

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

**OLIV TA'LIM TIZIMI PEDAGOG VA RAHBAR KADRLARINI QAYTA
TAYYORLASH VA ULARNING MALAKASINI OSHIRISHNI TASHKIL
ETISH BOSH ILMIY – METODIK MARKAZI**

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
PEDAGOG KADRLARNI QAYTA TAYYORLASH VA ULARNING
MALAKASINI OSHIRISH TARMOQ MARKAZI**

**“INTELLEKTUAL TIZIMLARNI BOSHQARISHNING ZAMONAVIY
MATEMATIK IFODALASH USULLARI”
moduli bo'yicha**

O'QUV-USLUBIY MAJMUA

Toshkent – 2024

Mazkur o‘quv – uslubiy majmua Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligining 2023 yil 25-avgustdagi 391-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchi: ToshDTU “Axborotlarga ishlov berish va boshqarish tizimlari” kafedrasini mudiri, professor J.U.Sevinov

Taqrizchi: O‘zbekiston Milliy universiteti «Sun’iy intellekt» kafedrasini mudiri, texnika fanlari doktori, professor Sh.F. Madraximov

O‘quv – uslubiy majmua Toshkent davlat texnika universiteti Kengashining 2024 yil 31-yanvardagi 5-sonli yig‘ilishida ko‘rib chiqilib, foydalanishga tavsiya etildi.

MUNDARIJA

I.	Ishchi dastur.....
II.	Modulni o‘qitishda foydalaniladigan interfaol ta’lim metodlari
III.	Nazariy materiallar
IV.	Amaliy mashg‘ulot materiallari.....
V.	Keyslar banki
VI.	Glossariy
VII.	Adabiyotlar ro‘yxati

I. ISHCHI DASTUR

Modulning maqsadi va vazifalari

“Intellectual tizimlarni boshqarishning zamonaviy matematik ifodalash usullari” modulining maqsadi:

Oliy ta’lim muassasalari “Intellectual muhandislik tizimlari” ta’lim yo’nalishi mutaxassislik fanlardan dars beruvchi pedagoglar malakasini oshirish, pedagogik faoliyatga nazariy va kasbiy tayyorgarlikni ta’minlash va yangilash, kasbiy kompetentlikni rivojlantirish asosida ta’lim-tarbiya jarayonlarini samarali tashkil etish va boshqarish bo’yicha bilim, ko’nikma va malakalarni takomillashtirishdan iborat.

“Intellectual muhandislik tizimlari” ta’lim yo’nalishi mutaxassislik fanlardan dars beruvchi pedagoglar malakasini oshirishda **“Intellectual tizimlarni boshqarishning zamonaviy matematik ifodalash usullari”** modulni o’rganish mobaynida turli fizik xususiyatli texnologik ob’yektlar va jarayonlarni boshqarishni intellektuallashtirilgan boshqarish tizimini taxlil qilish va loyixalash, jarayon va qurilmalarni o’rganishga ijodiy yondoshish imkoniyatini beradi.

Ushbu maqsadga erishish uchun – turli fizik xususiyatli texnologik ob’yektlar va jarayonlarni boshqarishni intellektuallashtirilgan boshqarish tizimini loyixalash va ularni hisoblash uslublarini o’rgatishdan iboratdir.

“Intellectual tizimlarni boshqarishning zamonaviy matematik ifodalash usullari” modulning vazifasi:

- intellektual axborot tizimlarining matematik modellaridan foydalangan holda muammolarni hal qilish qobiliyatini rivojlantirish, shuningdek, intellektual axborot tizimlaridan foydalanishning amaliy qo’llanilish imkoniyatlari va shartlarini tushunish.

- sun’iy intellekt texnologiyalarida qo’llaniladigan matematik usullardan foydalanishga asoslangan axborotlarni qayta ishlashga mo’ljallangan tizimlar modellarini qurish.

Modul bo'yicha tinglovchilarning bilimi, ko'nikmasi, malakasi va kompetensiyalariga qo'yiladigan talablar

“Intellectual tizimlarni boshqarishning zamonaviy matematik ifodalash usullari” modulni o'zlashtirish jarayonida amalga oshiriladigan masalalar doirasida:

Tinglovchi:

- tadbiqiy masalalarni yechish;
- qo'llaniladigan sun'iy intellekt tizimlarining asosiy matematik yondoshuv va modellarini qurish darajasiga **ega bo'lishi**;
- dinamik tizimlarda intellektual boshqarish usullarini qo'llab boshqarishdagi muammolarni bartaraf etish bo'yicha dastlabki qarorlarni qabul qilish darajasidagi **ko'nikma va malakalarni egallashi zarur.**

Tinglovchi:

– boshqarishda tadbiqiy masalalarni yechishda qo'llaniladigan sun'iy intellekt tizimlarining asosiy matematik yondoshuv va modellari, shuningdek, ularni dinamik tizimlarda qo'llash bo'yicha **kompetensiyaga ega bo'lishi lozim.**

Modulni tashkil etish va o'tkazish bo'yicha tavsiyalar

“Intellectual tizimlarni boshqarishning zamonaviy matematik ifodalash usullari” moduli ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar shaklida olib boriladi.

Modulni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy metodlari, pedagogik texnologiyalar va axborot-kommunikatsiya texnologiyalari qo'llanilishi nazarda tutilgan:

-ma'ruza darslarida zamonaviy kompyuter texnologiyalari yordamida taqdimot va elektron-didaktik texnologiyalardan;

-o'tkaziladigan amaliy mashg'ulotlarda texnik vositalardan, ekspress-so'rovlar, test so'rovlari, aqliy hujum, guruhli fikrlash, kichik guruhlar bilan ishlash, kollokvium o'tkazish, va boshqa interaktiv ta'lim usullarini qo'llash nazarda tutiladi.

Modulning oliy ta'limdagi o'rni

Modulni o'zlashtirish orqali tinglovchilar ишлаб чиқариш sanoatlardagi jihozlarning turlari, ishlash prinsiplari va ularni hisoblash va loyihalash usullarini o'rganish, amalda qo'llash va baholashga doir kasbiy kompetentlikka ega bo'ladilar.

Modul bo'yicha soatlar taqsimoti

№	Modul tarkibi	Auditoriyadagi o'quv yuklamasi			
		Jami	Jumladan:		
			Nazariy	Amaliy mashg'ulot	Kuchma mashgulot
1.	Intellectual boshqarish tizimlari to'g'risida umumiy tushunchalar	2	2		
2.	Intellectual tizimlarning tasnifi	4	2	2	
3.	Sinflashtirish va klasterlash	4	2	2	
4.	Noravshan to'plamlar usuli	4	2	2	
5.	Neyron tarmoqlari.	12	2	4	6
6.	Intellectual boshqaruv tizimlarining strukturasi.	6	2	4	
7.	Boshqarishning intellectual tizimlarida boshqaruvchi qurilmalar.	10	2	2	6
8.	Dinamik ob'yektlarni identifikatsiyalash masalalarida neyron tarmoqlarni qo'llanilishi.	4	2	2	
Hammasi		46	16	18	12

NAZARIY MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: Intellectual boshqarish tizimlari to'g'risida umumiy tushunchalar.

Intellectual boshqarish nazariyasining rivojlanish tendensiyalari; intellektuallashtirish tushunchasi; intellectual boshqarish tizimlarining ishlab-chiqarishdagi o'rni va roli; sanoatda va muhandislik tizimlarida intellectual texnologiyalar asosida avtomatlashtirish haqida tasavvurga ega bo'lishi; ekspert tizimlarning asosiy prinsiplarini va ularning matematik ifodasini; intellectual boshqaruv tizimlarning bilimlar bazasini va ularni yaratish usullari. intellektuallashtirish darajasi;

noaniqliklarni xosil bo'lish sabablari; boshqarish jarayonida intellektuallashtirishning zaruriyati.

2-mavzu: Intellektual tizimlarning tasnifi.

Intellektual boshqarish tizimlarini yaratishga sabablar. Intellektual boshqarish tizimlarini ishlash prinsiplari. Intellektual boshqarish tizimlarining asosiy matematik apparatlari. Intellektual boshqarish tizimlarining robust boshqarish xususiyatlari.

3-mavzu: Sinflashtirish va klasterlash.

Tegishlilik funksiyasini qurish usuli. Qat'iymas to'plam nazariyasi asosida boshqarishning xususiyatlari. Texnologik ob'yektlarni qat'iymas boshqarishning xususiyatlari. Qat'iymas boshqarish tizimlarning funksional sxemasi. Qat'iymas boshqarish tizimlarni qurishning metodologiyasi.

4-mavzu: Noravshan to'plamlar usuli.

Tegishlilik funksiyasini qurish usuli. Qat'iymas bilimlar bazasini tasvirlash. Bilimlar bazasini to'ldirish algoritmi. Qat'iymas boshqarish tizimlari dinamikasini tahlili

5-mavzu: Neyron tarmoqlari.

Qat'iymas boshqarish tizimlarning strukturasi qurish. Noravshan rostlagichni shakllantirish. Qat'iymas boshqarish tizimini turg'unligini aniqlash. Qat'iymas boshqarish tizimini modellashtirish. Qat'iymas gibrid boshqarish tizimlarini tadbiqi

6-mavzu: Intellektual boshqaruv tizimlarining strukturasi

Tipik rostlash qonunlari. PID rostlagichning raqamli ko'rinishi. Qat'iymas PID rostlagichnin sintezlash. Qat'iymas mantiq bazasida raqamli rostlagichli boshqarish tizimlarini sintezlash.

7-mavzu: Boshqarishning intellektual tizimlarida boshqaruvchi qurilmalar.

Qat'iymas boshqarish tizimlarini nohiziqli tizimlar sifatida tahlil qilish. Qoidalar bazasini tuzish. Nohiziqli boshqarish tizimlarini statik va dinamik tavsiflarini olish.

8-mavzu: Dinamik ob'yektlarni identifikatsiyalash masalalarida neyron tarmoqlarni qo'llanilishi

Dinamik ob'yektlarni identifikatsiyalash masalalarida neyron tarmoqlarni qo'llanilish shartlari. Sintezlash masalasini qo'yilishi. Qat'iymas raqamli rostlagichning sintezlashni xususiyatlari. Qat'iymas raqamli rostlagichning sintezlash algoritmi.

AMALIY MASHG'ULOT MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot. Sun'iy neyron tarmoqlari haqida umumiy ma'lumot

Intellectual boshqaruv tizimlarning bilimlar bazasini va ularni yaratish usullari va Intellectual boshqaruv tizimlarining iyerarxik tashkillashtirish.

2-amaliy mashg'ulot: Neyron tarmoqlarni faollashtirish funksiyasining modellari va turlari

Intellectual boshqaruv tizimlarining sifat ko'rsatkichlari va ularga ta'sir etuvchi asosiy omillarni tahlil qilish.

3-amaliy mashg'ulot: Neyron tarmoqlar yordamida yo'naltirilgan grafi-klarni qurish.

intellektual boshqaruv tizimlarni modellashtirish, tahlil qilish hamda sifat ko'rsatkichlarini baholash usullari.

4-amaliy mashg'ulot: Ko'p qatlamli oldinga yo'naltirilgan neyron tarmog'i Tegishlilik funksiyasini qurish usuli. Qat'iymas bilimlar bazasini tasvirlash. Bilimlar bazasini to'ldirish algoritmi

5-amaliy mashg'ulot: Neyron tarmoqlar yordamida yechiladigan masalalarning asosiy sinflari.

Qat'iymas boshqarish tizimlarning strukturasi qurish. Noravshan mantiq. Noravshan to'plamlar va lingvistik o'zgaruvchilar. Noravshan to'plamlar ustida amallar.

6-amaliy mashg'ulot: Hemming ning neyronlarning turlari Bilimlar bazasi, tizimda bilimlarni tashkillashtirish; Intelektual texnologiyalarda bilimlar bazasini shakllantirish usullari.

7-amaliy mashg'ulot: Hebba neyronlarning turlari Dinamik obyektlarni boshqarishning noravshan algoritmlarini qurishning umumiy tamoyillarini qurish.

KO'CHMA MASHG'ULOTLAR MAZMUNI

1-mavzu: IBT iyerarxiyasining turli darajalarida jarayonlarni boshqarish va qaror qabul qilishni optimallashtirish.

2-mavzu: Intellectual boshqarish tizimlariga noravshan mantiqni qo'llash.

Ko'chma mashg'ulotda tinglovchilarni "Toshkent truba zavodi" QK ga olib borish ko'zda tutilgan. Mavzu yuzasidan yangi texnika texnologiyalar va amaliy ishlarni bajarish rejalashtirilgan

TA'LIMNI TASHKIL ETISH SHAKLLARI

Ta'limni tashkil etish shakllari aniq o'quv materiali mazmuni ustida ishlayotganda o'qituvchini tinglovchilar bilan o'zaro harakatini tartiblashtirishni yo'lga qo'yishni, tizimga keltirishni nazarda tutadi.

Modulni o'qitish jarayonida quyidagi ta'limning tashkil etish shakllaridan foydalaniladi:

- ma'ruza;
- amaliy mashg'ulot;

O'quv ishini tashkil etish usuliga ko'ra:

- jamoaviy;
- guruhli (kichik guruhlarda, juftlikda);
- yakka tartibda.

Jamoaviy ishlash – bunda o'qituvchi guruhlarning bilish faoliyatiga rahbarlik qilib, o'quv maqsadiga erishish uchun o'zi belgilaydigan didaktik va tarbiyaviy vazifalarga erishish uchun xilma-xil metodlardan foydalanadi.

Guruhlarda ishlash – bu o'quv topshirig'ini hamkorlikda bajarish uchun tashkil etilgan, o'quv jarayonida kichik guruhlarda ishlashda (3 tadan – 7 tagacha ishtirokchi) faol rol o'ynaydigan ishtirokchilarga qaratilgan ta'limni tashkil etish shaklidir.

O'qitish metodiga ko'ra guruhni kichik guruhlarga, juftliklarga va guruhlarora shaklga bo'lish mumkin.

Bir turdagi guruhli ish o'quv guruhlari uchun bir turdagi topshiriq bajarishni nazarda tutadi. Tabaqalashgan guruhli ish guruhlarda turli topshiriqlarni bajarishni nazarda tutadi.

Yakka tartibdagi shaklda - har bir ta'lim oluvchiga alohida- alohida mustaqil vazifalar beriladi, vazifaning bajarilishi nazorat qilinadi.

6-jadvalda pedagog xodimlar faoliyatini baholashning yuqorida eslatilgan nizomga asosan hozirgi vaqtdagi baholash parametrlari berilgan.

Pedagog xodimlar faoliyatini baholash va natijalari haqidagi ma'lumotlarni taqdim etish bo'yicha Yo'riqnoma		
<i>T/r</i>	Ko'rsatkichlar	Ball
O'quv-metodik faoliyati (40 ball)		40
1	O'qituvchilik faoliyati (20 ball):	20
1.1.	Nazariy bilimlarni, amaliy ko'nikmalarni va o'qitiladigai fanning zamonaviy tendensiyalarini egallaganlik darajasi (ochiq mashg'ulotlar natijalari bo'yicha).	8
1.2.	O'qitish sifati darajasi (talabalardan so'rab chiqish natijalari bo'yicha).	5
1.3.	Talabalarning o'qituvchining yo'llanmasi (fani) bo'yicha olimpiadalarda, har xil tanlovlar va ilmiy grantlardagi ishtiroki.	7
2	Metodik ishlar (20 ball):	20
2.1.	Yil mobaynida oliy ta'lim muassasasi o'qituvchisi tomonidan nashr etilgan darsliklar va o'quv qo'llanmalar.	8
2.2.	O'qitishda kompyuter va axborot texnologiyalaridan foydalanish darajasi, o'quv kursini va o'quv-taqdimot materiallarini ishlab chiqish.	7
2.3.	Uquv jarayonida zamonaviy ta'lim texnologiyalari va talabalar bilimlarini baholashning ilg'or usullari qo'llanilishi darajasi.	5
Tarbiyaviy faoliyati (20 ball)		20
3	Talabalar bilan tarbiyaviy ish bo'yicha tadbirlarda ishtirok etish: ma'naviy-ma'rifiy ishlar, sport klublari, ilmiy, ijodiy to'garaklar, madaniy tadbirlar va shu kabilar.	5
4	Talabalarning akademik guruhlarida kuratorlik.	6
5	Talabalarning o'qishdan tashqari bo'sh vaqtlarini mazmunli o'tkazishni tashkil etishdagi ishtiroki.	5
6	Idora, mintaqa doirasida bajariladigan jamoatchilik ishlari va oliy ta'limdan tashqari ishlar.	4
Ilmiy faoliyati (30 ball)		30
7	Ilmiy konferetssiyalar ishida ishtirok etish.	5
8	Ilmiy nashrlarda (shu jumladan xorijiy ilmiy nashrlarda) materiallar, monografiyalar e'lon qilish.	5
9	Xalkaro, ilmiy loyihalarga, xo'jalik shartnomalariga raxbarlik qilish yoki ularda ishtirok etish.	5
10	Patentlar va ixtirolar.	5
11	Katta ilmiy xodimlar-izlanuvchilarning dissertatsiya tadqiqotlariga ilmiy rahbarlik qilish.	5
12	Doktorlik dissertatsiyasi doirasida ilmiy tadqiqot olib borish.	5

Oliy ta'lim muassasasini rivojlantirishga qo'shgan ulushi (10 ball)		10
13	Boshqa ta'lim muassasalari: oliy ta'lim muassasalari, akademik litseylar va kasb-hunar kollejlari bilan hamkorlikni mustahkamlashda ishtirok etish (o'qituvchanlik faoliyati va ular uchun bilimlar darajasini oshirish treninglarini tashkil etish).	3
14	Xorijiy oliy ta'lim muassasalari bilan ayirboshlash dasturlarida ishtirok etish va ularni tashkil etish.	4
15.	Yangi yo'nalishni, yangi kafedrani, laboratoriyani ochish ishida, Axborot-resurs markazining elektron bazasini to'ldirishda ishtirok etish.	3
Shaxsiy fazilatlari (10 ball)		10
16.	Ilmiy daraja va ilmiy unvon.	3
17.	Malaka oshirish kurslaridan o'tish.	2
18.	Xorijiy tillarni egallaganlik, materiallarni ishlab chiqish va fanni o'qitishda ulardan amalda foydalanish.	2
19.	Xorijiy ta'lim muassasalari va ilmiy muassaslarda stajirovkadan o'tish.	3
JAMI (eng ko'p ball - 110)		110

Yuqoridagi jadvalda faoliyatning ajratib ko'rsatilgan turlari, ularga beriladigan ballar o'zgartirishni talab etishni anglatadi. Bu o'zgartirishlarni kafedra a'zolari – professor-dotsentlar va katta o'qituvchi-assistenlar bo'yicha alohida-alohida ko'rib chiqamiz (7,8-jadvallar).

