatnli belgilashlar tili
HTTP	Hyper Text Transport Protocol – gipermatnni uzatish protokoli
IA	Intellectual agent
IAT	Intellectual avtomatlashtirilgan tizim
IT	Intellectual tizim
KDD	Knowledge Discovery in Databases – maʼlumotlar bazasidan bilimlarni ajratib olish
KNSH	Konyunktiv normal shakl
KIF	Knowledge Interchange Format – bilimlar yordamida almashish formati (bilimlarni tasvirlash tillaridan biri)
LIAT	Loyihalash ishlarining avtomatlashtirilgan tizimi

LO`	Lingvistik o'zgaruvchi
MATLAB	Matritsaviy laboratoriya
MB	Ma'lumotlar bazasi
MBBT	Ma'lumotlar bazasini boshqarish tizimi
MM	Matematik mantiq
MF	Mansublik funksiyasi
NK	Neyrokompyuter
NM	Noravshan munosabat
NMXCH	Noravshan mantiqiy xulosa chiqarish
NP	Neyropaket
NT	Neyronli to`r
NO'	Noravshan o'zgaruvchi
OLAP	On-Line Analytical Processing – ma'lumotlarni interaktivli analitik ishlash
PM	Predikatlar mantiqi
SNT	Sun'iy neyron to'rlar
SPSS	«Statistical Package for the Social Sciences» - «Ijtimoiy fanlar uchun statistik paket»
SI	Sun'iy intellekt
SIT	Sun'iy intellekt tizim
TAT	Timsollarni anglovchi tizim
TDNSH	Takomil diz'yunktiv normal shakl
TKNSH	Takomil kon'yunktiv normal shakl
TT	Tabiiy til
TV	Texnik vositalar
UT	Universal to'plam
QQQ	Qarorl qabul qilish
XML	Extensible Markup Language – belgilashning kengaytiriladigan tili
XMLP	XML Protocol - XML-ma'lumotlarni uzatish protokoli
YaAT	Yangi axborot texnologiya

Atamalar va tushunchalar izohi

№	Atama	Ma'nosi va mazmuni
1.	Aksioma	Isbotsis qabul qilinadigan tasdiq.
2.	Analogiya	Ikkita matematik tushunchalarda mavjud bo'lgan xususiy xossalarning o'xshashligi bo'yicha aqliy xulosalash.
3.	Atribut	1) Belgi, ma'lumotlar tavsifi. 2) Obyektning ajralmas xossasi.
4.	Bilimlar bazasi	Hisoblash mashinalarida bilimlar saqlanadigan joy.
5.	Mulohaza	Chin yoki yolg'on qiymat qabul qiluvchi fakr.
6.	Graf	Tugunlar to'plami va ularni birlashtiruvchi yoylarni tasvirlovchi matematik tuzilma.
7.	Daraxt	Sikllarsiz bog'langan graf.
8.	Dizyunksiya	"Yoki" mantiqiy amali bo'lib, uni qo'llash natijasida o'zgaruvchilarning birortasi "chin" qiymat qabul qilsa, yangi ifoda "chin" bo'ladi. $\vee$ belgilanadi.
9.	Tabiiy til	Insonlar o'rtasida axborotlarni almashishning odatiy usuli.
10.	Bog'liklik	Funksiyalar va ularning argumentlari o'rtasidagi munosabatlar.
11.	Xulosa	"Obyekt - qiymat" juftlik bilan ifodalangan bilimlar bazasi fakti.
12.	Bilimlar	Faktlar, tasdiqlar va evristik qoidalar.
13.	Deklarativli bilimlar	Masala echimi protseduralarini oshkora saqlamaydigan bilimlar.
14.	Kauzalli bilimlar	Predmet sohadagi obyektlar o'rtasida sabab-oqibat aloqalari to'g'risidagi bilimlar.
15.	Noaniq bilimlar	Noto'liq, ba'zan qarama-qarshi xususiyatiga ega bilimlar.
16.	Protsedurali bilimlar	"Masala qanday echiladi" savoliga javob beradigan bilimlar.
17.	Induksiya	Xususiylikdan umumiylikni hosil qilish.
18.	Interpretatsiya	Faktlarga aniq va ma'noli mazmundagi bilimlarni qo'shib yozish, sharxlash, tushuntirish.
19.	Chin	Noqarama-qarshi aksiomalar tizimlaridan olingan