7-jadval

Professorlar, dotsentlar faoliyatini baholash - KPI

<i>T/r</i>	Ko'rsatkichlar	Ball
O'quv-metodik faoliyati (30 ball)		40
1	O'qituvchilik faoliyati (10 ball):	10
1.1.	O'qitish sifati darajasi (talabalardan so'rab chiqish natijalari bo'yicha).	5
1.2.	Talabalarning o'qituvchining yo'llanmasi (fani) bo'yicha olimpiadalarda, har xil tanlovlar va ilmiy grantlardagi ishtiroki.	5
2	Metodik ishlar (20 ball):	20
2.1.	Yil mobaynida oliy ta'lim muassasasi o'qituvchisi tomonidan nashr etilgan darsliklar va o'quv qo'llanmalari.	20
Tarbiyaviy faoliyati (10 ball)		10
3	Talabalar bilan tarbiyaviy ish bo'yicha tadbirlarda ishtirok etish:	5

	ma'naviy-ma'rifiy ishlar, sport klublari, ilmiy, ijodiy to'garaklar, madaniy tadbirlar va shu kabilar.	
6	Idora, mintaqa doirasida bajariladigan jamoatchilik ishlari va oliy ta'limdan tashqari ishlar.	5
Ilmiy faoliyati (50 ball)		50
7	Ilmiy konferetssiyalar ishida ishtirok etish.	6
8	Ilmiy nashrlarda (shu jumladan xorijiy ilmiy nashrlarda) materiallar, monografiyalar e'lon qilish.	12
9	Xalkaro, ilmiy loyihalarga, xo'jalik shartnomalariga raxbarlik qilish yoki ularda ishtirok etish.	12
10	Patentlar va ixtirolar.	10
11	Katta ilmiy xodimlar-izlanuvchilarning dissertasiya tadqiqotlariga ilmiy rahbarlik qilish.	5
12	Doktorlik dissertasiyasi doirasida ilmiy tadqiqot olib borish.	5
Oliy ta'lim muassasasini rivojlantirishga qo'shgan ulushi (10 ball)		10
13	Boshqa ta'lim muassasalari: oliy ta'lim muassasalari, akademik litseylar va kasb-hunar kollejlari bilan hamkorlikni mustahkamlashda ishtirok etish (o'qituvchanlik faoliyati va ular uchun bilimlar darajasini oshirish treninglarini tashkil etish).	5
14	Xorijiy oliy ta'lim muassasalari bilan ayirboshlash dasturlarida ishtirok etish va ularni tashkil etish.	5
JAMI (eng ko'p ball - 100)		100

8-jadval

Katta o'qituvchilar, assistentlar faoliyatini baholash - KPI

T/r	Ko'rsatkichlar	Ball
O'quv-metodik faoliyati (30 ball)		30
1	O'qituvchilik faoliyati (20 ball):	15
1.1.	Nazariy bilimlarni, amaliy ko'nikmalarni va o'qitiladigai fan-ning zamonaviy tendensiyalarini egallaganlik darajasi (ochiq mashg'ulotlar natijalari bo'yicha).	5
1.2.	O'qitish sifati darajasi (talabalardan so'rab chiqish natijalari bo'yicha).	5
1.3.	Talabalarning o'qituvchining yo'llanmasi (fani) bo'yicha olimpiadalarda, har xil tanlovlar va ilmiy grantlardagi ishtiroki.	5
2	Metodik ishlar (20 ball):	15
2.1.	Yil mobaynida oliy ta'lim muassasasi o'qituvchisi tomonidan nashr etilgan o'quv-uslubiy ko'rsatmalar.	5
2.2.	O'qitishda kompyuter va axborot texnologiyalaridan foydalanish darajasi, o'quv kursini va o'quv-taqdimot materiallarini ishlab chiqish.	5
2.3.	Uquv jarayonida zamonaviy ta'lim texnologiyalari va talabalar bilimlarini baholashning ilg'or usullari qo'llanilishi darajasi.	5

Tarbiyaviy faoliyati (20 ball)		20
3	Talabalar bilan tarbiyaviy ish bo'yicha tadbirlarda ishtirok etish: ma'naviy-ma'rifiy ishlar, sport klublari, ilmiy, ijodiy to'garaklar, madaniy tadbirlar va shu kabilar.	10
6	Idora, mintaqa doirasida bajariladigan jamoatchilik ishlari va oliy ta'limdan tashqari ishlar.	10
Ilmiy faoliyati (30 ball)		30
7	Ilmiy konferetssiyalar ishida ishtirok etish.	6
8	Ilmiy nashrlarda (shu jumladan xorijiy ilmiy nashrlarda) materiallar, monografiyalar e'lon qilish.	6
9	Xalkaro, ilmiy loyihalarga, xo'jalik shartnomalariga raxbarlik qilish yoki ularda ishtirok etish.	6
10	Patentlar va ixtirolar.	6
12	Doktorlik dissertasiyasi doirasida ilmiy tadqiqot olib borish.	6
Oliy ta'lim muassasasini rivojlantirishga qo'shgan ulushi (10 ball)		10
13	Boshqa ta'lim muassasalari: oliy ta'lim muassasalari, akademik litseylar va kasb-hunar kollejlari bilan hamkorlikni mustahkamlashda ishtirok etish (o'qituvchanlik faoliyati va ular uchun bilimlar darajasini oshirish treninglarini tashkil etish).	5
14	Xorijiy oliy ta'lim muassasalari bilan ayirboshlash dasturlarida ishtirok etish va ularni tashkil etish.	5
Malaka oshirish va stajirovkalar (10 ball)		10
17.	Malaka oshirish kurslaridan o'tish.	4
19.	Xorijiy ta'lim muassasalari va ilmiy muassaslarda stajirovkadan o'tish.	6
JAMI (eng ko'p ball - 100)		100

Biz taklif qilayotgan baholash parametrlari mazmuni quyidagicha: avvalambor, baholashda professor-o'qituvchilarni turi bo'yicha ajratilgan, ya'ni fan doktori, professor va yosh assistent faoliyatini bitta shkala bo'yicha baholash – metodik xatodir. Ikkinchidan, ayrim faoliyat turi, masalan, 18 punktdagi “Xorijiy tillarni egallaganlik, materiallarni ishlab chiqish va fanni o'qitishda ulardan amalda foydalanish” olib tashlandi. Bunga sabab ayrim faoliyat turlari bir necha marta baholanish hollari mavjud, masalan, 1.2 punktdagi “O'qitish sifati darajasi (talabalardan so'rab chiqish natijalari bo'yicha)” faoliyat turi yuqorida ko'rsatilgan 18 punktdagi faoliyatni qamrab oladi (6-jadval) va h.k.

I-BOB. INTELLEKTUAL BOSHQARISH TIZIMLARI TO'G'RSIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

1.1. Intelektual tizimlar haqida umumiy ma'lumot

Sun'iy intellekt (SI) dasturiy muhit tizimi bo'lib, unda inson tafakkuri kompyuter jarayoniga imitatsiyalangan bo'ladi. Sun'iy intellekt atamasi 1956-yilda Stanford universiteti (AQSh) tomonidan taklif etilgan. Intellekt – bu maqsadga erishishda zarur bo'ladigan faktlar va usullar to'plamidan iborat. Maqsadga erishish esa faktlarga zaruriy qoidalarni qo'llashdir.

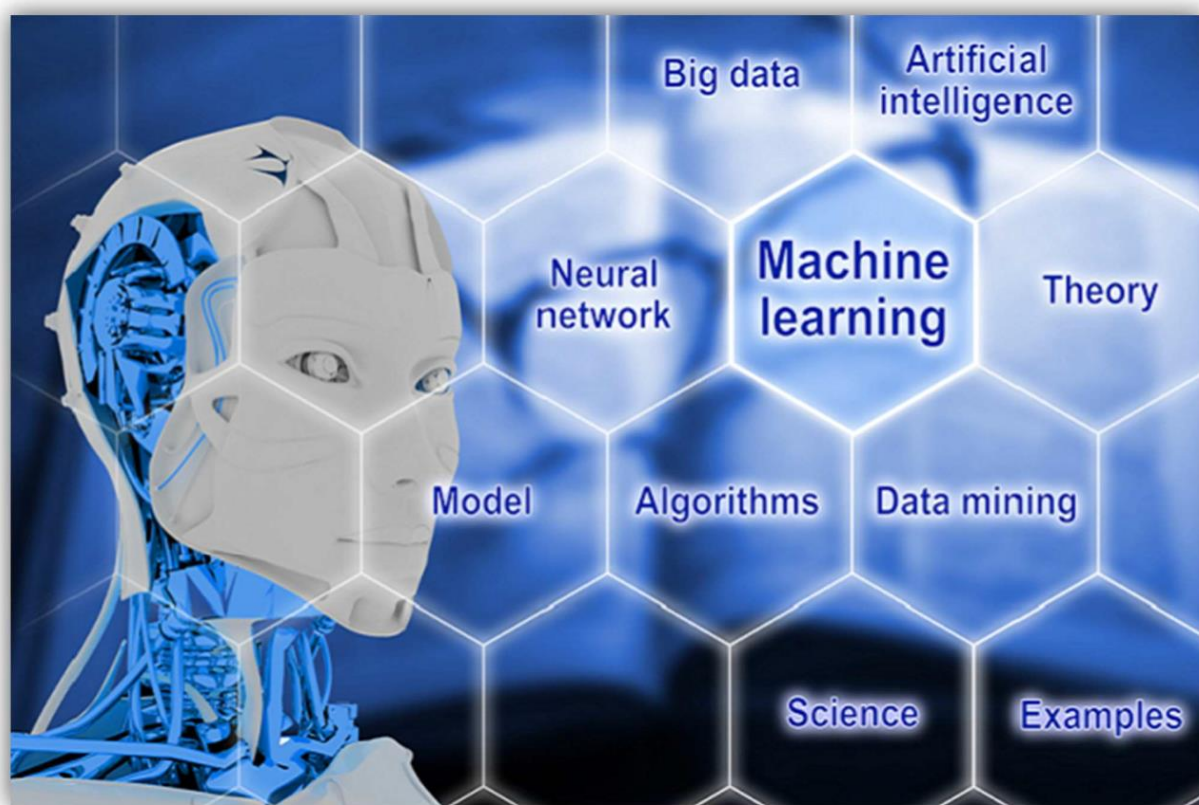
Inson aqliga xos va o'xshash bo'lgan narsani yaratish hamda undan murakkab ishlarda foydalanish fikri qadimdan insoniyatni o'yantirib kelgan. 14-asrda yashagan Ispan olimi R.Lulliy tushunchalar kvalifikatsiyasiga asoslanib mashina yaratishga harakat qilgan. 18 asrda yashagan G.Leybnits va R.Dekart bir-biridan mustaqil holda barcha fanlar uchun universal tilni taklif etishgan va bu taklif sun'iy intellekt rivojiga asos bo'ldi.

Sun'iy intellektni fan yo'nalishi sifatida rivojlanishi EHMLar paydo bo'lganidan so'ng boshlandi va bu 20-asrning 40-yillariga to'g'ri keldi. Shu paytda N.Viner yangi fan kibernetikaga asos soldi.

Sun'iy intellekt termini (artifikalintelligence) 1956-yilda Amerikada taklif etilgan bo'lib, u tan olingandan ko'p o'tmay ikki asosiy yo'nalishga ajraldi, yani "neyrokibernetika" va "qora yashik" kibernetikasiga. Hozirgi paytga kelib bu ikki yo'nalish yana qo'shilish tendentsiyasiga yuz tutmoqda.

"Neyrokibernetika" yo'nalishini quyidagicha izohlash mumkin: o'ylashi va fikrlashi mumkin bo'lgan birdan-bir ob'ekt bu-inson miyasidir. Shuning uchun boshqa yaratiladigan fikrlovchi qurilma uning tuzilishini o'zida aks ettirishi shart. Shuning uchun neyrokibernetika inson miyasiga o'xshash tuzilmalarni modellashtirishga qaratilgandir. Fiziologlar tomonidan inson miyasida o'zaro bog'langan va o'zaro amal qiluvchi 10^{21} tadan ko'p nerv to'qimalari, yani neyronlar mavjudligi aniqlangan. Shuning uchun neyrokibernetikaning maqsadi neyronlarga o'xshash elementlarni yaratish va ulardan amal qiluvchi birikmalar tuzish hisoblanadi. Bu birikmalarni neyron tarmoqlar deb atash qabul qilingan. Dastlabki tarmoqlar Amerika olimlari G.Rozenblat va Mak-Kamok tomonidan 50-yillar oxir-

ida yaratilgan bo'lib, unda inson ko'zini miyasi bilan aloqasini modellashtirish amalga oshirilgan va ular tomonidan yaratgan qurilma perseptron deb atalgan. Perseptron bir ko'rinishda yozilgan xarflarni ajrata olgan, biroq uning ikkinchi ko'rinishini ajrata olmagan, masalan A, kabi ko'rinish bu qurilma uchun ikkita belgi hisoblangan. 70-80 yillarga kelib bu yo'nalishdagi ishlar kamaya boshladi. Birinchi urinishlar natijasi muvaffaqiyatli bo'lmagan. Buni mualliflar o'sha davr EHMlarni ishlash tezligi past va xotirasi kichikligi bilan izohlashgan.



80-yillarga kelib Yaponiyada bilimlarga asoslangan EHMlarni 5-avlod bazasida 6-avlod EHMlari yaratildi va bu orqali tezlik va xotira kamchiliklari amalda bartaraf etildi. Yaratilgan kompyuterlar esa neyrokomyuterlar deb ataldi. Keyinchalik parallel ishlovchi kompyuterlar, ya'ni transpyuterlar paydo bo'ldi. Neyrokomyuterlar uchun asosiy maqsad belgilarni ajratish bo'lib qoldi. Hozirgi davrga kelib neyron tarmoqlarini ajratishning uch yo'nalishi mavjud:

- barcha algoritmlarni bajara oluvchi mikrosxemalar birligidan iborat maxsus kompyuterlar yaratish;
- tez ishlovchi kompyuterlarga asoslangan maxsus dasturlar yaratish;

- yuqoridagi ikki yoʻnalishni birlashtirish, ya'ni hisoblashlarni bir qismni maxsus sxemalarga, bir qismini esa dasturlarga yuklash.

"Qora yashik" kibernetikasi yoʻnalishi neyrokibernetikaga qarama-qarshidir. "Oʻylovchi" qurilma qanday qurilgani ahamiyatga ega emas. Asosiysi, berilgan koʻrsatmaga u inson kabi javob qaytarishi yetarli.

1963-70 yillarga kelib sun'iy intellekt masalalariga matematik mantiq usullari qoʻllay boshlashdi. Shu asnoda 1973 yilda Prolog algoritmik tili yaratildi. 70-yillar oʻrtalarida AQShda mutaxassis - ekspertlar bilimni modellashtirish gʻoyasi tugʻilishi sun'iy intellekt amaliy qoʻllanilishida katta turtki boʻldi. AQShda bilimlarga asoslangan dastlabki tizimlar, ya'ni ekspert tizimlar paydo boʻldi. MUCIN va DENDRAL nomli meditsina va kimyoda qoʻllaniluvchi ekspert tizimlar qoʻllanila boshlandi. 80-yillar oʻrtalaridan boshlab sun'iy intellekt tadbirkorlik mashgʻulotiga aylandi va oʻz-oʻzini oʻqitish tizimlariga boʻlgan qiziqish kuchaya bordi.

1.2. Intellektual axborot tizimlarini toʻgʻrisida maʼlumot

Sun'iy intellekt odatiy algoritmdan quyidagi xususiyatlari bilan farq qiladi. Boshlangʻich maʼlumotlar majmuasida algoritmdan bir yoki bir nechta urinishlarda albatta biror bir oʻxshash natijalarni beradi, SI orqali bunday natijalarni olish imkoni yoʻq. Chunki SI oʻqitish jarayonida oldingi natija joriy natijadan qanchalik yaxshi yoki yomonligini aniqlashi mumkin. Algoritm natijasini tekshirish va asoslash mumkin, SI natijasini esa bunday qilishni imkoni yoʻq. Bu SI ni fundamental cheklanganligini bildiradi. Cheklanganlik SI natijasini oldindan aytib boʻlmasligi bilan asoslanadi. Bu insonda boʻlgani kabi u qaysi vaqtda va nimaga asoslanib u yoki bu qarorni qabul qilishini oldindan aytib boʻlmasligi kabi.

SI asosi qatʼiy algoritmdan qochish va insonga yaqinlashish, yaʼni nimasi bilandir insonga oʻxshash boʻlishdan iborat. Bu nafaqat algoritmdan asosida echimlarni qabul qilish, balki tajribaga tayanish lozimligini bildiradi. Klassik maʼnoda "agar-u holda" SI uchun etarli boʻlmaydi.

Neyron tarmoq bu SI degan mulohaza koʻp uchraydi. Aslida bunday emas.

Neyron tarmoqlar SI ni tayanch algoritmlaridan biridir. Shuningdek, SI sifatida mashinali o'qitish algoritmlaridan keng foydalaniladi. Neyron tarmoqlar va mashinali o'qitish algoritmlari kombinatsiyalari asosida yaratilgan murakkab dasturiy majmualarni tom ma'noda SI deb atash mumkin.

Neyron tarmoqlar va mashinali o'qitish algoritmlari asosidagi SI cheklanishlaridan yana biri bu o'qitishda foydalaniladigan ma'lumotlar sifatiga bog'liqlik hisoblanadi.

Intellectual axborot tizimlari (IAT) - an'anaviy axborot tizimlarini rivojlantirishning tabiiy natijasi bo'lib, ular o'zida nafaqat yuqori darajada avtomatlashgan eng yuqori bilimlarni talab etadigan texnologiyalar asosida qarorlar qabul qilish uchun axborotni tayyorlash jarayonlarini, balki axborot tizimi tomonidan olingan ma'lumotlarga tayanuvchi qarorlar variantlarini ishlab chiqish jarayonini ham mujassamlashtirgan. IATlar korxonaning holatini tashxislash, inqirozga qarshi boshqaruvda yordam berish, korxonaning rivojlanish strategiyasi va uning investitsiya faoliyati uchun maqbul yechimlarni tanlashni ta'minlash qobiliyatiga ega. Tabiiy til interfeysi vositalarining mavjudligi tufayli dasturlash tillarini bilmagan biznes foydalanuvchi IATdan bevosita tahlil, baholash va iqtisodiy qarorlarni qabul qilish jarayonlarini qo'llab-quvvatlash vositasi sifatida foydalanish imkoniyatiga ega bo'ladi. IAT korxonaning faoliyatining iqtisodiy tahlili, strategik rejalashtirish, investitsiya tahlili, xavf-xatarlarni baholash va qimmatli qog'ozlar portfelini shakllantirish, moliyaviy tahlil, marketing va boshqalar uchun qo'llaniladi.

Ma'lumotlar bazasini boshqarish tizimlarini (MBBT) ishlab chiquvchi eng yirik firmalar - ORACLE, BASE, Microsoft - komponentlar sifatida qarorlarni qo'llab-quvvatlash modullarini o'z ichiga olgan tizimlarni bozorga yetkazib beradi. Bularni tarkibiga sun'iy intellekt texnologiyalari - neyron tarmoqlar, ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish kiradi. Ushbu ma'lumotlar bazalarining obyektga yo'naltirilgan tuzilishi sun'iy intellekt doirasida ishlab chiqilgan freymlar mafkurasini haqiqatga aylantirdi. Keng miqyosdagi intellektual axborot tizimlarini

yaratish uchun zarur bo'lgan texnik yechimlar - obyektga yo'naltirilgan ma'lumotlar bazalari asosida bilimlar bazalarini boshqarish vositalari, ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish usullari asosida bilimlar bazalarini shakllantirishni avtomatlashtirish, to'liq matnli qidiruv tizimlari va tabiiy til interfeysi uchun tabiiy til semantik analizatorlari - ommaviy ishlab chiqarilgan dasturiy mahsulotlar sifatida ishlab chiqarila boshlandi. Bunday MBBTlar doirasida haqiqatga yaqin (ehtimoliy) va mantiqiy (deduktiv) xulosalarni amalga oshirish texnologiyalari amalga oshirilmaganligicha qolmoqda.

Amallar tadqiqi, dinamik dasturlashning standart usullari, shuningdek noravshan mantiq usullari bilan birgalikda IATdan foydalanish korxonani to'liq avtomatlashtirish uchun rejalashtirishda sezilarli foyda keltiradi: operatsion xarajatlari haqiqatda kamayadi; boshqaruv qarorlari sifatini oshadi.

Intellektual axborot tizimlari, ayniqsa, qat'iy formalizatsiyaga ega bo'lmagan sust shakllangan hamda ko'p hollarda yechim olish imkonini beruvchi evristik protseduralardan foydalanuvchi masalalarga qo'llanilganda samarali bo'ladi. Bu qisman IATni qo'llash doirasi haddan tashqari keng ekanligini bildiradi: real vaqt rejimida uzluksiz texnologik jarayonlarni boshqarishdan import uchun tovarlarni yetkazib berish shartlarini buzish oqibatlarini baholashgacha. IATda noravshan, modal, vaqtinchalik mantiq, Bayes xulosasi tarmoqlaridan foydalanish orqali mantiqiy va ishonchli xulosa chiqarish tamoyillarini takomillashtirish bilan IAT korxonalar faoliyatini takomillashtirish uchun strategik qarorlarni ishlab chiqish bilan bog'liq yuqori intellektual sohalarga kira boshlaydi. Bunga foydalanuvchi va tizim o'rtasidagi aloqani osonlashtiradigan tabiiy tildagi jummalarni tahlil va sintez qilish uchun yanada zamonaviy algoritmlar yordam beradi. IAT tarkibiga klassik iqtisodiy-matematik modellarni, chiziqli, kvadratik va dinamik dasturlash usullarini kiritish siyosiy va iqtisodiy bo'lmagan omillarni va xavf-xatarlarni hisobga olgan holda iqtisodiy ko'rsatkichlar asosida obyekt tahlilini birlashtirish, ularning IAT tomonidan olingan qarorlarning oqibatlarini baholash imkon beradi. IAT tarkibida obyektga yo'naltirilgan ma'lumotlar bazasining mavjudligi ham faktlarni, ham

bilimlarni yagona vositalar orqali saqlash va yangilashni ta'minlash uchun imkon beradi.

1.3. Intellektual boshqarish tizimlarning rivojlanish tarixi

Sun'iy intellekt tizimi XX asrning 70 yillari masalalarni echish usullarini izlash va ularni universal dasturlarni qurishda foydalanish, XX asrning 80 yillari axborotlarni tasavvur qilishni umumiy usullarini izlashga va ularni maxsus dasturlarga qo'llash usullarini qidirish, XX asrning 90 yillari bir qancha fan sohalari bo'yicha maxsus dasturlarni yaratish uchun katta hajmli yuqori sifatli maxsus bilimlarni qo'llanish orqali rivojlangan.

Sun'iy intellekt-informatikaning yo'nalishlaridan biri bo'lib, uning maqsadi tabiiy tilni chegaralangan qism to'plami asosida EHM bilan muloqot qilish orqali foydalanuvchi, biroq dasturchi bo'lmagan shaxs tomonidan odatda intellektual masala deb hisoblanuvchi masalalarni yechish imkonini beruvchi apparat-dasturiy vositalarini ishlab chiqish hisoblanadi.

Bilimlarga asoslangan tizimlarni ishlab chiqish va bilimlarni taqdim etish sun'iy intellektning asosiy yo'nalishlaridan biri hisoblanadi va ular ekspert tizimlari asosini tashkil etuvchi bilimlarni tavsiflash modellari hamda bilimlar bazalari yaratish bilan bog'liqdir.

Odatda SI labirint modeli va evristika bilan bog'liq bo'lgan shaxmat, shashka kabi intellektual o'yin masalalarini o'zida mujassamlashtiradi. Shuningdek, u tabiiy tilga yaqin bo'lgan interfeysni yaratish va mashinali tarjimada ham keng qo'llaniladi. 50-yillarda SI sohasidagi tadqiqotlarda mashinali tarjima qilish yo'nalishi rivojlanishni boshlagan bo'lib, ushbu yo'nalishdagi dastlabki dastur ingliz tilidan rus tiliga tarjima ishlarini amalga oshirgan. Bunda birinchi qadam so'zma-so'z tarjima qilish bo'lib, u samarali hisoblanmagan. Hozirgi kunda esa ushbu yo'nalishda nisbatan murakkab modellardan foydalaniladi va ularda bir necha qismlardan iborat bo'lgan tabiiy til elementlari asosida tahlil amalga oshiriladi, ya'ni sintaksis, so'zlar orasidagi bog'lanishlar, grammatik, morfologik, pragmatik va semantik tahlil bajariladi.

SI ni traditsion yo'nalishlaridan biri bu timsollarni tanib olishdir. Odatda timsollarni tanib olishda har bir ob'ektga belgilar matritsasi mos qo'yiladi va noma'lum ob'yektni tanib olish amalga oshiriladi. Mazkur yo'nalish bevosita neyro kibernetika bilan bog'liq.

Kompyuterning yangi arxitekturalari belgili va mantiqiy ma'lumotlarni qayta ishlashga yo'naltirilgan apparat yechimlar va arxitekturalarni ishlab chiqish asosida takomillashtiriladi.

Robotlar esa inson mehnatini avtomatlashtiruvchi elektromexanik qurilmalar bo'lib, ularni yaratish fikri qadimiy hisoblanadi. Robot so'zi 20 - yillarda chex yozuvchisi Karel Chapek tomonidan kiritilgan bo'lib, dastlabki robotlar yasalishidan boshlab to hozirgacha ularni bir necha avlodi almashdi.

O'z-o'zini hosil qiluvchi yoki intellektual robotlar robot texnikasini rivojlanishida yakuniy maqsad hisoblanadi. Intellektual robotlar yaratishdagi asosiy muammo bu uni qurish qobiliyatini yaratish bo'lib, hozirgi kunda dunyoda har yili 60 mingdan oshiq turli robotlar yaratilmoqda.

O'qitish va o'z - o'zini o'qitish SI ni tezkor rivojlanayotgan yo'nalishi hisoblanadi va u tahlil hamda ma'lumotlarni yig'ish asosida bilimlarni avtomatik yaratish usul, algoritmlar va modellarni birlashtiradi. Bunda namunalar asosida o'qitish, belgilarni tanib olishni an'anaviy usullaridan ham keng foydalanadi.

So'ngi 20 yillikda dunyo mamlakatlari orasida ilm-fanni jadal va shiddat bilan rivojlanishi natijasida SI yordamida yuqori texnik va texnologik "qurollanish"ga olib keldi. Tadqiqotlar va tahliliy ma'lumotlar axborot texnologiyalari va SI kelajakda global iqtisodiy o'sishni asosiy omili va dunyo YaIMni katta qismini tashkil etishini ko'rsatmoqda.

Texnologik jihatdan taraqqiy etgan davlatlar iqtisodiy jihatdan ham yuqori ko'rsatkichlarga erishgan. To'rtinchi sanoat inqilobiga o'tish arafasida bunday rivojlanish rivojlanayotgan va rivojlanishdan ortda qolgan davlatlarga o'z "xoxish iroda"sini va "hukm"ini o'tkazishga keng imkoniyatlar yaratib beradi. Ayniqsa, bu hol ilm-fan va texnologiyalar yanada rivojlanayotgan to'rtinchi

sanoat inqilobiga qadam qo'yilayotgan bosqichlarda yanada sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Qolaversa, navbatdagi 10 yillikda axborot texnologiyalari va SI iqtisodiy, geosiyosiy va mudofaa sohalarida ayrim davlatlarning "qodir"lik omillarini asosi bo'lish ehtimoli ancha yuqori hisoblanadi. Insoniyat SI orqali XXI asr global muammolariga ilm-fanda yangi imkoniyatlarni kashf etishi orqali ijobiy yechimlar topishi bilan bir qatorda hayot tarzini tibbiyot, ta'lim va boshqa barcha sohalarida sifatli xizmat ko'rsatish imkoniyatlariga erishadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti tomonidan 2020 yilni "Ilm, ma'rifat va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish" yili deya nomlanishi respublikamizda raqamli iqtisodiyotga o'tish va axborot texnologiyalarni rivojlantirishga alohida e'tibor qaratayotganidan dalolat beradi. Albatta bu xalqimiz manfaati yo'lidagi ijobiy inqilobiy burilish bo'lib, respublikamizda axborot texnologiyalaridan keng foydalanishni rag'batlantirish orqali raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish, har bir sohaga innovatsiyalarni joriy etish va mavjud normativ-huquqiy, ma'muriy hamda barcha boshqa mavjud to'siqlarni bartaraf etish maqsadida 2017 - 2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha harakatlar strategiyasi doirasida bir qator muhim normativ-huquqiy hujjatlar ishlab chiqilgan. Jumladan: O'zbekiston Respublikasi Prezidentining

2020 yil 2 martdagi PF-5953-son "2017 – 2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini rivojlantirishning beshta ustuvor yo'nalishi bo'yicha harakatlar strategiyasini «Ilm, ma'rifat va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish yili»da amalga oshirishga oid davlat dasturi to'g'risida"gi farmoni, 2018 yil 13 dekabrda PF-5598-son "O'zbekiston Respublikasi davlat boshqaruviga raqamli iqtisodiyot, elektron hukumat hamda axborot tizimlarini joriy etish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarori, 2020 yil 7 maydagi PQ-4708-son "Matematika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy-tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori, 2020 yil 28 apreldagi PQ-4699-son "Raqamli iqtisodiyot va elektron hukumatni keng joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida" qarori, 2020 yil 26 martdagi PQ-4653-son "O'zbekiston Respu-

blikasi iqtisodiy taraqqiyot va kambag'allikni qisqartirish vazirligi hamda uning tizim tashkilotlari faoliyatini tashkil etish to'g'risida"gi qarori, 2019 yil 30 avgustdagi PQ-4433-son "Yoshlarni ilm-fan sohasiga jalb etish va ularning tashabbuslarini qo'llab-quvvatlash tizimini takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori, 2019 yil 11 iyuldagi PQ-4391-son "Oliy va o'rta maxsus ta'lim tizimiga boshqaruvning yangi tamoyillarini joriy etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori, 2019 yil 18 maydagi PQ-4321-son "Raqamli iqtisodiyot va «elektron hukumat» tizimi infratuzilmalarini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori, 2018 yil 21 noyabrdagi PQ-4022-son "Raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish maqsadida raqamli infratuzilmani yanada modernizatsiya qilish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori, 2018 yil 2 sentyabrdagi PQ-3927-son "«Raqamli ishonch» raqamli iqtisodiyotni rivojlantirishni qo'llab-quvvatlash jamg'armasini tashkil etish to'g'risida"gi qarori, 2018 yil 3 iyuldagi PQ-3832-son "O'zbekiston Respublikasida raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori hamda O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2019 yil 15 iyuldagi VM-589-son "Dasturiy mahsulotlar va axborot texnologiyalari texnologik parki faoliyatini tashkil etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori, 2019 yil 18 yanvardagi VM-48-son "O'zbekiston Respublikasida "aqlli shahar" texnologiyalarini joriy etish kontseptsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi qarori, 2019 yil 18 yanvardagi VM-46-son "Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent Axborot texnologiyalari universiteti tarkibida o'zbek-belarus qo'shma axborot texnologiyalari fakultetini tashkil etish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori kiritilgan.

2002-2017 yillar oralig'ida SI sohasida chop etilayotgan maqolalarning yillik o'sish sur'ati 5,6 foizni, shuningdek, olingan patentlar sonining yillik o'sish sur'ati esa deyarli 28 foizni tashkil etgan. 1960 yildan 2018 yilga qadar SI bilan bog'liq 340 000 ta patent olinib, 1 636 649 ta ilmiy maqolalar chop etilgan [1]. E'tiborli jihati shundaki, SI ni rivojlantirishda oliy ta'lim muassasalar o'zni yildan-yilga ortib bormoqda. Oliy ta'lim va ilmiy tadqiqot muassasalari ichida

dunyoda hozirda Xitoy Xalq Respublikasi yetakchilik qilmoqda. Jahon Intellektual Mulk Tashkilotining 2019 yil xisobotida yetakchilik qilayotgan oliy ta'lim muassasalari va ilmiy tadqiqot institutlari ichida dastlabki 10 talikning barchasi Xitoy davlatiga tegishlidir. Undan so'ng Koreya, AQSh, Yaponiya va Evropa davlatlari yetakchilik qilib kelmoqda.

2017 yil mart oyida Evropa davlatlari yirik tijoriy kompaniya rahbarlari orasida o'tkazilgan so'rovnomada ularni deyarli 70 foizi o'z faoliyatlarida SIning keng qo'llayotganliklari yoki uni qo'llash imkoniyatlarini baholayotganliklarini e'tirof etishgan.

120 dan ortiq mamlakatlarda strategik loyihalashtirish, axborot-raqamli texnologiyalar va boshqa ko'plab sohalarda konsalting xizmatlarini ko'rsatuvchi Irlandiyaning Accenture kompaniyasi olib borgan tahlillarga ko'ra G20 ro'yxatdagi davlatlarda, ya'ni AQSh, Buyuk Britaniya, Germaniya, Frantsiya, Yaponiya va Koreya Respublikasida SIning o'sish sur'atlari 2035 yilga qadar 2 marotabaga oshirish salohiyatiga ega ekanligini ko'rsatdi. Bu albatta, ushbu davlatlar uchun SIning iqtisodiy rivojlanish va davlat boshqaruvini takomillashtirishdagi asosiy vositalaridan biri ekanligini e'tirof etmoqda [2].

Ma'lumki, bugungi kunga qadar jahon sahnasida SIning rivojlantirish bo'yicha 7 ta xalqaro darajadagi hamkorlik kelishuvlar va 50 dan ortiq milliy strategiyalar qabul qilindi [3].

2017 yilga nisbatan SIning rivojlantirish strategiyalarini e'lon qilgan mamlakatlar soni 2020 yil boshiga kelib 8 marotaba ortdi. 2017 yillarda Kanada, Singapur, Birlashgan Arab Amirliklari, Finlandiya, Yaponiya va Xitoy davlatlarida SI strategiyalari ishlab chiqilgan bo'lsa, 2019 yilda bu ro'yxatdan ko'plab boshqa davlatlar ham o'rin egalladi. Xususan, Italiya, Tunis, Buyuk Britaniya, AQSh, Shvetsiya, Meksika, Evropa ittifoqi, Keniya, Daniya, Frantsiya, Avstraliya, Koreya Respublikasi, Hindiston va Germaniya davlatlarini misol tariqasida keltirish mumkin.

Evropa davlatlarida SIning rivojlantirish strategiyalari bor bo'lishiga qara-

may, mavjud kuch va imkoniyatlarni birlashtirish va jahon hamjamiyatida yuqori natijalarni qo'lga kiritish maqsadida 2018 yilda 10 aprel sanasida 25 ta Evropa davlatlari Sun'iy intellektni rivojlantirishdagi hamkorlik Deklaratsiyasini imzoladi [4]. Unda Evropaning SI texnologiyalaridagi salohiyatini oshirish, SI o'zlashtirish, ijtimoiy-iqtisodiy global chaqiruvlarga hamkorlikda SI texnologiyalari asosida qarshi kurashish hamda SI doirasida huquqiy va axloqiy asoslarni ishlab chiqish va SI yutuqlarini davlat boshqaruviga yo'naltirish asosiy maqsad qilingan.

SIning insoniyat ravnaqi uchun xizmatini oshirish va rivojlantirish maqsadida 2018 yil may oyida 10 ta davlat ishtirokida Shimoliy Boltiq hududida SI Deklaratsiyasi imzolangan [5]. Deklaratsiyada SI istiqbollardan biznes va davlat boshqaruvida foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish maqsadida bilim, ko'nikma va mahoratni oshirish, hududlarda biznes va davlat xizmatlari uchun namunaviy xizmatlarni tashkil etish maqsadida SI da qo'llaniladigan ma'lumotlar ochiqligini ta'minlash, SIning qo'llanilish sohalar va me'yorlarini belgilovchi axloqiy va shaffof ko'rsatmalar, standartlar va nizomlarni ishlab chiqish, SI da foydalaniladigan barcha infratuzilmalarni, jumladan zaruriy uskuna va qurilmalar, dasturiy ta'minotlar hamda ma'lumotlar ishonchliligini, xavfsizligini va dahlsizligini ta'minlash belgilangan.

Birlashgan Millatlar Tashkilotining 2019 yil "Birlashgan Millatlarning SIDagi faoliyatlari" yangilangan to'plami e'lon qilindi [6]. Unda ocharchilikni yengish, oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash, iqlim o'zgarishi yumshatish, sog'liqni saqlash tizimida yuqori natijalarga erishish va boshqa ko'plab sohalar-da SIning qo'llashva rivojlantirish ko'rsatmalari va hamkorlik masalalari ko'rsatib o'tilgan. 2018 yil iyul oyida Hindiston va Birlashgan Arab Amirliklar io'rtasida "Hindiston-BAA SI ko'prigi" bitimi imzolangan [7] bo'lib, unda ikki davlat uchun umumiy manfaatlar yo'lida SI asosida iqtisodiyotni rivojlantirish masalalari o'rin olgan. Bu kelishuvdan keyingi 10 yillikda 3 mlrd. AQSh doll. iqtisodiy foyda kelishi kutilmoqda. Hamkorlik bitimining asosiy faoliyatlaridan biri — bu

innovatsion ekotizimni rivojlantirish va farovon kelajakni ta'minlashdir. Shuningdek, bitim doirasida SI texnologiyalari va xizmatlarini ilmiy tadqiqot va startap loyihalarini hamkorlikda moliyalashtirish orqali rivojlantirish va qo'llab-quvvatlashga kelishilgan.

2018 yil iyun oyida insoniyat farovonligi yo'lida yangi imkoniyatlarni yaratish maqsadida Frantsiya va Kanada davlatlarining Sun'iy intellektda Xalqaro ekspertlar qo'shma deklaratsiyasi imzolangan [8]. SI texnologiyalarini inson huquqlari, innovatsiyalar va iqtisodiy rivojlanish yo'lida hamkorliklarni qo'llab-quvvatlash Deklaratsiya doirasidagi asosiy hamkorliklardir.

2019 yil iyul oyida Yaponiyada G20 davlatlarning bo'lib o'tgan uchrashuvida "G20 SI tamoyillari" va undan foydalanish tamoyillari bo'yicha kelishuv imzolangan [9] bo'lib, kelishuv SIDan foydalanishda adolat va shaffoflik tamoyillariga tayanilishi shuningdek, qonun ustuvorligi, shaxsiy qadriyatlar, tenglik va xalqaro mehnat huquqlarini hurmat hilishga chahiradi. Shu bilan bir hatorda, SI asosida yaratilgan yangi ish o'rinlariga o'tish davrida ishchilarga turli malaka oshirish va qayta tayyorlash dasturlari taqdim etish ilgari suriladi.

G7 davlat rahbarlarining SIni rivojlantirishda uni kelajagi uchun Sharlevua umumiy maqsadlari hamkorliklari yo'lga qo'yilgan.

Xorijiy davlatlar tomonidan ishlab chiqilgan SIni rivojlantirish strategiyalari maqsadlarining tahlillari ularni asosiy quyidagi yo'nalishlarda ekanligini ko'rsatadi [10]:

- ilmiy tadqiqot va innovatsiyalar orqali iqtisodiy rivojlanishni jadallashtirish;
- SI texnologiyalarini rivojlantirishda davlat va xususiy sektor investitsiyalari ulushlarini oshirish;
- ilmiy tadqiqot faoliyatlarini moliyalashtirish hajmini oshirish;
- ta'lim dasturlari, malaka oshirish va qayta tayyorlash orqali raqobatbardosh va yuqori malaka va kasbiy ko'nikmaga ega milliy kadrlarni tayyorlash;
- SI texnologiyalarni davlat boshqaruvi transformatsiyasida innovatsiyalar

sifatida keng joriy etish. Bunda davlat va xususiy sherikchilik hamda innovatsion xablar va laboratoriyalarni tashkil etish mexanizmlari qo'llanilishi e'tiborga olingan.

Rossiya Federatsiyasining hozirgi kunga qadar SI sohasida 8 ta siyosiy tashabbuslari mavjud. Jumladan, 2019 yil oktyabr oyida Rossiya Federatsiyasi SIning rivojlantirish va qo'llashda xalqaro yetakchilikni qo'lga kiritish maqsadida 2030 yilgacha SIning rivojlantirishning milliy strategiyasini ishlab chiqdi [11]. Ushbu strategiyaning asosiy maqsadlari aholi farovonligi va turmush darajasini oshirish, milliy xavfsizlik va qonun ustuvorligini ta'minlash, iqtisodiyotning raqobatbardoshligini ta'minlash va SI sohasida dunyoda yetakchi o'rinlarni qo'lga kiritishdir. Hujjatda SI infratuzilmalarini, ya'ni ilmiy tadqiqot va rivojlantirish markazlari, SI asosidagi dasturiy ta'minotlar, sifatli va etarli bo'lgan ma'lumotlar bazasi, texnik uskuna va jihozlarning mavjudligi, iste'dodlar hamda normativ hujjatlarni rivojlantirish asosiy vazifalar etib belgilangan.

Xitoy Xalq Respublikasi 2017 yilda amalga oshirilishi 3 bosqichdan iborat bo'lgan kelgusi avlod SI rejasini ishlab chiqdi [12]. Bu Xitoyning bugunga qadar ilgari surgan SI sohasidagi 7 ta siyosiy tashabbuslaridan biridir. Rejalar ilmiy tadqiqot va rivojlantirish markazlari, mamlakatni sanoatlashtirish, ilmiy-texnik salohiyatni oshirish, yangi iste'dod vakillarini tayyorlash, ta'limda sifat va mahoratni oshirish, standart talablarni yaratish, axloqiy munosabatlar va xavfsizlikni ta'minlash masalalari uchun tashabbus va maqsadlarni qamrab oladi.

Keyingi avlod SI rejasining maqsadlari 3 bosqichdan iborat:

1-bosqich: 2020 yilga qadar Xitoy SI sanoatini raqobatchilar qatoriga olib chiqish;

2-bosqich: 2025 yilga qadar ba'zi SI sohalarida dunyo yetakchiligini qo'lga kiritish;

3-bosqich: 2030 yilga qadar Xitoyning SI innovatsiyalarining yetakchi markaziga aylantirish.

Hindiston 2018 yilda sog'likni saqlash, qishloq xo'jaligi, ta'lim, aqlli sha-

har va infratuzilma hamda transport xizmatlarini asosiy yo'nalishlar etib ko'rsatgan xolda milliy SI strategiyasini ishlab chiqdi [13].

Hindiston milliy SI strategiyasini SI sohalaridagi muammolar va mamlakatning mavjud imkoniyatlarini inobatga olgan xolda ilmiy tadqiqot faoliyatlarini rivojlantirish, ma'lumotlar shaffofligi va xavfsizligini ta'minlash, axloqiy normalar va intellektual mulk huquqlarini himoya qilishga qaratdi.