		barcha qat'iy va aniq isbotlanuvchi tasdiqlar xossasi.
20.	Predikatlar hisobi	Argumentlar-o'zgaruvchilar yordamida mantiqiy formulalarning (predikatlarning) xulosalash qoidalar tizimi.
21.	Kvantor	Bir mantiqiy formulani boshqa ko'rinishga o'tkazishni amalga oshiruvchi mantiqiy operator. Kvantorlar umumiylik kvantori $\forall x$ ("barcha x uchun") va mavjudlik kvantoriga $\exists x$ ("shunday x mavjudki, uning uchun") bo'linadi.
22.	Konyunksiya	Barcha argumentlari chin bo'lsa, qiymati chin bo'luvchi, " $\wedge$ " yoki " $\wedge$ " belgilanuvchi mantiqiy amal.
23.	LISP	Sun'iy intellekt sohasida simvolli hisoblashlarni amalga oshirishga mo'ljallangan dasturlash tili.
24.	Mantiq	Fikrlashning qonunlari va normalari, isbotlashning uslublari haqidagi fan.
25.	Ehtimolli mantiq	Chin qiymatlar ehtimolliklar bilan izohlanadigan mantiq.
26.	Noklassik mantiq	Ikkita chinlik qiymatdan ("yolg'on", "chin") ko'p yoki an'anaviy mantiqdan aksiomalar tizimi va xulosalash qoidalar bilan farqlanadigan mantiq.
27.	Noravshan mantiq	Formulalarning chinlik darajasini xarakterlovchi son $0 \leq \mu \leq 1$ (norashanlik o'lchovi) bilan ifodalanadigan mantiq.
28.	Predikatlar mantiqi	Formulalari predikatlardan iborat mantiq.
29.	Formal mantiq	Fikrlash shakllarini o'rganadigan matematik mantiq bo'limi.
30.	Metabilimlar	Bilimlar haqidagi bilimlar.
31.	Metaqoidalar	Qoidalarni qanday qo'llash haqidagi qoidalar.
32.	Nobog'langanlik	Shunday aksiomalar (formulalar) tizimi hossasi bo'lib, bunda boshqa aksiomalardan (formulalardan) birorta ham aksioma(formula) kelib chiqmaydi.
33.	Noaniqlik	Faktning ishonchliligiga qoyilgan cheklov.
34.	Noto'liqlik	Nazaraiyalar doirasida nazariyaning har qanday formulasini isbot qilish mumkin emasligini