2019 yilda Yaponiya o'z davlatining yuz tutayotgan muammolarining tezkor yechimlariga qaratilgan va bugungi kuch-qudrati orqali kelajak imkoniyatlarini ochishga qaratilgan SI strategiyasini ishlab chiqdi [14]. Strategiyaning asosiy maqsadi SIni beshinchi jamiyat (Society 5.0) rivojlanish bosqichini amalga oshirish orqali global muammolarga qarshi kurashda o'z xissasini qo'shish va Yapon jamiyati duch kelayotgan muammolarni bartaraf etishdan iboratdir.

Yaponiyaning SI strategiyasini amalga oshirishi 3 bosqichdan iborat:

1-bosqich: 2020 yilga qadar ma'lumotlarga asoslangan SIni turli ustuvor sohalarga qo'llash va joriy etish;

2-bosqich: 2020 yildan SIDan va turli sohalarda yaratilgan ma'lumotlardan ommaviy foydalanish;

3-bosqich: 2025-2030 yillarda turli sohalarni o'zaro bir-biri bilan bog'lagan ekotizimni yaratish.

2020 yildan Koreya Respublikasi "Axborot texnologiyalar super-quvvatidan SI super-quvvatiga o'tish" istiqboli bilan o'zining milliy SI strategiyasini amalga oshira boshladi [15].

Koreya Respublikasi milliy strategiyasining asosiy maqsadlarini 2030 yilga qadar global raqamli raqobat maydonida dunyo mamlakatlari ichida uchinchi o'rinni qo'lga kiritish, SI orqali Koreya iqtisodiyotiga qo'shimcha 455 trillion voni daromad keltirish va turmush tarzi sifati bo'yicha ilg'or 10 talik davlatlar qatoridan o'rin egallashdan iborat. Shuningdek, Koreyaning 2018-2022 yillar uchun SI ilmiy tadqiqot va rivojlantirish markazlari strategiyasi ham diqqatga sazovordir. Unda mamlakatning SI texnologiyalarida raqobatbardoshligini

o'shish maqsadida mamlakatdagi SI texnologiyalarini, inson resurslarini va infratuzilmalarning to'liq tahlilini amalga oshirish hamda SI ilmiy tadqiqot va rivojlantirish markazlarini kengaytirish va qo'llab-quvvatlash tashabbusi ilgari surilgan. Bosh maqsadi esa — jahon andozasidagi SI texnologiyalari va uni ilmiy-tadqiqot va rivojlantirish markazlari ekotizimini yaratishdan iborat.

Singapur SI sohasida o'ziga xos va jadal siyosiy tashabbuslarni amalga oshirayotgan (14 ta) davlatlardan biridir [16].

2017 yil may oyida kelajakda mazkur sohada o'z kuch-qudratiga ega bo'lish va raqamli iqtisodiyotni qo'llab-quvvatlash uchun SI imkoniyatlarini rivojlantirishning "AI Singapore" milliy dasturini amalga oshirish boshlandi [17].

Milliy dastur ilmiy tadqiqot muassasalari va xususiy sektor o'rtasidagi hamkorlikni mustaxkamlashga qaratilib besh yil muddat uchun 97,4 mln. evro miqdorida moliyaviy mablag'larni quyidagi uchta asosiy maqsadlarni amalga oshirish uchun sarflanadi:

- jamiyat va sanoat yuz tutayotgan asosiy muammolarni SI texnologiyalari orqali bartaraf etish;
- ilmiy innovatsiyalarning keyingi rivojlanish to'liqidan manfaatdorlikni qo'lga kiritish imkonini beruvchi vositalarga sarmoya kiritish;
- sanoat miqyosida sun'iy intellekt texnologiyalarini o'zlashtiri va qo'llashni kengaytirish.

Germaniya Federativ Respublikasi (GFR) SIning rivojlantirish ertangi kun imkoniyat va muvaffaqiyat eshiklarining "oltin kaliti" ekanligiga alohida urg'u bergan va hozirgi kunga qadar SI sohasidagi 15 ta siyosiy tashabbuslarni ketma-ket amalga oshirib kelmoqda [18]. 2018 yilda qabul qilgan SI strategiyasi SIning keyingi bosqichlarini rivojlantirish va qo'llash siyosatini olib borishning asosi qisoblanadi.

GFRning SI strategiyasining asosiy maqsadlari – Germaniya va Evropaning sun'iy intellekt sohasida dunyoning yetakchi markaziga aylantirish va SI texnologiyalarini rivojlantirishga qaratilgan SI ilmiy tadqiqot va rivojlantirish

markazlarini tashkil etish hamda bu markazlarda ilmiy tadqiqot faoliyatlariga investitsiyalarni keng jalb etish orqali davlatning kelajakda raqobatbardoshligini ta'minlash, SIning jamiyat hayoti farovonligi va atrof-muhitni himoya etish manfatlari yo'lida qo'llashni moliyalashtirish va SIning informatsion jamiyatning ajralmas qismi bo'lishini ta'minlashdir [19].

2019 yil iyun oyida Amerika Qo'shma Shtatlari (AQSh) milliy SI ilmiy tadqiqot va rivojlantirish strategik rejasini ma'qulladi [20]. AQShda bugungi kunga qadar SI sohasini rivojlantirishga qaratilgan jami 36 ta siyosiy tashabbuslar ro'yxatga olindi.

Milliy SI ilmiy tadqiqot va rivojlantirish strategik rejasi 8 ta qismdan iborat bo'lgan quyidagi strategik yo'nalishlardan tashkil topgan:

- uzoq muddatli SI ilmiy tadqiqot faoliyatlariga investitsiya kiritish;
- inson – SI hamkorligining samarali uslublarini ishlab chiqish;
- SI axloqiy, huquqiy va ijtimoiy oqibatlarini anglash va o'rganish;
- SIning xavf va tahdidlaridan himoyalaniшни ta'minlash;
- SIning o'rgatish va sinovlarini amalga oshirish uchun umumiy ma'lumotlar bazasi va muhitini shakllantirish;
- SI texnologiyalarini standartlar va me'zonlar orqali o'lchash va baqolash;
- milliy SI ilmiy tadqiqot va rivojlantirish markazlari uchun ishchi kuchlarining zaruratini to'liqroq anglash;
- sun'iy intellektda ilg'or harakatdanishni ta'minlash uchun davlat va xususiy sherikchilik aloqalarini kengaytirish.

Qozog'iston Respublikasi hozirga qadar SI sohasini rivojlantirishda o'zining milliy strategiyasiga ega bo'lmasada Markaziy Osiyo Davlatlar ichida SI sohasini rivojlantirishda dunyo hamjamiyati tomonidan alohida e'tirof etilayotgan yagona davlatdir.

2019 yildan Nazarbaev Universiteti tomonidan dunyoning yetakchi SI texnologiyalari yechimlarini ishlab chiquvchilarini jalb etish maqsadida, SI ilmiy tadqiqot va rivojlantirishni qo'llab-quvvatlash jamg'armasi joriy etildi

[21]. Jamg'armaning asosiy maqsadi Qozog'istonda ta'lim, ilmiy-tadqiqot, madaniyat, texnika, innovatsiya, boshqaruv sohalari va boshqa manfaatli sohalarda SIni rivojlantirishdan iborat.

2017 yil Oksford Insayt tomonidan “Davlatlarning SIni qo'llashda tayyorlik indeksi” (Government Artificial Intelligence readiness Index) bo'yicha dunyoda ilk bor davlatlarning reytingi e'lon qilindi. Bu ko'rsatkich 2017 yildan boshlab mamlakatlarning SIni joriy etishdagi o'rni va undan foydalanish imkoniyatlari baholaydi. Ushbu indeks 4 ta turkum klasterlar va ularning tarkibidagi 11 ta o'lchov me'zonlaridan iborat.

2019 yilda O'zbekiston SI texnologiyalarini davlat boshqaruviga joriy etishga tayyorligi bo'yicha 190 mamlakatdan 158-o'rinni egallagan. Reytingda O'zbekiston 14 ball bilan Markaziy Osiyoda Turkmanistondan keyin to'rtinchi o'rindan joy olgan. Turkmaniston - 182 o'rin, Tojikiston – 98, Qirg'iziston – 97 o'rinda va Qozig'iston – 65-o'rindan joy olgan.

SI texnologiyalarini davlat boshqaruviga joriy etishga tayyorligi bo'yicha Singapur birinchi o'rinni, qolgan yetakchi 20 talikni G'arbiy Evropa va Shimoliy Amerika rivojlangan davlatlar egallagan.

Jahon mamlakatlari orasida ilmiy-texnik va texnologik barqarorlikning qo'ldan boy berilishi mamlakatning tinchlik va barqarorlik siyosatiga va iqtisodiyotiga salbiy ta'sirini ko'rsatadi. Shuningdek, ilm-fan va yuqori texnika va texnologiyalar jadal rivojlanib, to'rtinchi sanoat inqilobi tomon olib borayotgan globallashtirish davrida barcha mavjud iqtisodiy, ijtimoiy, ma'naviy va siyosiy xavflarni oldindan bartaraf etish, hamda, siyosiy va iqtisodiy rivojlangan va rivojlanayotgan davlatlarga “intellektual qaramlik”dan himoyalash har bir davlatning strategik muhim vazifalaridan biridir.

Xorijiy tajribalar tahlili SI sohasida erishilayotgan yutuqlar va rejalashtirilgan barcha chora-tadbirlar mamlakatlarning SI texnologiyalarini rivojlantirish orqali ijtimoiy, iqtisodiy va siyosiy sohalarda milliy xavfsizligini ta'minlash va himoyalashga qaratilganligini ko'rsatadi.

O'zbekiston ham globallashuv jarayonining ajralmas bir qismi va ishtirokchisidir. 2019-2021 yillarda O'zbekiston Respublikasini innovatsion rivojlantirish strategiyasida 2030 yilga qadar O'zbekistonning jahon sahnasida ilmiy-texnik va innovatsion taraqqiy ettgan dastlabki 50 ta ilg'or davlatlar qatoridan o'rin egallashi asosiy vazifalardan biri etib belgilangan. Ushbu belgilangan vazifalarga erishish mamlakatda huquqiy, ijtimoiy va iqtisodiy sohalarda keskin islohotlarni talab etadi. Xususan, iqtisodiyotni raqamlashtirishda axborot texnologiyalari va sun'iy intellektning qo'llanilishi barcha isloqotlarning negizi bo'lmog'i zarur.

2-BOB. INTELLEKTUAL TIZIMLARNING TASNIFI

2.1. Intellektual tizimlarda bilimlarni ifodalash

Data Miningning muhim jihati – bu keng matematik vositalar, ya'ni klassik statistik tahlildan tortib, to yangi kibernetik usullargacha va axborot texnologiyalari sohasida so'nggi yutuqlar birlashmasi ekanligidir. DataMining texnologiyasida tahlilning qat'iy shakllantirilgan va noformal usullari mos holda birlashtirilgan bo'lib, unda ma'lumotlarni miqdoriy va sifat jihatdan tahlil qilish amalga oshiriladi.

Data Mining usul va algoritmlariga sun'iy neyron to'rlar, yechimlar daraxti, belgili qoidalar, yaqin va k-yaqin qo'shni usullari, tayanch vektorlar usuli, bayes tarmoqlari, chiziqli regressiya, korrelyasion-regression tahlil, klasterli tahlillashning ierarxik va noierarxik usullari, assotsiativ qoidalarni qidirish usullari, cheklangan tanlov usuli, evolyutsion dasturlashtirish va genetik algoritmlar hamda ma'lumotlarni vizuallashtirish usullari kabilar kiradi.

Data Mining texnologiyasida qo'llaniluvchi analitik usullarning aksariyati mashhur matematik usul va algoritmlardir. Ularning qo'llanilishida yangi texnik va dasturiy vositalar imkoniyatlari muayyan muammolarni hal qilishda foydalanish yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Data Mining usullarini katta qismi SI nazariyasi doirasida ishlab chiqilgan.

Usul norma yoki qoida, ma'lum yo'l, yondashuv, nazariy va amaliy, bilim ortirish masalalarini yechish uslublarini ifodalaydi.

Algoritm boshlang'ich ma'lumotlarni olinishi zarur bo'lgan natijaga almashtirishni amallar ketma-ketligiga nisbatan aniq bayon etish bo'lib, algoritm tushunchasi aslida elektron hisoblash mashinalaridan ancha ilgari paydo bo'lgan. Hozir algoritmlar inson faoliyatining turli sohalarida ko'plab amaliy va nazariy masalalarni hal qilish uchun asos hisoblanadi. Ko'pincha bu kabi masalalar komp'yuterlar yechiladi.

Data Mining bosqichlari klassifikatsiyasi. Odatda Data Mining ikki yoki uch bosqichda amalga oshiriladi.

1-bosqich. Erkin qidiruv. Mazkur bosqichida yashirin qonuniyatlarni

aniqlash maqsadida ma'lumotlar to'plami tadqiqi amalga oshiriladi va unda qonuniyatlar ko'rinishiga nisbatan dastlabki farazlar aniqlanmaydi.

Qonuniyat turli hodisa va jarayonlarni rivojlanishi, sodir bo'lish jarayoni shakli va bosqichlarini aniqlovchi mavjud hamda doimiy takrorlanuvchi o'zaro bog'lanishdir. Ushbu bosqich Data Mining tizimi OLAP tizimida olinadigan shablonlarni aniqlaydi. Masalan, tahlil qiluvchi so'rovlar to'plamini shakllantirish va tuzish zarur. Bunda tahlil qiluvchi uchun shablonlarni tizim shakllantiradi. Mazkur yondashuvni o'ta katta hajmli ma'lumotlar bazasida qo'llash foydali bo'lib, unda so'rovlarni tuzish orqali qonuniyatni aniqlash o'ta murakkab hisoblanadi. Buning uchun turli variantlar to'plamini sinab ko'rish talab etiladi.

Erkin qidiruvda quyidagi amallar mavjud:

- shartli mantiq qonuniyatlarini aniqlash;
- assotsiativ mantiq qonuniyatlarini aniqlash;
- trendlar va tebranishlarni aniqlash.

Erkin qidiruvda tizim qonuniyatlarni o'zi qidirishi uchun maqsad o'garuvchini berish etarli bo'ladi. Qonuniyatlarni qidirish natijasida tizim "agar ..., u holda ..." mantiqiy qoidalar to'plamini o'zi shakllantiradi. Erkin qidiruv bosqichi doirasida amallar quyidagilar yordamida amalga oshiriladi:

- shartli mantiq qoidalari induksiyalari (sinflashtirish va tasniflash masalalari, yaqin va o'xshash ob'ektlarni ixcham shaklida tavsiflash);
- assotsiativ mantiq qoidalari induksiyalari (assotsiatsiya va ketma-ketlik masalalari va ular yordamida olingan axborot);
- trendlar va tebranishlarni aniqlash (bashoratlash masalasining dastlabki bosqichi).

Erkin qidiruv bosqichida qonuniyatlar validatsiyasi ham amalga oshirilishi, ya'ni ularni qonuniyatlarni shakllantirishda qatnashmagan ma'lumotlar qismiga bo'lgan ishonchliligini tekshirish shart. Ma'lumotlarni o'qitish va tekshirishga bunday bo'lishni neyron to'rlar va yechimlar daraxti usullarida keng foydalaniladi.

2-bosqich. Bashoratli modellashtirish. Mazkur bosqich birinchi bosqich natijalaridan foydalanadi va unda aniqlangan qonuniyatlardan bevosita bashoratlashda foydalaniladi. Bashoratli modellashtirishda quyidagi amallar mavjud:

- noma'lum qiymatlarni bashoratlash;
- jarayonlar rivojlanishni bashoratlash.

Bashoratlashli modellashtirish jarayonida sinflashtirish va bashoratlash masalalari yechiladi.

Sinflashtirish masalalarini yechishda birinchi bosqich natijalari (qoidalar induksiyalari) yangi ob'ektni aniq qiymatlar asosida oldindan aniqlangan sinflardan biriga ma'lum bir ishonchlilik bilan tegishlilikni aniqlashda foydalaniladi.

Bashoratlash masalalarini yechishda esa birinchi bosqich natijalari (trend va tebranishlarni aniqlash) maqsad o'zgaruvchini noma'lum (tushirib qoldirilgan yoki kelgusi) bo'lgan qiymatlarini bashoratlashda foydalaniladi.

Erkin qidiruv umumiy qonuniyatlarni aniqlashga xizmat qiladi va u o'z tabiatiga ko'ra induktivdir. Ushbu bosqichda olingan qonuniyatlar xususiydan umumiyga sari shakllantiriladi. Natijada ma'lum bir sinfni alohida ob'ektlarini tadqiq qilish asosida shu sinf to'g'risida ba'zi umumiy bilimlar hosil bo'ladi.

Bashoratli modellashtirish (2-bosqich) aksincha deduktivdir. Ushbu bosqichda olingan qonuniyatlar umumiydan xususiyga va yagonalik sari shakllantiriladi. Bunda quyidagilar asosida ba'zi ob'ekt yoki ob'ektlari guruhlari to'g'risidagi yangi bilimlar olinadi:

- tadqiq etilayotgan ob'ektlarga tegishli sinf haqidagi bilimlar;
- berilgan sinf ob'ektlari doirasida amal qiluvchi umumiy qoidalar haqidagi bilimlar.

Olingan qonuniyatlar, aniqrog'i ularni tuzilmasi izohlash huquqiga ega bo'lgan tahlilchiga shaffof bo'lishi va "qora quti" deb ataluvchi tahlilchiga shaffof bo'lmasligi mumkin. "Qora quti" tuzilmasiga tipik misol neyron to'rdir.

3-bosqich. Istisnolar tahlili. DataMiningning mazkur bosqichida aniqlangan qonuniyatlardagi istisnolar va anomaliyalar tahlil qilinadi hamda og‘ishlarni aniqlash ushbu bosqich amali hisoblanadi. Og‘ishlarni aniqlash uchun erkin qidiruv bosqichidagi normani aniqlash zarur. Ayrim hollarda istisnolar tahlilidan ma’lumotlarni tozalashda foydalanish mumkin [12].

Normadan og‘ish uchun ikkita bo‘lishi mumkin. Ulardan birinchisi – og‘ishlarning bir qancha qoida ko‘rinishida shakllantirish mumkin bo‘lgan mantiqiy izohlari mavjud. Ikkinchi variant – bu dastlabki ma’lumotlar xatolari. Ushbu holatda istisnolar tahlilining bosqichi ma’lumotlarni tozalash sifatida ishlatilishi mumkin bo‘ladi.

Ma’lumotlarni intellektual tahlil qilish usullari orqali aniqlanadigan qonuniyatlar turi [10] ishda batafsil yoritilgan. V.A.Dyuku fikriga ko‘ra standart qonuniyatning beshta turi mavjud. Bular tasniflash, sinflashtirish (qonuniyat, guruhlari berilmaganligi bilan sinflashtirishdan farqlanuvchi sinflashtirish (vaqtli qonuniyatlar)).

Monitoring va sust shakllangan qarorlarni qabul qilish intellektual tizimlarda ma’lumotlarni tadqiq qilish usullari [11] ishlarda keng yoritilgan bo‘lib, ular quyidagilar:

- regression, dispersion va korrelyasion tahlil;
- empirik modellarga asoslangan aniq bir predmet sohasini tahlil qilish usullari;
- neyrotarmoq algoritmlari. Ushbu algoritmlarning g‘oyasi kiruvchi parametrlar signal sifatida qaralib, ular “neyronlar” orasidagi bog‘lanishlar asosida o‘zgartirib va javob sifatida dastlabki ma’lumotlardagi butun tarmoqning tahlil natijasi olishidan iborat. Bunda dastlabki ma’lumotlar va javoblarni o‘zida mujasamlashtirgan tanlanma orqali o‘qitish amalga oshiriladi;
- “yaqin qo‘shnilar” usuli. Bunda tarixga ega bo‘lgan ma’lumotlardan dastlabki ma’lumotlarga o‘xshashligi yaqin bo‘lgan ma’lumotlar ajratiladi;
- yechimlar daraxti ierarxik tuzilmaga ega bo‘lib, u “ha” yoki “yo‘q” javo-

blarni nazarda tutuvchi savollar majmuasiga asoslanadi; ma'lumotlarga ishlov berishning ushbu usuli qonuniyatlarni har doim ham yuqori darajada aniqlamasada, biroq u olinadigan javoblar aniqligi tufayli ko'plab bashoratlash tizimlarida qo'llaniladi;

- klasterli modellar, ba'zida ular segmentatsiya modellari deb ham yuritiladi. Mazkur tipdagi modellar ma'lumotlar to'plamidagi bir nechta maydonlarni o'xshash qiymatlari asosida o'xshash hodisalarni yagona guruhga birlashtiradi;

- chekli tanlov algoritmlari. Ushbu algoritmlar ma'lumotlar qismlaridagi sodda mantiqiy hodisalarning kombinatsiyalari chastotalarini hisoblovchi algoritmlar hisoblanadi;

- evolyusion dasturlash. Mazkur usul g'oyasi qidiruv jarayonida boshlang'ich algoritmni rivojlantirish orqali ma'lumotlardagi o'zaro bog'liqliklarni ifodalovchi algoritmlarni generatsiyalash va topishdan iborat. Bunda ba'zi hollarda o'zaro bog'liqliklarni topish biror-bir aniqlangan funksiyalar asosida amalga oshiriladi. Masalan, polinomlar ko'rinishida.

Sust shakllangan yechimlarni qabul qilishni qo'llab-quvvatlash va intellektual monitoring tizimlarining asosiy xususiyati bu ularning ko'plab matematik apparatlarni birlashtirishi (statistikaning klassik usullaridan tortib to yangi kibernetik usullargacha) va axborot texnologiyalari sohasining so'nggi yutuqlaridan foydalanishidir. Sust shakllangan yechimlarni qabul qilishni qo'llab-quvvatlash va intellektual monitoring tizimlari texnologiyalarida qat'iy shakllangan va rasmiy bo'lmagan tahlil usullari, ya'ni ma'lumotlarni miqdoriy va sifat tahlil usullari o'zaro muvofiqlashtirilgan [12].

Intellektual monitoring tizimlarining barcha texnologik usullari tasnifi [11,12] ishda batafsil yoritilgan. Unda mazkur usullar boshlang'ich o'qitiluvchi ma'lumotlar bilan ishlash tamoyiliga ko'ra ikkita katta qismga ajratilgan. ushbu tasniflashda yuqori pog'ona ma'lumotlarni intellektual tahlildan so'ng saqlanishi yoki ularni keyinchalik foydalanish uchun tozalanishi asosida aniqlanadi.

Ma'lumotlardan bevosita foydalanish yoki ularni saqlash. Mazkur holda

boshlang'ich ma'lumotlar aniq detallashtirilgan holda saqlanadi va bashoratli modellashtirish bosqichlarida yoki istisnolar tahlilida to'g'ridan-to'g'ri foydalaniladi. O'ta katta hajmli ma'lumotlar ombori tahlilida qiyinchiliklarni vujudga kelishi ushbu turdagi usullarning muammosi hisoblanadi. Ushbu turdagi usullarga klasterli tahlil, yaqin qo'shnilar usuli, k -yaqin qo'shnilar usuli va o'xshashlik bo'yicha mulohazalash usullari kiradi.

Shakllantirilgan qonuniyatlarni aniqlash va ulardan foydalanish yoki tozalov shablonlari. Ushbu texnologiya yordamida dastlabki ma'lumotlardan ko'rinishi ma'lumotlarni tahlil qilishda foydalaniladigan usulga bog'liq bo'lgan axborotlar ajratib olinadi va biror bir formal tuzilmaga almashtiriladi. Birinchi guruh usullarida erkin qidiruv bosqichi mavjud bo'lmaganda mazkur jarayon bajariladi. Bashoratli modellashtirish va istisnolarni tahlil qilish bosqichida erkin qidiruv bosqichi natijalaridan foydalaniladi va ular ma'lumotlar omboriga nisbatan ancha ixcham bo'ladi. Ushbu modellar tuzilmasi tahlilchilar uchun yechimlar olish yo'li bo'lishi ham bo'lmasligi ham mumkin [13].

Ushbu guruh usullariga mantiqiy usullar, vizuallashtirish usullari, kross-tabulyatsiya va tenglamalarga asoslangan usullar misol bo'ladi.

Mantiqiy yoki mantiqiy induksiya usullari noravshan so'rovlar va tahlillarni, belgili qoidalarni, yechimlar daraxti va genetik algoritmlarni qamrab oladi. Mazkur guruh usullari boshqa usullarga nisbatan tushunarli bo'lib, ular aniqlangan qonuniyatlarni rasmiylashtirib boradi. Ko'p hollarda esa rasmiylashtirish jarayoni foydalanuvchilar nuqtai-nazaridan yetarli darajada shaffof amalga oshiriladi. Bunda olingan qoidalar uzluksiz yoki diskret o'zgaruvchilarga ega bo'lishi mumkin. Yechimlar daraxti belgili qoidalar to'plamiga bir qoidani daraxt ildizidan boshlab to terminal uchigacha generatsiyalash orqali oson almashtiriladi. Yechimlar daraxti va qoida bir masalani yechish turli yo'llari bo'lib, ular bir-biridan faqat imkoniyatlari bilan farq qiladi. Bundan tashqari, qoidalarni joriy etish yechimlar daraxti induksiyasiga nisbatan tezkor bo'lmagan algoritmlar asosida amalga oshiriladi [14].

Kross-tabulyasiya usullariga vakillar, bayes(ishonchli) tarmoq, kross-jadvalli vizualizatsiya usullari mansub. Kross-jadvalli vizualizatsiya usuli ma'lumotlarni intellektual tahlil qilishning biror-bir xossasiga ega emas. Biroq u analitik tizimlar qonuniyatlarini mustaqil izlaydi. Mazkur usulda axborotlarni taqdim etish ma'lumotlarni tahlil qilishning asosiy masalasini joriy etishni, ya'ni shablonlarni qidirishni ta'minlab beradi. Shuning uchun ushbu usul ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish usullaridan biridir.

Tenglamalarga asoslangan usullar. Ushbu guruh usullarida qonuniyatlar matematik ifodalar, ya'ni tenglamalar ko'rinishida aniqlanadi. Ular sonli o'zgaruvchilar asosida ishlaydi. Bunda o'zgaruvchilarning boshqa tiplarini esa mos shaklda kodlashtirish talab etiladi. Bu esa ushbu guruh usullarini tadbqiq etish sohalarini cheklanishiga olib keladi. Biroq ular turli amaliy masalalarni yechishda keng qo'llaniladi, ayniqsa bashoratlash bilan bog'liq bo'lgan masalalarini yechishda.

Statistik usullar. Ushbu guruh usullarini asosini tashkil etadi va ular ko'plab bashoratlash masalasini yechishda qo'llaniladi. Hozirgi kunda ma'lumotlarni tahlil qilishning ko'plab statistik usullari mavjud. Masalan, korrelyatsion-regression tahlil, dinamik qatorlar korrelyatsiyasi, garmonik tahlil va dinamik qatorlar intilishini aniqlash usullari shular jumlasidandir.

Data Mining masalalari

Data Mining texnologiyasi poydevoriga o'zida qonuniyatlarni ifodalovchi shablonlar konsepsiyasi qo'yilgan. Ushbu yashirin qonuniyatlarni aniqlash natijasida Data Mining masalalari hal etiladi. Odamga tushunarli shaklda ifodalanishi mumkin bo'lgan qonuniyatlarning turlicha tiplari ma'lum DataMining masalalariga muvofiq keladi.

Data Mining masalalari (tasks) ba'zan qonuniyatlar (regularity) yoki texnikalar (techniques) deb ataladi.

Odatda quyidagilar ajratib ko'rsatiladi: sinflashtirish, klasterizatsiya, bashoratlash, assotsiatsiya, vizuallashtirish, og'ishlarni, baholashni, bog'lanishlarni tahlillashni va natijalarni xulosalashni tahlil qilish va aniqlash.

Sinflashtirish (Classification). Data Miningning oddiyroq va eng ko'p tarqalgan masalasi. Sinflashtirish masalasini yechish natijasida tadqiq qilinayotgan ma'lumotlar to'plamining ob'ektlari guruhi tavsiflanuvchi belgilar – sinflar aniqlanadi; ushbu belgilar bo'yicha yangi ob'ektni u yoki boshqa sinfga o'tkazish mumkin. Sinflashtirish masalasini yechish uchun usullardan foydalanish mumkin: yaqin qo'shnilar (Nearest Neighbor); k- yaqin qo'shnilar (k-Nearest Neighbor); bayes to'rlari (Bayesian Networks); daraxt yechimlar induksiyasi; neyron to'rlar (neural networks).

Klasterlash (Clustering). Klasterlash sinflashtirish g'oyasini mantiqiy davomidir. Ushbu masala birmuncha murakkabroq, klasterlashning afzalligi shundan iboratki, ob'ektlar sinfi boshidan avvaldan aniqlanmagan. Klasterlash natijalari bo'lib ob'ektlarni guruhlariga bo'linishi hisoblanadi. Klasterlash masalasining yechish usuliga misol: neyron to'rlari ko'rinishiga asoslangan o'rgatish alohida turi "o'qituvchisiz" o'qitish - Kohonenning o'z-o'zini tartibga soluvchi xaritasi.

Assotsiatsiya (Associations). Assotsiativ qoidalarni qidirish masalasini yechishga kirishda ma'lumotlar to'plamida o'zaro bog'liq hodisalar o'rtasidagi qonuniyatlar izlanadi. Qonuniyatlarni izlashda Data Miningning avvalgi ikki masalasining assotsiatsiyasi farqi tahlil qilinayotgan ob'ekt xossalari asosida emas, balki bir vaqtda ro'y beradigan bir qancha hodisalar o'rtasida amalga oshiriladi. Assotsiativ qoidalarni izlash masalasini yechishning eng tanilgan algoritmi – Apriori algoritmidir.

Ketma-ketlik (Sequence), yoki ketma-ket assotsiatsiya (sequential association). Ketma-ketlik tranzatsiyalar orasidagi davriy qonuniyatlarni topishga imkon beradi. Ketma-ketlik masalasi assotsiatsiyaga o'xshash, biroq uning maqsadi bir paytni o'zida yaqinlashayotgan hodisalar o'rtasida emas, balki vaqt bilan bog'liq hodisalar o'rtasidagi qonuniyatlarni o'rnatish bo'lib hisoblanadi (ya'ni ma'lum bir vaqt

oralig'ida sodir bo'ladigan). Boshqacha aytganda ketma-ketlik hodisalarning vaqtga bog'liq zanjirlarini yuqori ehtimolligi bilan aniqlanadi. Haqiqatda assotsiatsiya nolga teng vaqtinchalik lag bilan ketma-ketlikning xususiy holatidir. Data Miningning ushbu masalasi shablonlarni ketma-ket topish masalasi deb ham ataladi (sequential pattern). Ketma-ketlik qoidasi: X hodisasidan keyin ma'lum vaqtdan keyin Y hodisa yuz beradi.

Bashoratlash (Forecasting). Bashoratlash masalasini yechish natijasida tarixiy ma'lumotlarni afzalliklari asosida butun sonli ko'rsatkichlarning tushirib qoldirilganlar yoki kelgusi qiymatlari baholanadi. Bunday masalalarni yechish uchun matematik statistika, neyron to'rlar va boshqa usullar qo'llaniladi.

Og'ishlarni yoki chiqindilarni aniqlash (Deviation Detection). Berilgan masalani yechishdan maqsad – ma'lumotlarni, o'ziga xos bo'lmagan shablonlarni aniqlash.

Baholash (Estimation). Baholash masalasi belgining uzluksiz qiymatlarini avvaldan aytishga keltiriladi.

Bog'lanishlarni tahlil qilish (Link Analysis) – ma'lumotlar to'plamida bog'liqliklarni topish masalasi.

Vizuallashtirish (Visualization, Graph Mining). Vizuallashtirish natijasida tahlil qilinuvchi ma'lumotlarni grafik tasviri yaratiladi. Vizuallashtirish masalasini yechish uchun ma'lumotlarda qonuniyat borligini ko'rsatuvchi grafik usullardan foydalaniladi. Vizuallashtirish usullariga misol - ma'lumotlarni 2-D va 3-D o'lchovlarda berish.

Xulosa chiqarish (Summarization) – maqsadi tahlil qilinuvchi ma'lumotlar to'plamidan ob'ektlarni aniq guruhlarini tavsiflash bo'lgan masaladir.

Data Mining masalalarini sinflashtirish

Strategiyalar bo'yicha sinflashtirishga muvofiq Data Mining masalalari quyidagi guruhlariga bo'linadi:

- o'qituvchilik o'qitish;
- o'qituvchisiz o'qitish;
- boshqalar.

O'qituvchilik o'qitish kategoriyasi Data Miningning quyidagi masalalari bilan beriladi: sinflashtirish, baholash, bashorat qilish. O'qituvchisiz o'qitish kategoriyasi klasterizatsiya masalalari bilan beriladi. «Boshqalar» kategoriyasiga avvalgi ikki bosqichni o'z ichiga olmagan masalalar kiradi.

Data Mining masalalari foydalaniluvchi modellarga bog'liq holda deskriptiv va bashoratli bo'lishi mumkin.

Ushbu sinflashtirishlarga muvofiq holda Data Mining masalalari tavsifli va bashoratli masalalar guruhlarini bilan beriladi.

Tavsifli (descriptive) masalalarni yechish natijasida tahlil qiluvchi talqin qilinuvchi ma'lumotlarni tavsiflovchi shablonlarni oladi. Ushbu masalalar tahlil qilinuvchi ma'lumotlarni umumiy tushunchasini tavsiflaydi ma'lumotlarning informativ, yakuniy, farqlovchi xususiyatlarini aniqlaydi. Tavsifli masalalar tushunchasi ma'lumotlar to'plamlarini tavsiflash va taqqoslashni o'z ichiga oladi. Ma'lumotlar to'plamlarini tavsiflash ayrim ma'lumotlar to'plamini qisqa va ixcham tavsifini ta'minlaydi. Ikki yoki undan ortiq ma'lumotlar to'plamini qiyosiy tavsifini ta'minlaydi.

Bashorat qilinuvchi masalalar (predictive) ma'lumotlarni tahlil qilishda, modelni yaratish, yangi yoki noma'lum ma'lumotlarning tendensiyalari yoki xususiyatlarini bashorat qilishga asoslangan.

Yuqorida eslatilgan sinflashtirishga yetarlicha yaqin bo'lib Data Mining masalalarini quyidagilarga bo'linishi hisoblanadi: tadqiqotlar va kashfiyotlar, bashoratlar va sinflashtirishlar, tushuntirishlar va tavsiflar.

Avtomatik tadqiqot va kashfiyot(erkin qidiruv).

Masala misoli: bozorning yangi segmentlarini kashf qilish. Masalaning berilgan sinfini yechish uchun klaster tahlil usulidan foydalaniladi.

Bashoratlash va sinflashtirish. Masala misoli: joriy qiymatlar asosida xaridlar hajmini avvaldan aytish. Usullar: regressiya, neyron to'rlar, genetik algoritmlar, daraxt yechimlar.

Sinflashtirish va bashoratlash masalalari induktiv modellashtirish deb nomlanadigan guruhni o'z ichiga oladi, natijada tahlil qilinuvchi ob'ekt yoki tizimni o'rganish ta'minlanadi. Ma'lumotlar to'plami asosidagi ushbu masalalarni yechish jarayonida umumiy model va faraz ishlab chiqiladi.

Tushuntirish va tavsiflash. Masala misoli: demografik ma'lumotlar va xaridlar tarixi bo'yicha mijozlar xarakteristikasi. Usullar: daraxt yechim, qoidalar tizimi, assotsiatsiyalar qoidasi, bog'lanishlar tahlili. Umumlashgan modelni talqin qilishda tahlilchi yangi bilim oladi. Ob'ektlarni guruhlashtirish ularni o'xshashliklari asosida amalga oshadi.

Data Miningning asosiy qiymati – bu berilgan texnologiyaning amaliy yo'nalishi, xomaki ma'lumotlardan aniq bilimga yo'l, qaror qabul qilish mumkin bo'lgan qo'llab-quvvatlashda masalani qo'yilishidan tayyor dasturgacha bo'lgan yo'l. Sinflashtirish va klasterizatsiya masalalarini batafsil ko'rib chiqamiz.

2.2. Bilim va ma'lumotlar tushunchalari

Ma'lumotlar - biror predmet sohadagi ob'ektlar, jarayonlar va hodisalarni xarakterlovchi, ularning xarakterlarini bildiruvchi alohida olingan dalillardir.

EHMda kayta ishlanganda ma'lumotlar shartli ravishda quyidagi bosqichlardan o'tadi;

- ma'lumotlar, o'lchovlar va kuzatishlar natijasi sifatida;
- ma'lumotlar strukturasi (modelli) diagramma, grafik, funsiyalar kurinishida;
- ma'lumot tashuvchilar bo'lgan ma'lumotlar bazalarida.

Bilimlar esa ma'lumotlar bilan bog'langan bo'lib, ularga asoslanadi, lekin ular inson fikrlash qobiliyati natijasi bo'lib, biror amaliy faoliyatdagi olgan tajribalarni birlashtiradi. Ular empirik yul bilan hosil qilinadi.

Bilimlar bir sohadagi masalalarni yechishi mumkin bo'lgan, biror predmet oblastining aniqlangan qonuniyatidir (prinsiplar, bog'likliklar, konunlar).

EHMda qayta ishlashda bilimlar ma'lumotlar kabi ko'rinishlarni oladi:

- bilimlar inson xotirasida fikrlash natijasi sifatida;

- bilimlarni moddiy tashuvchilari (o`quv qo`llanma, uslubiy qo`llanmalar);
- bilimlar maydoni - biror predmet sohadagi asosiy ob`ektlarni, ularning atributlarini va bog`lovchi qonuniyatlarni shartli tavsifi;
- bilimlarni taqdim etish tillarida tavsiflangan bilimlar (produksion tillar, semantik tarmoklar, freymalar).

Ko`pincha bilimlarni quyidagi ta`rifi ishlatiladi:

Bilimlar - bu yaxshi strukturlashgan, yoki ma`lumotlar haqidagi ma`lumotlardir.

Har xil predmet bo`limlari uchun bir qancha bilimlarni tavsiflash modellari mavjud. Ularning ko`pchiligini quyidagi sinflarga ajratish mumkin:

- produksion;
- semantik tarmoqlar;
- freymalar;
- formal mantiqiy modellar.

2.3. Bilimlarni ifodalash modellari va ularning tasnifi. Bilimlarni ifodalashning produksion va freym modellari

2.3.1. Produksion model

Ushbu model qoidalarga asoslangan bo`lib, bilimlarni quyidagicha ko`rinishda tavsiflaydi:

Agar (shart), u xolda (harakat).

Bu yerda shart deganda bilimlar bazasidan qidirish lozim bo`lgan ko`rinish asosida berilgan biror so`z yoki jumla, harakat deganda esa shartdagi jumla topilganda bajariladi. Ushbu shart va qadamlar boshqa biror qadam orasida, maqsadli, tizim ishini tugatuvchi bo`lishi mumkin.

Produksion modelni qo`llaganda bilimlar bazasi qoidalar to`plamidan iborat bo`ladi. Kerakli qoidani topuvchi dastur esa chiqarish mashinasi deyiladi. Ko`pincha chiqarish to`g`ri (ma`lumotlardan maqsadni qidirish) yoki teskari (maqsaddan uni tasdiqlash uchun ma`lumotlarga) bo`ladi. Ma`lumotlar bu - qoida-

larni bazadan tanlovchi dasturni ishga tushirishga asos bo'luvchi boshlang'ich faktlardir.

2.3.2. Semantik tarmoqlar

Semantik termini - ma'noli degan ma'noni anglatadi, semantika esa belgilar ma'nosini aniqlovchi, ya'ni simvollar va ob'ektlar o'rtasidagi bog'liklikni aniqlovchi fandır.

Semantik tarmoq bu yo'naltirilgan graf bo'lib, uning uchlari tushuncha, yoylari esa tushunchalar o'rtasidagi munosabatlardir.

Tushunchalar bo'lib abstrakt va konkret ob'ektlar ishlatiladi, munosabatlar esa quyidagi bog'lanishlardir: bu ("is"), qismga ega ("hasrart"), ga tegishli (), "yaxshi ko'rish".

Semantik tarmoqlarning xarakterli tomoni - ularda quyidagi 3 xil munosabatlar bo'lishidir:

- sinf - sinf elementi;
- xossa - qiymat;
- sinf elementi misoli.

Semantik tarmoqlarning bir necha klassifikatsiyasini keltirish mumkin.

Masalan munosabatlar turlari soni buyicha:

- bir jinsli (munosabatning bir tipiga esa);
- bir jinsli emas (xar xil tipli munosabatga ega).

Munosabatlar turlariga ko'ra:

- binar (munosabat ikki ob'ektni bog'laydi);
- n arli (ikkitadan ortiq tushunchani bog'lovchi maxsus munosabatlar bor).