		bildiradi.
35.	Tajriba	Amaliyotga asoslaninb haqiqiylikni anglash.
36.	To'liqlik	T nazariyaning to'liqligi shuni anglatadiki, bunda ushbu nazariyaning ixtiyoriy f formulasi o'zi chin bo'ladi yoki unga teskari bo'lgan $\bar{f}$ formula chin bo'ladi.
37.	Xulosalash qoidasi	Nazariyaning bir formulasini boshqa formullalardan olish qoidasi.
38.	Asos	"Obyekt-qiymat" juftlik bilan ifodalangan bilimlar bazasi fakti.
39.	Semantikli	Simvolli ifodaning shakli emas, balki ma'nosi, qiymati yoki muhimligiga taaluqli.
40.	Sintaktikli	Simvolli ifodaning ma'nosi yoki qiymati emas, balki shakli yoki tuzilmasiga talluqli.
41.	Tizim	Obyektlar majmuasi, bir butun sifatida qaralgan obyektlar ustida amallar va ular o'rtasidagi aloqalar.
42.	Xulosa (oqibat)	Boshqa formulalardan xulosalash qoidalari yordamida hosil qilingan formula.
43.	Strategiya	Vaziyatlardan kelib chiqib har bir harakatni belgilovchi variantlarni tanlarni aniqlovchi qoidalar majmuasi.
44.	Evristikli qoida (evristika)	Qandaydir masalani bajarish uchun noto'liq usul.
45.	Ekspertli tizim	Inson bilimlarni egallashga va tajriba orttirishga bir necha yillar sarflaydigan sohalarda yuqori darajadagi ishlarni amalga oshiruvchi mashinali tizim.
46.	Qoida	Bu bilimlar vazifasining IF <Shart>, THEN <harakat> ko'rinishidagi rasmiy usuli.
47.	Evristik	Predmetli sohada yechimlarni qidirishni soddalashtiradigan yoki chegaralaydigan qoidalar.
48.	Sun'iy intellekt	Tabiatdagi jarayon va hodisalarni o'rganish(tadqiqot qilish)da insondagi ayrim intellektual qobiliyatlarni texnik jihatdan mujassamlashtirgan umumiy tushuncha.
49.	Rezolyutsiyalar usuli	Predikatlar mantiqidagi teoremlarni isbotlashga asoslangan va isbotlashning mukammal usuli

		hisoblangan.
50.	Sun'iy intellektli tizim	Fe'l-atvori maqsadga yo'naltirilgan qobiliyatni o'zida aks ettiruvchi ixtiyoriy biologik, sun'iy yoki formal tizimlar.
51.	Bionika	SI sohasidagi tadqiqotlarning bazaviy yo'nalishlaridan biri bo'lib, o'z tarkibida inson ongi uchun xarakterli va inson tomonidan yechiladigan masalalar asosida yotuvchi strukturalar va jarayonlarni sun'iy qaytadan tiklash muammolari bilan shug'ullanadi.
52.	Intellekt	I. Lotincha «intellektuz» so'zidan kelib chiqqan bo'lib, u bilish (aniqlash), tushunish yoki fahmlash (aql) ma'nosini beradi. II. Fikrlash qobiliyati, ratsional bilish va shunga o'xshash. Umumiy holda esa fikrlash, shaxsni aqliy rivojlanishi sinonimi bo'lib xizmat qiladi. III. Turmushdagi dalillar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni tushunish qobiliyati. Bu qobiliyat belgilangan maqsadga erishishga olib boruvchi harakatlarni ishlab chiqish uchun kerak bo'ladi.
53.	Robot	«Robot» chex so'zidan olingan bo'lib, odamzodga o'xshab harakat qiluvchi mashinani anglatadi. «Robot» termini birinchi bo'lib chex yozuvchisi Karel Chapekning 1920 yilda yozgan R.U.R. («Rassum universal robotlari») pesasida qo'llangan.
54.	Bashoratlash	Oldindan aytish. Bashoratlash berilgan vaziyatlardan ehtimolli oqibatlarini hulosalash. Ob-havo ma'lumotlari, yo'l-transport hodisasi, hosildorlik, harbiy holat va h.k.larni oldindan aytish.
55.	Tashxis	Kuzatishlar natijasida tizimdagi buzilishlar haqidagi xulosalar.
56.	Loyihalash	Cheklovlar bo'lganda tizim shakl-shamoyilni qurish.
57.	Boshqarish	Tizim holatini interpretatsiyalash, bashoratlash, tuzatish va monitoring qilish.