Ko'pincha semantik tarmoqlarda quyidagi munosabatlar ishlatiladi:

- "qism - butun" tipli bog'lanish ("sinf - sinf qism", "element - to'plam " va hokazo);
- funksional bog'lanishlar (odatda "ishlab chiqarish", "ta'sir qiladi" kabi fe'llar bilan aniqlanadi).

- miqdoriy bog‘lanishlar (ko`p, kam, teng...);
- fazoviy bog‘lanishlar (...dan uzoq, ...ga yaqin, orqasida, ostida, ustida...);
- vaqtli bog‘lanishlar (oldin, keyin, orasida...);
- atributli bog‘lanishlar (xossaga ega, qiymatga ega...);
- mantiqiy bog‘lanishlar (va, yoki, emas) vah.k.

Semantik tipdagi tarmoqda yechimni qidirish qo‘yilgan savolga mos keluvchi, quyi tarmoqqa mos, tarmoq fragmentini qidirish masalasiga olib kelinadi.

Ushbu modelning asosiy afzalligi insonning uzoqqa saqlanuvchi xotirasi to‘g‘risidagi zamonaviy qarashlarga mosligidir.

Modelning kamchiligi - semantik tarmoqdan yechimning qidirilishini murakkabligidir.

Semantik tarmoqlarni qo‘llash uchun NET deb nomlangan tilga o‘xshash tarmoq tillari yaratilgan.

2.3.3.Freymlar

Freym (frame -karkas yoki ramka) so‘zi 70 yillarda bilimlar strukturasi fazoviy ko‘rinishda tasvirlash uchun taklif qilingan.

Freym asosida abstrakt obraz yoki holat yotadi.

Abstrakt obraz tushunchasi psixologiya va falsafadan yaxshi ma’lum. Masalan, "xona" so‘zi eshitgan kishida xona obrazini qo‘zg‘atadi;

"6- 20 m.kv. maydonga ega, eshik va derazalarga ega, polli, to‘rt devorli yashash xonasi" degandan bir narsani olsak, ma’no buziladi, masalan, derazalar so‘zini olsak, yashash emas, yotish xonasi bo‘lib qolishi mumkin, lekin unda teshiklar, ya’ni slotlar ayrim atributlarning to‘ldirilmagan qiymatlari mavjud, masalan, oynalar soni, devor rangi va hokazo.

Freymlar nazariyasida bunday obraz freym deyiladi. Obrazni akslantiruvchi formallashgan model xam freym deyiladi. Freym strukturasi quyidagicha tasvirlash mumkin:

Freym nomi:

- (1- slot nomi:1 slot qiymati),
- (2 - slot nomi:2 slot qiymati),
- (n - slot nomi : n - slot qiymati).

Freymlar modeli yetarlicha universaldir, chunki u bilimlar ko'p xilligini quyidagilar yordamida akslantirishga imkon beradi:

- Freymlar - ob'ekt va tushunchalarni belgilash strukturalar uchun;
- Freymlar - rollar (menedjer, kassir, klient);
- Freym - ssenariyalar (bankrotlik, aksionerlik yigilishi);
- Freym holatlar (trevoga, avariya, qurilma ish rejimi).

Freymlar nazariyasining asosiy hossasi - semantik tarmoqlar nazariyasiga xos bo'lgan hossalarning vorisligidir. Freymlarda ham, semantik tarmoqlarda ham vorislik AKO - bog'lanishlar orqali bo'ladi. AKO sloti o'xshash slotlar qiymatlari oshkorlik holda o'tadigan ierarxiyaning yuqoriroq darajasini ko'rsatadi.

2.4. Bilimlarni ifodalashning mantiqiy modellari

Yuqorida qayd etilganidek, sun'iy intellektning barcha an'anaviy tizimlari, shu jumladan inson faoliyatining turli xil jabhalarida keng qo'llaniluvchi ekspert tizimlari HC asosida, ko'pincha kompyuterlar asosida ishlab chiqarilgan. Hisoblashlarning bunday asosi esa, tabiiyki samaradorlikni va umuman olganda har xil maqsadlarga yo'naltirilgan sun'iy intellekt tizimlarini yaratish imkoniyatini chegaralab qo'ygan. Bugungi kunda belgili qayta ishlash va an'anaviy HC ga emas, neyron tarmoqlar, noravshan qayta ishlash (fuzzy computing), evolyutsion hisoblashlar, belief-tarmoqlarga asoslangan sun'iy intellektning amaliy tizimlari soni sezilarli darajad ortib bormoqda. Shuningdek, ilmiy konferensiyalarning ishlari, sun'iy intellektga oid jurnallarda noravshan mantiq (fuzzy logic), genetik algoritmlar, sun'iy hayot (artificial life), biologik hisoblashlar (biological computing), neyron hisoblashlar (neural computing) va boshqalarga oid maqolalar soni sezilarli darajada ortib bormoqda.

Qayd etilganlarning guvoh berishicha, sun'iy intellekt tizimlarini ishlab chiqish va o'rganishning og'irlik markazi Soft Computing tomonga siljib bormoqda.

Hozirgi vaqtda Soft Computingning asosiy qismlari quyidagilardir: Noravshan Mantiq-FL (fuzzy logic), Neyron Tarmoqlar Nazariyasi-NN (neural networks), Ehtimolli Mulohazalar – PR (probabilistic reasoning), ular o'z ichiga Genetik Algoritmalar (genetic algorithms), Xaos Nazariyasi-CT (chaos theory) ni oladi. Soft Computing tarkibidagi FL asosan noaniqlik va taxminiy mulohazalar, NN-ta'limot bilan va PR-noaniqlik bilan ish ko'radi. Umuman olganda FL, NN va PR lar ustuvor yondashuvlardan ko'ra, bir-birini to'ldiruvchi yondashuvlardir [5,6].

2.4.1. SC tarkibiy qismlarining taqqoslama tavsiflari

Soft Computing qismlari mustaqil ravishda, masalan noravshan hisoblashlar (fuzzy computing), neyron hisoblashlar (neural computing), evolyutsion hisoblashlar (evolutionary computing) da, hamda ko'pincha kombinatsiyali ko'rinishda qo'llanilishi mumkin. Mustaqil qo'llanilishga asoslanib, Soft Computingni tashkil etuvchilar, noravshan texnologiya, neyron texnologiya, xaos texnologiya va boshqalar ayni vaqtda sanoat sohasida ham, undan tashqarida ham keng qo'llanilib kelinmoqda.

Soft Computingning old tarkibiy qismi noravshan mantiq (fuzzy logic) dir. Soft Computingda noravshan mantiq (FL) sonli vazifani o'taydi. FL so'z bilan ifodalanishni va hisoblashlarning interpretatsiyalanishini ta'minlaydi [5]. Noravshan mantiq ko'pgina sanoat sohalarida muvaffaqiyatli qo'llanilgan. Robot texnikasi, mayatnik tizimi (inverted pendulum system) ni muvozanatlash, qaror qabul qilish va tashxis qo'yishning murakkab tizimlarida, ma'lumotlarni siqishda, TV va boshqa sohalarda, lingvistik shaklda yoki noravshan sonli ma'lumotlar ko'rinishida berilgan bilimlarni boshqarishga qaratilgan tizimli protsessorni loyihalashtirishda biz tizimning noravshan modeliga muhtojlik sezamiz. Noravshan to'plamlarni mukammal approksimatsiya tariqasida ishlatish mumkin, bu esa noma'lum obyektlarni modellashtirishda, hamda operator berilgan vaziyatda qanday turdagi amaldan foydalanishi to'g'risida aniq tasavvurga ega bo'lmaganida o'ta muhimdir, uning boshqaruv faoliyatini sonli ma'lumotlardan foydalangan holda modellashtirish foydalidir.

Lekin sof ko'rinishdagi noravshan mantiq intellektual tizimlarni yaratishda har doim ham o'rinli bo'lavermaydi. Xususan, loyihalashtiruvchi tizim to'g'risidagi yetarli aprior axborot(bilim) ga ega bo'lmasa, noravshan qoidalarining o'rinli bazasini qurishning iloji bo'lmaydi. Tizim murakkablashib borishi bilan tizimning xatti-harakatini to'g'ri ta'riflash uchun qoidalar va tegishlilik funksiyalarning to'g'ri to'plamini aniqlash bilan bog'liq qiyinchilik paydo bo'ladi. Noravshan tizimlar ham tajriba natijalari bo'yicha qo'shimcha bilimlarni ajratib olish va tizimning funksionallashuv sifatini aniqlash uchun noravshan qoidalarini to'g'irlashga taaluqli kamchiliklardan aziyat chekadilar.

Soft Computing ning boshqa muhim qismi neyron tarmoqlardir. Sun'iy neyron tarmoqlar parallel hisoblash modellari bo'lib, noxiziqli statistik va dinamik tizimlarning mayda sodda parallel ishlab chiqarilishni ifodalaydilar. Ushbu tarmoqlarning eng muhim omili ularning "misolga qarab o'rganish" ning o'rnini an'anaviy "dasturlash" egallovchi moslanadigan tabiatidir. Boshqa kalit omil biriktirilgan parallelizmdir, u parallel sonli kompyuterlar asosida tez yechadigan sxemalarni ishlab chiqarishga imkon beradi. Sun'iy neyron tarmoqlar aniqlashtirish, egri chiziq va funksiyalarni approksimatsiyalash, ma'lumotlarni siqish, bog'liqli xotira, noxiziqli no'malum tizimlarni modellashtirish va boshqarish kabi masalarni yechishning zaruriy hisoblash modellaridir. [6,7].

Neyron tarmoqlar hisoblash samaradorligi va ularning samarali apparatli amalga oshirilish jihatidan ajralib turadi. Ular umumlashtirish xossasi-yangi obrazlarni to'g'ri sinflashtirish qobiliyatiga egadirlar. Neyron tarmoqlarning kamchiligi yomon interpretatsiyalanishidir. Neyron tarmoqlarning kamchiligini qayd etayotganda ularni "qora quti" bilan solishtiradilar [5].

Evolyutsion hisoblashlar-EC (evolutionary computing)- muqobillashtirishga revolyutsion yondashuv. EC ning tarkibiy qismi-genetik algoritmlar natural seleksiya va natural gentika mexanizmlariga asoslangan global muqobillashtirish algoritmlaridir [8]. Genetik algoritmlarning ulkan ustuvorliklaridan biri ularni parallel ko'p o'lchovli qidiruv asosida samarali ishlab chiqarish imkoniyatidir.

Genetik algoritmnı bajarish mexanikasi juda sodda. Amallarning oddiyligi va quvvatli hisoblash samarasi genetik algoritmlarning ikkita asosiy ustuvorligidir. Genetik algoritmlarning kamchiligi, birinchidan yaqinlashish muammosi va umuman nazariy tuzilmaning yo'qligidir. Haqiqiy (natural) o'zgaruvchilarni bitli qatorlarga kodlash zarurati ham genetik algoritmlarning kamchiligidir. 9.1-jadvalda Soft Computing qismlarining taqqoslama tavsiflari keltirilgan.

Soft Computing qismlarini qo'llash sohasiga taaluqli o'ziga xos muammolar mavjud. Masalan, avtomobilni joylashtirish masalasi neyron tarmoqlar, GA va boshqalarni qo'llamasdan, faqatgina noravshan mantiqdan foydalanish asosida yechilishi mumkin. Perexvat masalasini FL, GA, NN da emas, CN da yechish maqsadga muvofiq.

2.1-jadval

Soft Computing qismlarining taqqoslama tavsiflari			
	Noravshan to'plamlar	Sun'iy neyron tarmoqlar	Evolyutsion hisoblashlar
Kamchilik jihatlari	Bilimlarni ajratib olish, O'rganish	Interpretasiyalanuvchilik "Qora quti" ning tabiati	Kodlash hisoblash tezligi
Ustuvor jihatlari	Interpretasiyalanuvchilik Shaffoflik Chinlik Navbatmanavbatlilik Modellashtirish Mantiqiy chiqarish Noaniqlikka tolerantlik	O'rganuvchanlik Moslashuvchanlik Xatolarga tolerantlilik Egri chiziqlarning approksimatsiyasi Umumlashtirish qobiliyati Approksimatsiyalash qobiliyati	Hisoblash samaradorligi Global muqobillashtirish

2.4.2. SC tarkibiy qismlarining intellektual kombinatsiyasi

Gibrid tizimlar

Yuqorida qayd etilganidek, Soft Computingning qismlari- noravshan mantiq, neyronli qayta ishlash va ehtimolli mulohazalar o'zaro bellashmasdan, bir-birini to'ldirib turadi. FL, NN, PR ni GA bilan avtonom tarzda emas, kombinatsiyada qo'llash maqsadga muvofiq ekanligi aniq bo'lmoqda. L.Zadening qayd etishicha "bugungi kunda Gibrid Intellektual Tizimlar atamasi FL, NN va PR lar kombinatsiyada qo'llanilgan tizimlarga nisbatan odatiy bo'lib bormoqda. Bizning nuqtai nazarimizga ko'ra Gibrid Intellektual Tizimlar kelajakning tezkor suratlar bilan rivojlanib boruvchi tizimlaridir" [5].

Soft Computing qismlarining quyidagi kombinatsiyalari ma'lum:

neuro computing + fuzzy logic (neuro fuzzy - NF);

fuzzy logic + genetic algorithms (FG);

fuzzy logic + chaos theory (FCh);

neural networks + genetic algorithms (NG);

neural networks + chaos theory (NCh);

neural networks + fuzzy logic + genetic algorithms (NFG);

fuzzy logic + neural networks + genetic algorithms (FNG).

Soft Computing tarkibiy qismlarining boshqa kombinatsiyalari ham kuzatilishi mumkin.

Neyron tarmoqlarning yomon interpretatsiyalanish qobiliyati bir tomondan, va boshqa tomondan noravshan tizimlarda bilim olishga oid qiyinchiliklar FL&NC ning gibridlashuviga sabab bo'ladi. Neyro-noravshan tizimlar shu muammoni noravshan tizimlarning interpretatsiyalashuvi xossasiga ega bo'lgan konneksionistik qobiliyatlarini birlashtirish yordamida yechishga harakat qiluvchi gibrid tizimlardir.

Yuqorida qayd etilganidek, (2.1), dinamik ishchi muhit holida noravshan tizimlarda bilimlar bazasini avtomatik ravishda to'g'irlash zarur bo'ladi.

Boshqa tomondan, sun'iy neyron tarmoqlar misollarga qarab o'rganish asosida zaruriy darajadagi aniqlikda boshqarish va muqobillashtirish jarayonlari

uchun bilimlar ajratib olish bilan bog'liq muammolarda muvaffaqiyatli qo'llanilib kelinmoqda. Noravshan qoidalarda tegishlilik funksiyalari egri chiziqlarining shaklini muqobillashtirish uchun neyron ta'limot tamoyili hamda zaruriy aniqlikka erishish uchun yetarli bo'lgan qoidalar sonining minimallashtirish- neyro-noravshan yondashuvning mazmunidir.

Keng qamrovli funksiyalarning muqobilini global qidirish imkonini beruvchi qarorlarni va genetik algoritmlarning inson tomonidan qabul qilinishida ishlatiluvchi empirik, intiutiv qoidalarga asoslangan(rule-based) noravshan tizimlar kombinatsiyasi samarali, ishchan, moslashuvchan boshqaruv tizimini yaratishga imkon beradi.

Noravshan tizimlar bilimlar bazasining noravshan qoidalarda tegishlilik funksiyalari LR-turdagi noravshan sonlar, masalan trapetsiya, uchburchak ko'rinishida tasvirlanadi. Noravshan bilimlar bazasini to'g'irlash, ya'ni tegishlilik funksiyalari markazlarining qiymatlari va ko'rinishlarini aniqlash uchun gradientli usullardan foydalanish o'zini oqlamaydi. Bunda samarali vosita GA dir. FL va GA ning kombinatsiyasi noravshan nazoratgichning noravshan bilimlar bazasini MB dagi qoidalarning muqobil sonini va tegishlilik funksiyalarining ko'rinishini aniqlash orqali muqobillashtirish imkonini beradi. Bunda GA loyihalalanuvchi noravshan tizimning munosabatlar matrisasi va tegishlilik funksiyalarini qurish uchun ishlatiladi.

O'z navbatida, FL va GA birgalikdagi ko'rinishida noravshan to'plamlar nazariyasi genetik operatorlar va umuman olganda genetik algoritmlarning xatti-harakatini yaxshilash uchun qo'llanilishi mumkin, ya'ni GA ning samaradorligini oshirish maqsadida noravshan vositalar (tools) ni yaratish mumkin.

Genetik algoritmnining neyron tarmoq bilan turmushi ham samarali natija beradi. Ma'lumki, sun'iy neyron tizimlarni ishlab chiqishning asosiy masalalaridan biri neyro-tarmoqning parametrlarini sozlash uchun mos usulni tanlashdir. Ushbu usullardan eng mashhuri "backpropagation" algoritmi. Afsuski backpropagation bilan bog'liq ayrim muammolar mavjud. Birinchidan, ta'limot samaradorligi

neyron tarmoq og'irliklarining boshlang'ich majmuasiga bog'liq bo'lib, u tasodifiy tarzda aniqlanadi. Ikkinchidan, backpropagation boshqa gradient usul singari lokal minimumlarni bartaraf etishga imkon bermaydi. Uchinchidan, agar o'quv tezligi juda ham kichkina bo'lsa, yechimni topish uchun ko'p vaqt talab etiladi. To'rtinchidan, backpropagation aktivatsiya funksiyalari differentsiallanuvchan bo'linishini talab etadi. Bu shart neyron tarmoqlarning ko'pgina turlariga nisbatan bajarilmaydi. Ko'pgina masalalarni muqobillashtirish uchun "kuchli" usullar yaxshi yechim topa olmaganida qo'llaniladigan genetik algoritmlar yuqorida qayd etilgan kamchiliklardan holi ravishda neyron tarmoqlarni o'rganish uchun ishlatiladi. Biologik hisoblashlar (biological computation) ga yaqinroq bo'lgan noravshan xaotik neyron tarmoqlardan foydalanish orqali to'g'riroq natijalarni olish mumkin.

Neyron tarmoqlarni o'rganish uchun, ya'ni noravshan signalli va/yoki, noravshan og'irlikli neyron tarmoqlar ko'zdan kechirilganda, ularni o'rganishda har xil usullardan foydalaniladi. Xususan, standart δ -qoidani to'g'ridan-to'g'ri fazzifikatsiyalash, noravshan og'irliklarni qidirish uchun backpropagation algoritmdan foydalaniladi. Shuningdek uchburchak, trapetsiyalar ko'rinishida berilgan neyron tarmoqlarning noravshan og'irliklarini qidirish uchun α -cut protseduradan foydalaniladi. Bunda qidirish masalasi backpropagation va oraliq arifmetikani qo'llashga asoslanadi.

Birinchi holda algoritmning ishi og'irliklarning to'g'ri qiymatiga yaqinlashish ma'nosida muvaffaqiyatsiz bo'lib chiqishi mumkin. Har bir holatda xato gradientini (error measure) hisoblash zarur, lekin hosilalarni olish juda qiyin (ayniqsa kiruvchi, chiquvchi signallar va og'irliklar uchun umumiy noravshan tarmoqlar holida). FL, NC va GA turmushga asoslangan noravshan neyron tarmoqlarni o'rganish algoritmlari yuqorida qayd etilgan kamchiliklardan holi bo'lib, juda samarali natijalar beradi.

Shubxa yo'qki, Soft Computingning yuqorida qayd etilgan intellektual kombinatsiyalari rivojlanib boradi va yangilari ham paydo bo'lib boraveradi. Ular

hisoblash intellekti(Computational Intelligence), biologik hisoblashlar(Biological Computing) va sun'iy hayotning (Imitating Life) fundamenti bo'lib qoladi.

3. SINFLASHTIRISH VA KLASTERLASH

3.1. Sinflashtirish masalasi

Sinflashtirish eng oddiy va shu bilan birga eng tez-tez hal qilinadigan Data Mining masalasi bo'lib hisoblanadi. Tasniflash masalasi keng tarqalganligi tufayli ushbu tushunchaning mohiyatini aniq tushunish kerak. Bu yerda ayrim ta'riflar mavjud.

Tasniflash – o'rganilayotgan predmetlar, hodisalar, jarayonlarni jinsi, turi, tipi bo'yicha, ularni o'rganish qulayligi uchun har qanday muhim belgilar bo'yicha tizimli taqsimlash; ushbu o'xshashlik darajasini aks ettiruvchi dastlabki tushunchalarni guruhlash va ularni belgilangan tartibda joylashishi.

Tasniflash – o'xshash sinflashtirish belgilariga (bir yoki bir nechta belgilar) ega ba'zi bir tamoilga muvofiq ob'ektlar to'plami bo'lib, ushbu ob'ektlar o'rtasidagi o'xshashlik yoki farqni aniqlash uchun tanlangan.