MUNDARIJA

So'z boshi.....	3
Kirish.....	7
1-bob. SUN'IY INTELLEKT FANINING MAZMUNI, PREDMETI VA USULI. SUN'IY INTELLEKT HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR.....	12
1-§. Fanning mazmuni.....	12
2-§. Sun'iy intellektning paydo bo'lishi va rivojlanish bosqichlari	15
3-§. Zamonaviy intellektual tizimlar va ularning asosiy yo'nalishlari.....	21
3.1. Neyrobionik yo'nalish.....	23
3.2. Axborotli yo'nalishi.....	24
3.3. Sun'iy intellekt tizimlarini sinflash.....	30
4-§. Sun'iy intellektni inson faoliyatining turli sohalariga tadbiq etish.....	34
5-§. O'zbekistonda intellektual tizimlarning rivojlanishi	38
6-§. Tyuring testlari va suhbatdosh kompyuter dasturlari.....	40
7-§. Intellektual agentlar.....	43
8-§. Sun'iy intellektning asosiy tarkibiy qismlari va arxitekturasii..	51
9-§. Sun'iy intellektning asosiy xususiyatlari.....	53
Nazorat savollari.....	53
Nazorat testlari.....	54
2-bob. MULOHAZALAR VA PREDIKATLAR MANTIQUI.....	57
1-§. Mulohaza. Mulohazalar ustida amallar.....	57
2-§. Mulohazalar mantiqida isbotlash usullari.....	59
2.1. Mulohazalar mantiqida isbotlashning semantik usuli.....	59
2.2. Mulohazalar mantiqida isbotlashning sintaktik usuli.....	63
3-§. Predikatlarni mantiqi	67
4-§. Birinchi tartibli predikatlarni mantiqi.....	75
5-§. Sun'iy intellektda mantiqiy xulosalashlar	78
5.1. Deduktiv mantiqiy xulosalash.....	78
5.2. Abduktivli va induktivli mantiqiy xulosalashlar.....	82
Nazorat savollari.....	83
Nazorat testlari.....	84
Masala va topshiriqlar.....	85
3-bob. MANTIQ CHEKLOVLARI VA NOANIQLIKNI	

MODELLASHTIRISH	90
1-§. Tarixiy ma'lumotlar.....	90
2-§. Bilimlarning noaniqligi va ularni ishlash uslublari.....	91
2.1. Masalalarni tavsivlashda noaniqliklarning turlari.....	91
2.2. Ma'lumotlar va bilimlarning xususiyatlari.....	94
3-§. Noravshan bilimlar va ular ustida amallar.....	95
3.1. Noravshan bilimlar	95
3.2. Noravshan to'plamlar.....	96
3.3. Noravshan mantiq amallari.....	102
3.4. Noravshan to'plamlar ustida oddiy amallar.....	104
3.5. Noravshan munosabatlar.....	112
4-§. Noravshan mantiqiy xulosa chiqarish qoidalar.....	120
5-§. Lingvistik o'zgaruvchilar.....	123
Nazorat savollari.....	126
Nazorat testlari.....	127
Masala va topshiriqlar.....	129
4-bob. QIDIRUV YORDAMIDA MUAMMOLARNI ECHISH.....	134
1-§. Sun'iy intellekt masalalarini yechishning umumiy uslublari..	134
2-§. Sun'iy intellekt masalalarini yechishning usullari.....	135
2.1. Masalalarni yechishda qidiruv usullarini sinflash.....	135
2.2. Qidiruv yordamida muammoni echish.....	136
2.2.1. Holatlar fazosida yechimni qidiruv usullari.....	136
2.2.2. Chuqurligi bo'yicha qidiruv strategiyasi.....	138
2.2.3. Kengligi bo'yicha qidiruv strategiyasi.....	140
2.2.4. Evristikli qidiruv.....	142
2.2.5. A^* qidiruv algoritmi.....	143
Nazorat savollari.....	149
Nazorat testlari.....	149
Masala va topshiriqlar.....	151
5-bob. QAROR QABUL QILISHNING MARKOV	
JARAYONLARI VA O'YINLAR NAZARIYASI.....	154
1-§. Hodisalar oqimi.....	154
2-§. Markov modeli va Markov tasodifiy jarayonlari.....	157
2.1. Markov modeli.....	157
2.2. Markov tasodifiy jarayonlari.....	157
2.3. Yashirin Markov modeli.....	165