Tasniflash quyidagi qoidalarni o'z ichiga oladi:

- bo'linmaning har bir aktida faqat bir asosni qo'llash zarur;
- bo'linma mutanosib bo'lishi kerak, ya'ni turga oid tushunchalarning hajmi bo'linuvchi turga oid tushunchaga teng bo'lishi kerak;
- bo'linma hadlari o'zaro bir-birini chiqarib tashlashi kerak, ularning hajmi bir-biriga zid bo'lmasligi kerak;
- bo'linma ketma-ket bo'lishi kerak. Shu bilan farqlanadiki:
- tashqi belgi bo'yicha amalga oshiriluvchi va predmetlar (jarayonlar, hodisalar) to'plamini kerakli tartibda berish uchun xizmat qiluvchi yordamchi (sun'iy) tasniflash;
- predmetlar va hodisalarni ichki umumiylikni tavsiflovchi muhim belgilar bo'yicha amalga oshiriluvchi tabiiy tasniflash.

Oxirgisi ilmiy tadqiqotni muhim vositasi va natijasi bo'lib hisoblanadi, shuningdek sinflashtiriluvchi ob'ektlar qonuniyatlarini o'rganish natijalarini taxmin qiladi va mustahkamlaydi.

Tanlangan belgilarga, ularning birlashishi va bo'lish tushunchalariga bog'liq holda tasniflash quyidagicha bo'lishi mumkin:

- oddiy – turga oid tushunchani faqatgina belgi bo'yicha va barcha turlarni ochishdan avval faqat bir marta bo'lish. Bunday tasniflashga misol bo'lib dixotomiya bo'lib, unda faqat ikkita tushuncha bo'linma hadlari bo'lib, har biri boshqasiga ziddir (ya'ni tamoilga rioya qilinadi: "A va A emas");
- murakkab – bir tushunchani turlicha asoslar bo'yicha bo'lish va bunday bo'lishlarni bir butun holda sintez qilish qo'llaniladi. Bunday tasniflashga misol bo'lib, kimyoviy elementlarni davriy sistemasi bo'lib hisoblanadi.

Tasniflash deganda ob'ektlarni (kuzatishlarni, hodisalarni) ma'lum bir sinflardan biriga tayinlash tushuniladi.

Tasniflash – bu ma'lum bir guruhning xususiyatlarini aniqlash to'g'risidagi nisbiy xulosa chiqarishga imkon beruvchi qonuniyat. Shunday qilib, tasniflashni o'tkazish uchun u yoki boshqa hodisa yoki ob'ektga tegishli bo'lgan guruhni

tavsiflovchi belgilar mavjud bo'lishi zarur (odatda, bunda allaqachon sinflashtirilgan hodisalarning tahlili natijasida ba'zi qoidalar tuziladi).

Tasniflash nazorat qilinuvchi yoki boshqariluvchi o'qitish deb ham nomlanuvchi o'qituvchili o'qitish (supervised learning) strategiyasini anglatadi.

Tasniflash masalalari odatda uzluksiz va/yoki kategoriyali o'zgaruvchilar asosida kategoriyali bog'liq o'zgaruvchini avvaldan aytish (ya'ni, kategoriya bo'lib hisoblangan bog'liq o'zgaruvchi) deb nomlanadi.

Masalan, oldindan aytish mumkinki, kim firmaning mijozlaridan bo'lsa ma'lum bir mahsulotning potensial xaridori bo'lib hisoblanadi, kimdir esa – yo'q, kimdir firmaning xizmatidan foydalanadi, kimdir esa – yo'q, va hokazo. Masalalarni ushbu turi binarli tasniflashga tegishli, ularda bog'liq o'zgaruvchi faqat ikkita qiymatni qabul qilishi mumkin (masalan, ha yoki yo'q, 0 yoki 1).

Tasniflashning boshqa turi, agar bog'liq o'zgaruvchi oldindan belgilangan sinflarni ba'zi to'plamlaridan qiymatni qabul qilishi mumkin bo'lsa, yuzaga kelishi mumkin. Masalan, mijoz avtomobilni qanday markalisini xohlashini oldindan aytib berish mumkin bo'lgan paytda. Bunday hollarda bog'liq o'zgaruvchi uchun sinflar to'plami ko'rib chiqiladi.

Tasniflash bir o'lchamli (bir belgisi bo'yicha) va ko'p o'lchamli (ikki yoki undan ko'proq belgilar bo'yicha).

Tasniflash jarayoni.

Tasniflash jarayonining maqsadi shundan iboratki, kirish parametrlari sifatida bashorat qilinuvchi atributlardan foydalaniladigan va bog'liq atribut qiymati olinadigan modelni qurish. Tasniflash jarayoni ob'ektlar to'plamini ma'lum mezon bo'yicha sinflarga bo'lishdan iborat. Tasniflagich belgilarning vektori bo'yicha ob'ektni qaysi oldindan belgilangan sinflarga tegishlilikini aniqlaydi.

Matematik usullar bilan tasniflashni o'tkazish uchun tasniflashning matematik apparatidan foydalangan holda bajarishi mumkin bo'lgan ob'ektning formal tavsifiga ega bo'lishi zarur. Bizni holatda bunday tavsif bilan ma'lumotlar bazasi chiqadi.

Har bir ob'ekt (ma'lumotlar bazasini yozib olish) ob'ektni ayrim xossalari to'g'risidagi axborotni tashiydi.

Dastlabki ma'lumotlar to'plami (yoki ma'lumotlar tanlanmasi) ikkita to'plamga bo'linishi mumkin: o'qitiluvchi va test qilinuvchi.

O'qitiluvchi to'plam (training set) – modelni o'qitish (qurish) uchun foydalaniladigan ma'lumotlarni o'z ichiga olgan to'plam. Bunday to'plam misollarni kirish va chiqish qiymatlaridan iborat.

Chiqish qiymatlari modelni o'qitish uchun avvaldan belgilangan.

Testli (test set) to'plam misollarni kirish va chiqish qiymatlaridan iborat. Bu yerda chiqish qiymatlaridan modelni ishlash layoqatini tekshirish uchun foydalaniladi.

Tasniflash jarayoni ikki bosqichdan iborat: modelni qurish va undan foydalanish.

1. Modelni qurilishi: oldindan ma'lum sinflar to'plamini tavsiflash.

○ Ma'lumotlar to'plamini har bir misoli oldindan belgilangan sinfga tegishli bo'ladi.

○ Ushbu bosqichda o'qitiluvchi to'plamdan foydalaniladi, unda modelni qurish amalga oshiriladi.

○ Olingan model daraxt yechim yoki matematik formulaning tasniflashga oid qoidalari bilan berilgan.

2. Modeldan foydalanish: yangi yoki noma'lum qiymatlarni tasniflash.

○ Modelning to'g'riligini (aniqligini) baholash.

a) Olingan modeldan foydalanish natijalari bilan ma'lum testga oid misol qiymatlari taqqoslanadi.

b) Aniqlik darajasi – testli to'plamda to'g'ri tasniflangan misollarni foizi.

c) Testli to'plam, ya'ni qurilgan model test qilinuvchi to'plam, o'qitiluvchi to'plamga bog'liq bo'lmasligi zarur.

○ Agar model aniqligi yo'l qo'yilgan bo'lsa, sinfi noma'lum bo'lgan yangi misollarni tasniflash uchun modeldan foydalanish mumkin.

Sinflashtirish jarayoni aynan modelni qurish va undan foydalanish 7-va 8-rasmlarda keltirilgan.

Tasniflash masalalarini yechish uchun qo'llaniluvchi usullar.

Tasniflash uchun turlicha usullardan foydalaniladi. Ulardan asosiylari:

- daraxt yechimlar yordamida tasniflash;
- bayes (sodda)tasniflash;
- sun'iy neyron to'rlari yordamida tasniflash;
- tayanch vektorlar usuli bilan tasniflash;
- statistik usullar, jumladan, chiziqli regressiya;
- yaqin qo'shnilar usuli tasniflash;
- CBR-usul bilan tasniflash;
- Genetik algoritmlar yordamida tasniflash.

Tasniflash aniqligi: xatolar darajasini baholash.

Tasniflash aniqligini baholash kross-tekshirish yordamida o'tkazilishi mumkin.

Kross-tekshirish(Cross-validation) – bu kross-tekshirish to'plami deb ham nomlanuvchi testli to'plam ma'lumotlarida tasniflash aniqligini baholash jarayonidir. Testli to'plamni tasniflash aniqligi o'qitiluvchi to'plam tasniflash aniqligi bilan solishtiriladi. Agar testli to'plamni tasniflash o'qitiluvchi to'plamni tasniflash kabi taxminan aniqlik bo'yicha shunday natijalarni bersa, berilgan model kross-tekshiruvdan o'tgan bo'lib hisoblanadi.

O'qitiluvchi va testli to'plamga bo'lish ma'lum nisbatda tanlanmani bo'lish yo'li bilan amalga oshiriladi, masalan, o'qitiluvchi to'plam – uchdan ikki qism, testli to'plam - uchdan bir qism ma'lumotlardan iborat. Ushbu usuldan ko'p sonli misollarni tanlash uchun foydalaniladi. Agar tanlanma kichik hajmga ega bo'lsa, qisman kesishishi mumkin bo'lgan o'qitiluvchi va testli tanlanmadan foydalanishda maxsus usullarni qo'llash tavsiya qilinadi.

3.2. Klasterlash masalasi

Klasterlash masalasi tasniflash masalasiga o'xshash va uning mantiqiy davomi bo'lib hisoblanadi. Farqi shuki, o'rganilayotgan ma'lumotlar to'plami sinflari avvaldan belgilanmagan.

"Klasterlash" terminining sinonimlari "avtomatik tasniflash", "o'qituvchisiz o'qitish" va "taksonomiya" bo'lib hisoblanadi.

Klasterlash ob'ektlar to'plamini bir turdagi guruhlariga ajratish uchun mo'ljallangan (klasterlar yoki sinflar). Agar tanlanma ma'lumotlar belgilar fazosida nuqta sifatida talqin etilsa, u holda klasterlash masalasi "nuqtalarni quyuvlashuvi"ni aniqlashga keltiriladi.

Klasterlashning maqsadi – mavjud tuzilishni izlash.

Klasterizatsiya tavsifli protsedura bo'lib, u hech qanday statistik xulosalar qilmaydi, biroq izlanish tahlili va "ma'lumotlar tuzilishi"ni o'rganish imkoniyatini beradi.

"Klaster" tushunchasi noaniq tarzda aniqlanadi: har bir tadqiqotda o'zining "klasterlari" mavjud. Klasterni umumiy xususiyatlarga ega ob'ektlar guruhi sifatida tavsiflash mumkin.

Quyidagi ikki belgini klaster xususiyatlari deb atash mumkin:

- ichki bir jinslilik;
- tashqi izolyatsiya.

Ko'plab masalalarni hal qilishda tahlil qiluvchilar tomonidan beriladigan savol – bu yaqqol tuzilmalarda ma'lumotlar qay tarzda shakllantirish ya'ni taksonomiyani rivojlantirishdan iborat. Klasterizatsiyani dastlab biologiya, antropologiya, psixologiya kabi fanlar uchun eng ko'p qo'llanildi. Iqtisodiy masalalarni hal qilish uchun iqtisodiy ma'lumotlar va hodisalarning o'ziga xos xususiyatlari tufayli uzoq vaqt davomida kam foydalanilgan.

Klasterlar kesishmaydigan, yoki eksklyuziv (non-overlapping, exclusive), va kesishadigan (overlapping) ko'rinishda bo'ladi.

Ta'kidlash kerakki, klasterli tahlilning turlicha usullarini qo'llash natijasida turlicha shaklning klasteri hosil bo'ladi.

Masalan, klasterning "zanjirli" turi bo'lishi mumkin, klasterlarning uzun "zanjirli" turi, klasterning uzaytirilgan shakli va h.k. bo'lganda, ayrim usullar esa klasterning erkin shaklini yaratishi mumkin.

Turlicha usullar ma'lum o'lchamdagi klasterlarni yaratishga intilishi (masalan, kichik va katta) yoki ma'lumotlar to'plamida turli o'lchamdagi klasterlarni mavjudligini taxmin qilishi mumkin. Klaster tahlilning ayrim usullari shovqinlarga yoki chiqindilarga ayniqsa ta'sirchan, boshqalarga – kamroq. Klasterlashning turli usullarini qo'llash natijasida xar xil natijalar olinishi mumkin, bu normal holat va u yoki boshqa algoritmnining ishining afzalligi bo'lib hisoblanadi. Klasterlash usulini tanlashda ushbu xususiyatlarni hisobga olinadi.

Hozirgi kunda klasterlashning yuzdan ortiq turlicha algoritmlarni ishlab chiqilgan.

- klasterlash yondashuvlariga qisqa tavsifnoma keltiramiz.
- ma'lumotlarni ajratishga asoslangan algoritmlar, (Partitioning algorithms), shu

jumladan iterativ;

- ob'ektlarni klasterlarga ajratish;
- klasterlashni yaxshilash uchun ob'ektlarni iterativ qayta taqsimlash;
- ierarxik algoritmlar (hierarchy algorithms);
- aglomeratsiya: har bir ob'ekt dastlab klaster bo'lib hisoblanadi, bir-biri bilan bog'laydigan klasterlar kattaroq klaster hosil qiladi va hokazo;
- ob'ektlarni konsentratsiyasiga asoslangan usullar (density-based methods);
- ob'ektlarni birlashtirish imkoniyatiga asoslangan;
- shovqinlarga e'tibor bermaslik, erkin shakl klasterlarini topish;
- grid-usullar (grid-based methods);
- grid-tuzilishda ob'ektlarni kvantlash;
- model usullar (model-based) ;
- ma'lumotlarga mos keladigan klasterlarni topish uchun modeldan foydalanish;

Klasterlash sifatini baholash.

Klasterlash sifatini baholash quyidagi protseduralar asosida o'tkazilishi mumkin:

- qo'lda tekshirish;
- nazorat nuqtalarini o'rnatish va olingan klasterlarni tekshirish;
- o'zgaruvchilar modeliga qo'shish yo'li bilan klasterlash barqarorligini aniqlash;
- turlicha usullar foydalanish bilan klasterlarni yaratish va taqqoslash;

Klasterlashning turlicha usullari har xil klasterlarni yaratishi mumkin va bu normal hodisa bo'lib hisoblanadi. Biroq o'xshash klasterlarni turli usullar bilan yaratish klasterlashning to'g'riligini ko'rsatadi.

Klasterlash jarayoni.

Klasterlash jarayoni tanlangan usulga bog'liq va deyarli har doim iterativ bo'lib hisoblanadi. Bu qiziqarli jarayon bo'lishi mumkin va turli xil parametrlarni tanlash bo'yicha tajribalar to'plamini o'z ichiga oladi, masalan, masofa o'lchovlari, o'zgaruvchilarni standartlashtirish turi, klasterlar miqdori va boshqalar. Olingan natijalar shakllantirilgan klasterlarni aniq tavsiflash imkoniyati uchun o'ziga xos ob'ektlarni xususiyatlarini va xossalarini keyingi talqinini tadqiq qilish va o'rganishni talab qiladi.

Klasterlash usullari klasterlar soni avvaldan berilganligi yoki yo'qligi bo'yicha ham tasniflanadi. Klasterlar soni avvaldan ma'lum bo'lmagan hollarda klasterlar soni algoritmnining bajarilish davomida berilgan ma'lumotlarni taqsimlash asosida aniqlanadi.

Klasterlash – bu qandaydir to'plam elementlarini ularning o'xshashliklari asosida guruhlariga ajratishdir. Klasterlash masalasi X dan olingan ob'ektlarni boshqa klasterdan olingan ob'ektlar bilan solishtirilgandagiga qaraganda o'zaro o'xshashroq bo'lgan bir nechta qism-to'plamlarga (klasterlarga) ajratishdan iborat. Metrik fazoda "o'xshashlik" odatda masofa bilan o'lchanadi.

Klasterlash algoritmlari ob'ektlar ustida amal bajaradi. X ning har bir ob'ektiga $X = (x_1, \dots, x_d)$ belgilar vektori mos qo'yiladi.

$x_i, i = 1, \dots, d$ komponentlar ob'ektning alohida belgilari hisoblanadi. Belgilar soni d belgilar fazosining o'lchamini belgilab beradi.

Belgilarning barcha vektorlaridan tashkil topgan to'plam $M = (X_1, \dots, X_n)$ bilan belgilanadi, bu yerda $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{id})$.

Klaster M dan olingan o'zaro "bir-birlariga yaqin bo'lgan" ob'ektlarning qism-to'plamidir. X_i va X_j ob'ektlar o'rtasidagi $D(X_i, X_j)$ masofa tanlangan metrika asosida belgilar fazosida aniqlanadi.

Ravshan (kesishmaydigan) klasterlash – M dan olingan har bir X_i faqat bitta klasterga kiritiladigan klasterlashdir.

Klasterlash natijalarini tahlil qilishda foydalanilgan algoritmlarning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olish lozim.

Klasterlashning ayrim algoritmlarida ob'ektni navbatdagi klasterga kiritishda klasterlarning umumlashgan belgilaridan foydalaniladi. Bunday usullarga k -o'rtachalar iterativ algoritmi misol bo'ladi. k -o'rtachalar algoritmidagi klaster markazi tushunchasi kiritiladi. Ob'ekt va klaster o'rtasidagi masofa deganda ob'ekt va klaster markazi o'rtasidagi masofa tushuniladi. Sinflashtirilayotgan ob'ekt ungacha bo'lgan masofa eng kichik bo'lgan klasterga kiritiladi. Odatda masofa deganda Evklid masofasi tushuniladi, ya'ni ob'ektlar Evklid fazosidagi nuqtalar sifatida qaraladi.

Oddiy k -o'rtachalar algoritmiga nisbatan asosiy o'zgarish hisoblash formulasiga masshtablanuvchi A matritsa vektorlari o'rtasidagi masofaning kiritilishidan iborat. Masshtablanuvchi sifatida odatda simmetrik bo'lgan musbat aniqlangan matritsa, ya'ni xos sonlari haqiqiy va musbat bo'lgan matritsa qo'llaniladi.

Gustafson-Kessel (GK) algoritmi har bir klaster uchun moslashuvchan normadan foydalanadi, ya'ni har bir j -klaster uchun o'zining norma-yaratuvchi matritsasi mavjud. Ushbu algoritmda klasterlashda nafaqat klaster markazlarining koordinatalari va noravshan bo'laklarga bo'lish matritsasi, balki barcha klasterlar uchun norma-yaratuvchi matritsalar ham optimallashtiriladi. Bu turli geometrik shakllarga ega bo'lgan klasterlarni ajratishga imkon beradi.

GK – ellips shaklga ega bo'lgan klasterlarni topishga imkon beruvchi oddiy noravshan klasterlash algoritmidir. k – o'rtachalar algoritmi bilan birgalikda undan ko'pincha klasterlashning boshqa noravshan algoritmlarini dastlabki ishga tushirishda foydalaniladi.

Noravshan k -o'rtachalar asosiy algoritmi va Gustafson-Kessel algoritmining qiyosiy tahlili quyidagi 3.1-jadvalda keltirilgan.