3-§. Monte-Karlo usuli	167
3.1. Monte-Karlo usuli yordamida statistik modellshtirish.....	167
3.1.1. Statistik modellashtirishning umumiy sxemasi.....	168
3.1.2. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini modellashtirish.....	169
3.2. Monte-Karlo usuli yordamida imitatsion modellashtirish.....	171
3.2.1. Ommaviy xizmat ko'rsatish tizimini imitatsion modellashtirish.....	173
4-§. O'yinlar nazariyasi.....	177
4.1. Asosiy tushunchalar va ta'riflar.....	177
4.2. Matritsaviy o'yin. Alfa-betta parchalanish.....	179
4.3. O'yinning egar nuqtasi. Sof strategiyalar.....	182
4.4. Matritsaviy o'yinni soddalashtirish.....	183
5-§. Noaniqlik sharoitida qaror qabul qilish.....	187
5.1. Noaniqlik sharoitida optimal strategiyani tanlash mezonlari...	187
5.2. Noaniqlik sharoitida tajribani o'tkazish masalasini yechish algoritmi.....	191
Nazorat savollari.....	196
Nazorat testlari.....	196
Masala va topshiriqlar.....	198
6-bob. MASHINALI O'QITISH VA MA'LUMOTLARNING INTELLEKTUAL TAHLILI.....	201
1-§. Bayes ehtimolligi.....	201
2-§. Bayesli to'rlar.....	206
3-§. Ma'lumotlarning intellektual tahlili.....	213
3.1. Data Mining – Ma'lumotlarning intellektual tahlili.....	213
3.2. Klasterlash.....	219
3.3. Klasterlar yordamida sinflash algoritmlari	224
Nazorat savollari.....	235
Nazorat testlari.....	236
Masala va topshiriqlar.....	238
7-bob. NEYRONLI TO'RLAR.....	242
1-§. Neyronli to'rlar sohasidagi tadqiqotlar tarixi.....	242
2-§. Neyronli to'rlarning asosiy tushunchalari va elementlari	244
3-§. Neyroto'rlar arxitekturasini.....	250
4-§. Neyronli to'rlarni obyektlarni anglab olishga o'rgatishning umumiy sxemasi va uslubiy jihatlari.....	251

5-§. Neyronli to'rlar yordamida yechiladigan asosiy masalalar.....	253
6-§. Neyron to'rlarni o'rgatish usullari.....	256
7-§. Neyronli to'rlarning turlari.....	258
7.1. Mak-Kallok-Pitts neyronli to'riining formal modeli.....	258
7.2. Rozenblatt perseptroni.....	262
7.3. Assotsiativ xotirali neyronli to'rlar.....	263
7.4. Xopfild neyronli to'rlari.....	266
7.4.1. Xemming neyronli to'rlari	267
7.4.2. Ikki yo'nalishli assotsiativli xotira	276
7.4.3. O'qituvchisiz o'rgatuvchi neyronli to'rlar.....	277
7.5. Xebba to'ri bo'yicha o'rgatishning signalli usuli.....	279
7.5.1. Koxonen neyronli to'rlari.....	279
7.5.2. Neyronli to'rlarning yutuqlari va kamchiliklari.....	280
8-§. Nazorat savollari.....	283
Nazorat testlari.....	284
	285
8-bob. SUN'IY INTELLEKTNI RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI VA YO'NALISHLARI.....	287
1-§. Sun'iy intellektning resurslar bilan bog'liq muammolari.....	287
2-§. Istiqbolli yo'nalishlar va texnologiyalar.....	287
3-§. Asosiy xulosalar.....	294
Nazorat savollari.....	295
Xotima.....	296
Foydalanilgan adabiyotlar.....	299
Qisqartma so'zlar.....	301
Atamalar va tushunchalar izohi.....	303