Noravshan k-o'rtachalar asosiy algoritmi	Gustafson-Kessel algoritmi
<p>1-qadam. Algoritm parametrlarini kiritish: s – klasterlar soni; m – eksponensial vazn; ε - algoritmni to'xtatish parametri.</p> <p>2-qadam. Noravshan bo'laklarga bo'lish matritsasini tasodifiy asosda tarzda hosil qilish.</p>	
<p>3-qadam. Klasterlar markazini hisoblash:</p> $c_j = \frac{\sum_{i=1}^N (u_{ij})^m \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N (u_{ij})^m} .$	
<p>4-qadam. X dan olingan ob'ektlar va klasterlar markazlari o'rtasidagi masofani hisoblash:</p> $D_{ij} = \sqrt{\ x_i - c_j\ ^2} .$	<p>4-qadam. j –matritsa uchun kovariatsiya matritsasini hisoblash:</p> $A_j = \frac{\sum_{i=1}^N (u_{ij})^m \cdot (x_i - c_j)^T \cdot (x_i - c_j)}{\sum_{i=1}^N (u_{ij})^m} .$
<p>5-qadam. Noravshan bo'laklarga bo'lish matritsasi elementlarini qaytadan sanab chiqish: Agar $D_{ij} > 0$ bo'lsa</p> $u_{ij} = \frac{1}{\left(D_{ij}^2 \sum_{k=1}^K \frac{1}{D_{ik}^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}}$ <p>agar: $D_{ij} = 0$ bo'lsa</p> $u_{ik} = \begin{cases} 1, & k = j \\ 0, & k \neq j \end{cases} \quad k = 1, K .$	<p>5-qadam. X dan olingan ob'ektlar va klasterlar markazlari o'rtasidagi masofani hisoblash:</p> $D_{A_j} = (x_i - c_j) \cdot \left[(\det(A_j))^{-\frac{1}{N}} \cdot A_j^{-1} \right] \cdot (x_i - c_j)^T .$
<p>6-qadam. $\ U - U^*\ ^2 < \varepsilon$, shartni tekshirish, bu yerda U^* - algoritmning avvalgi iteratsiyasidagi noravshan bo'laklarga bo'lish matritsasi. Agar "ha" bo'lsa, 7-qadamga, aks holda–3-qadamga o'tilsin.</p>	<p>6-qadam. Noravshan bo'laklarga bo'lish matritsasi elementlarini qaytadan sanab chiqish: agar $D_{ij} > 0$ bo'lsa</p> $u_{ij} = \frac{1}{\left(D_{ij}^2 \sum_{k=1}^K \frac{1}{D_{ik}^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}}$ <p>agar: $D_{ij} = 0$ bo'lsa</p>

	$u_{ik} = \begin{cases} 1, & k = j \\ 0, & k \neq j \end{cases} \quad k = \overline{1, K}.$
7-qadam. Tamom.	7-qadam. $\ U - U^*\ ^2 < \varepsilon$, shartni tekshirish, bu yerda U^* - algoritmnining avvalgi iteratsiyasidagi noravshan bo'laklarga bo'lish matritsasi. Agar "ha" bo'lsa, 8-qadamga, aks holda—3-qadamga o'tilsin.
	8-qadam. Tamom.

Tog'li klasterlash usuli 1993 yili R.Yaner va D.Filevlar tomonidan taklif qilingan. Tog'li usul bo'yicha klasterlash noravshan hisoblanmaydi, biroq undan ko'pincha ma'lumotlardan noravshan qoidalarni sintez qilishda foydalaniladi. Ushbu usulning o'ziga xos xususiyati algoritm ish boshlagunicha klasterlar sonini berishga ehtiyojning yo'qligi hisoblanadi.

Tog'li klasterlashning birinchi qadamida klasterlarning markazlari bo'lishi mumkin bo'lgan nuqtalar aniqlanadi. Ikkinchi qadamda har bir nuqta uchun uning atrofida klasterni shakllantirish mumkinligini ko'rsatuvchi ehtimollik hisoblanadi. Klasterning ehtimoliy markazi atrofida ob'ektlar qanchalik zich joylashgan bo'lsa, uning ehtimolligi shunchalik yuqori bo'ladi. Shundan keyin eng yuqori darajadagi ehtimollikka ega bo'lgan nuqtalar orasidan klasterlarning markazlari iteratsiya asosida tanlab olinadi.

Tayanch vektorlar usuli (SVM — support vector machines) — bu sinflashtirish va regression tahlil masalalari uchun foydalaniladigan "o'qituvchi bilan o'qitish" ko'rinishidagi o'xshash algoritmlar to'plami. Bu usul chiziqli sinflashtiruvchilar oilasiga tegishli. U yana A. N. Tixonov bo'yicha regulyarizatsiyaning maxsus holati sifatida ham qaralishi mumkin. Tayanch vektorlar usulining o'ziga xos xususiyati sinflashtirish empirik xatoligining uzluksiz kamayishi va tanish oraliq'ining ortishi hisoblanadi. Shuning uchun ushbu usul yana eng katta oraliqqa ega bo'lgan sinflashtirish usuli sifatida ham mashhur.

Tayanch vektorlar usulining asosiy g'oyasi — berilgan vektorlarni yuqoriroq o'lchamga ega bo'lgan fazoga o'tkazish va ushbu fazoda eng katta tirqishga ega bo'lgan ajratuvchi gipertekislikni qidirishdan iborat. Ikkita parallel gipertekisliklar sinflarni ajratuvchi gipertekislikning har ikki tarafiga quriladi. Ajratuvchi gipertekislik bo'lib ikki parallel gipertekislikkacha bo'lgan masofani maksimalashtiruvchi gipertekislik hisoblanadi. Algoritm ushbu parallel gipertekisliklar o'rtasidagi farq yoki masofa qanchalik katta bo'lsa, sinflashtiruvchining o'rtacha xatosi shunchalik kichik bo'ladi, degan farazga asoslangan holda ishlaydi.

1963 yili Vladimir Vapnik tomonidan taklif qilingan optimal ajratuvchi gipertekislikni qurish algoritmi — chiziqli sinflashtirish algoritmi hisoblanadi. Biroq 1992 yili Bernxard Boser, Izabel Giyon va Vapniklar nochiziqli sinflashtiruvchini qurish usulini taklif qildilar, uning asosida skalyar

ko'paytirishlardan nochiziqli ajratuvchilarni qurishga imkon beruvchi kernel trick (ilk marta M.A. Ayzerman, E.M. Broverman va L.V. Rozonoerlar tomonidan potensial funksiyalar usuli uchun taklif qilingan) deb ataluvchi ixtiyoriy yadrolarga o'tish yotadi. Natijaviy algoritm chiziqli sinflashtirish algoritmiga juda o'xshab ketadi, ular o'rtasidagi farq faqatgina yuqorida keltirilgan formulalarda skalyar ko'paytma yadroning nochiziqli funksiyasi (katta o'lchamli fazodagi skalyar ko'paytma) bilan almashtirilishidan iborat. Ushbu fazoda allaqachon optimal ajratuvchi gipertekislik mavjud bo'lishi mumkin. Olinayotgan fazoning o'lchami berilgan fazo o'lchamidan katta bo'lishi mumkin, shuning uchun skalyar ko'paytmalarni solishtiruvchi almashtirish nochiziqli bo'ladi, demak berilgan fazoda optimal ajratuvchi gipertekislikka mos bo'lgan funksiya ham nochiziqli bo'ladi.

K-eng yaqin qo'shnilar (KNN - K-nearest neighbour) algoritmi ma'lumotlarni chuqur tahlil qilish, timsollarni statistik tanib olish kabi sohalardagi ko'pgina tadbirlarda foydalaniladigan fanning bir qismi hisoblanadi.

Eng yaqin qo'shnini qidirish masalasi ko'p o'lchamli metrik fazoda joylashgan elementlar to'plami orasidan ma'lum yaqinlik funksiyasiga ko'ra berilgan elementga yaqin bo'lgan elementlarni qidirib topishdan iborat.

Ob'ekt o'z qo'shnilarining ko'pchiligi ovozi bilan sinflashtiriladi. "K" doimo musbat butun son bo'ladi. Qo'shnilar to'g'ri sinflashtirilishi ma'lum bo'lgan ob'ektlar to'plamidan tanlab olinadi.

Algoritmning afzalliklari va kamchiliklari sifatida quyidagilarni keltirish mumkin.

Afzalliklari:

1. Ushbu algoritmning muhim afzalligi bo'lib o'qitishning o'quv tanlanmasini eslab qolishdan iboratligi hisoblanadi.

2. Amalga oshirishning osonligi va sozlash uchun qo'shimcha parametrlarni kiritish imkoniyati.

3. Algoritm ishlashining pretsedentli mantiqi predmet sohasidagi (tibbiyot, biometriya, huquqshunoslik) ekspertlarga yaxshi darajada tushunarli.

Kamchiliklari:

1. O'quv tanlanmasini butunligicha saqlashga to'g'ri keladi. Xotiraning samarali bo'lmagan usulda ishlatilishi.

2. Timsollarni sinflashtirishdagi operatsiyalar sonining ko'pligi. katta tanlanmalar bilan ishlashning oqibati sifatida an'anaviy NTLariga nisbatan anchagina ko'proq vaqt talab qilinadi.

Gravitatsiya asosida sinflashtirish (GBC – gravitation based classification) algoritmlarining bir qancha turlari mavjud bo'lib, ularning ba'zilari sinflar markazlarini evristik tarzda tanlab olib shu markazlar o'rtasidagi tortishish kuchidan foydalansa, ba'zilari esa sinflarga kiruvchi har bir ob'ekt hamda sinflarni ajratib turuvchi "chiziq" nuqtalarining tortishish kuchidan foydalangan holda optimal sinflash masalasini yechishga qaratilgan. Garchi ularning barchasi ham sinflash masalalarini echishga mo'ljallangan bo'lsada, har ikkala turdagi usul ham fizikaviy tortishish kuchi tamoyillaridan foydalanilgan holda yaratilgan.

So‘nggi vaqtlarda noravshan algoritmlar keng ommalashib bormoqda, ular orasida “noravshan o‘rtachalar” – FCMA (Fuzzy C-Means Algorithm) nomini olgan algoritmlar ayniqsa mashhurdir. Shuni ta‘kidlab o‘tish kerakki, k - va s -o‘rtachalar algoritmlarining eng asosiy kamchiligi klasterlarning talab qilingan soni hamda klasterlash natijalari qiymatlariga jiddiy ravishda bog‘liq bo‘ladigan boshqa sonli parametrlarni oldindan berilishining zarurligi hisoblanadi. Bundan klasterlash algoritmlaridan foydalanganda u yoki bu parametrlarni qo‘llash natijasini sonli baholashga imkon beruvchi ob‘ektlarni klasterlarga bo‘linishi sifatining qo‘shimcha mezonlariga ega bo‘lish zarurligi kelib chiqadi.

Noravshan s -o‘rtachalar algoritmining eng muhim xususiyati bo‘lib uni qo‘llash natijasida noravshan klasterlarning shakllantirilishi hisoblanadi. Bunda ob‘ektning klasterga tegishlilik darajasi tegishlilik funksiyasi yordamida ifodalanadi.

Afsuski, noravshan o‘rtachalar algoritmlari klasterlash va sinflashtirishning ko‘pgina mashhur dasturiy majmualari tarkibida mavjud emas.

Hozirgi vaqtda SNTdan ko‘proq turli tipdagi ob‘ektlarni sinflashtirish va klasterlashda foydalanilayapti. SNT algoritmlarining o‘ziga xos xususiyati SNT ni o‘qitish jarayonida kompyuterlarning tezligiga va tezkor xotirasiga yuqori talablarning qo‘yilishi hisoblanadi.

Turli tipdaligi (miqdoriy va sifatiy) belgilar bilan tavsiflanuvchi ob‘ektlarni sinflashtiruvchi tizimlarni qurishda quyidagi usullar eng ko‘p darajada qo‘llaniladi:

- binar (ravshan) mantiq usullaridan foydalanuvchi mantiqiy;
- noravshan yoki noaniq mantiq usullaridan foydalanuvchi mantiqiy;
- neyroto‘rli.

Ushbu barcha usullarning ma‘lum afzalliklari bilan bir qatorda kamchiliklari ham mavjud. Masalan, sinflashtirishning mantiqiy binar algoritmlari har doim ham yaqinlashavermaydigan juda uzun o‘qitish jarayoni bilan ajralib turadilar, neyrotarmoqli algoritmlar mavjud apriori ma‘lumotlarni hisobga olmaydi va odatda juda katta o‘quv tanlanmasini talab qiladi. Noravshan mantiq apparatidan foydalanuvchi algoritmlar parametrlar, ekspert odam tomonidan shakllantiriladigan qo‘yilayotgan noravshan qoidalar dastlabki to‘plamining to‘laligi va o‘zaro ziddiyatli emasligi kabilarga jiddiy ravishda bog‘liq bo‘ladi.

Klasterlashning asosiy algoritmlari, (masalan, Microsoft Analysis Services 2005 da amalga oshirilgan K-Means, Expectation Maximization algoritmlarining modifikatsiyalari) jumladan, har bir klasterni alohida qavariq to‘plam bilan qamrab olish imkoniyatini talab qilgan holda olinadigan klasterlarning geometrik shakllariga cheklanishlar qo‘yadi. Bunday cheklanish ushbu algoritmlardagi klasterlarning markazlarining mavjudligi (K-Means) yoki har bir klaster uchun matematik kutilma va dispersiyaning tegishli qiymatlariga ega bo‘lgan ehtimoliy taqsimot funksiyasining mavjudligi (Expectation Maximization) to‘g‘risidagi farazlar bilan qo‘yiladi. Natijada ushbu algoritmlar klasterlarni mos holda nafaqat qavariq bo‘lmagan to‘plamlarga bo‘lish, xattoki o‘zaro ichma-ich joylashgan tuzilmalarga bo‘lish imkoniyatiga ham ega bo‘lmaydi.

Ushbu muammoni quyida bayon qilinadigan klasterlarga oralarida bir-birlariga “yaqinroq” bo‘lgan elementlar ketma-ketliklari mavjud bo‘lgan elementlarni guruhlashga imkon beruvchi noravshan munosabatlar asosidagi klasterlash algoritmi hal qiladi, bu esa guruhlash to‘g‘risidagi intuitiv tasavvurlarga ham mos keladi.

Ushbu maqsadda to‘plamlarni noravshan munosabat bo‘yicha ekvivalentlik sinflariga bo‘lish asosida ixtiyoriy metrik fazoning chekli sondagi elementlari to‘plamini klasterlashga bo‘lgan yondoshuv bayon qilinadi.

Metrika asosida aniq refleksivlik va oddiy α -simmetriklik xususiyatlariga ega bo‘lgan noravshan munosabat aniqlanadi. α ning 0 dan 1 gacha bo‘lgan oraliqdagi har bir qiymati uchun berilgan to‘plamdagi ekvivalentlik munosabatini aniqlashga imkon beruvchi munosabatlarning tranzitiv halqasi quriladi. Munosabatlarning qurilishi bo‘yicha ikki elementi faqat va faqat ular o‘rtasida o‘zaro bir-birlariga “yaqin” bo‘lgan elementlar ketma-ketligi mavjud bo‘lgan hollardagina bitta ekvivalentlik sinfiga kiradi.

Klasterlanayotgan elementlar fazosi induksiyalashgan metrikali topologiyaga ega bo‘lgan vektor fazosi bo‘lgan hollarda bayon qilingan algoritm yordamida olingan klasterlar ixtiyoriy geometrik shaklga ega bo‘lishi, jumladan qabariq bo‘lmagan to‘plamlardan tashkil topishi mumkin. Bu yondashuvning klasterlashning boshqa ko‘pgina mashhur algoritmlariga (masalan, K-Means, Expectation Maximization algoritmlarining modifikatsiyalari va b.) nisbatan jiddiy afzalligi hisoblanadi.

Algoritmning afzalliklari sifatida quyidagilarni ko‘rsatish mumkin:

- Ma’lumotlarning tarkibi to‘g‘risidagi apriori farazlarga (klasterlar bo‘yicha ehtimoliy taqsimotning ko‘rinishi va parametrlari, zichlik markazlari, klasterlar soni) bo‘lgan zaruriyatning yo‘qligi.

- Klasterlar bo‘yicha bo‘lish natijalarining tushunarli talqini: o‘zaro bir-birlariga yaqin bo‘lgan elementlar ketma-ketligi mavjud bo‘lgan hollarda elementlar bitta klasterga kiritiladi.

- Klasterlarning geometrik shakllariga bo‘lgan cheklanishlarning mavjud emasligi.

- Algoritmning bajarilish vaqti kiruvchi vektorlardagi komponentlar soniga kam darajada bog‘liqligi.

3.2.1. “Eng yaqin qo‘shni” usuli

a) x_s o‘quv tanlanmada berilgan x timsolga eng yaqin bo‘lgan element aniqlanadi, ya’ni

$$\|x - x_s\| = \min \{ \|x - x_i\| : i = 1, \dots, n \}.$$

b) Shart tekshiriladi: agar $x_s \in \varpi_i$, u holda $x \in \varpi_i$ bo‘lib hisoblanadi. Ushbu holatda masofa funksiyasi quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$d(x, \varpi_i) = \min \|x - x_k\|, x_k \in \varpi_i.$$

Timsoldan etalon timsolgacha bo‘lgan masofani aniqlash

Ushbu uslub etalon timsollarga kirish va sinflarni tuzilmaviy va geometrik xossalari bilimlariga asoslangan. Bunda atrofi o‘quv tanlanma boshqa timsollarini shakllantiruvchi o‘quv tanlanma elementlari (shunday ataluvchi mos etalon timsollar) ayrim to‘plami ajratiladi. Bunday sinf ichidagi tuzilmalar klaster deb nomlanuvchi bir etalon timsoli doirasini guruhlariga ajratadi.

Agar timsollar ma’lum bo‘lsa, u holda berilgan x timsol va $\varpi_i \square$ sinf orasidagi masofani quyidagi formula bo‘yicha aniqlash mumkin

$$d(x, \varpi_i) = \min \|x - c_k\|, c_k \in \varpi_i,$$

Bu yerda ϖ_i - etalon timsol. Klasterda o‘quv tanlanmani taqsimlash masalasi klasterlash deb ataladi. Klasterlash algoritmi quyida keltiriladi.

Vektor kvantlash g‘oyasi tanib olish masalalarini hal qilish uchun klasterning barcha nuqtalari ajralib turmasligi uchun belgilar maydonini taqsimlashdan (yoki o‘quv tanlanmani) iborat. Klasterlar miqdori qoidaga ko‘ra sinflar sonlari sezilarlicha katta.

Sinflarni klasterlarga taqsimlash masalalari deganda $\{x_1, \dots, x_n\} = \mu$, o‘quv tanlanmadan shunday S_1, \dots, S_p qismto‘plamni ajratish masalasi tushuniladiki, quyidagi shartlar bajariladi:

$$S_1 \cup \dots \cup S_p = \mu; S_i \cap S_j = \emptyset \text{ barcha } i \neq j \text{ uchun.}$$

Ushbu qism to‘plamlar tez-tez foydalanib turiladigan ayrim optimal xossalarga ega, masalan klasterlar dispersiyasining minimalligi, ya’ni uning markazi atrofida klaster elementlarining tarqalish darajasini tavsiflovchi belgi (etalon timsol). Ixtiyoriy klasterdagi etalon timsol – klasterning markazidir:

$$c_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x_k \in S_i} x_k.$$

Klaster markazi atrofi elementlarini taqsimlash kattaligi (klaster dispersiyasi) quyidagi formula bo‘yicha hisoblanishi mumkin:

$$\Delta_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{x_k \in S_i} \|x_k - c_i\|^2,$$

bu yerda N_i –i –klasterdagi elementlar soni.

Elementlar to‘plamini klasterlarga taqsimlashni muvaffaqiyatli deb hisoblash mumkin, agar $Q = \sum_{i=1}^p \Delta_i$ funksional minimal bo‘lsa.

3.2.2. k-guruh ichidagi o'rtacha algoritmi (k-means)

Ushbu algoritm o'zi bilan klaster markazlarini bosqichma-bosqich (iterativ) topish va Q funksional kamayguncha o'quv tanlanmani klasterlarga bo'lishni ifodalaydi.

1. O'quv tanlanmadan bir qancha timsollarni belgilaymiz va ularni etalon timsollar - $c_1^{(0)}, \dots, c_p^{(0)}$. klasterlar markazi deb nomlaymiz.

2. Barcha yaqin qo'shnilar usuli bo'yicha tanlanmani p klasterlarga (Voronoy katakchasi) taqsimlaymiz. Bir qancha klasterlar $s_1^{(0)}, \dots, s_p^{(0)}$ hosil bo'ladi.

3. $Q_{(0)}$ funksional qiymatini hisoblaymiz.

4. Klasterlarni yangi markazlarini 2 punktga o'tgan holda $c_i^{(1)} = \frac{1}{|S_i^{(0)}|} \sum_{x_k \in S_i^{(0)}} x_k$

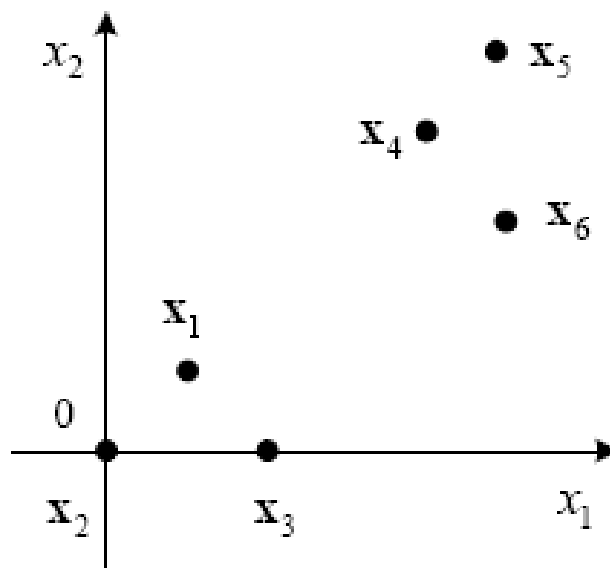
formula bo'yicha hisoblaymiz. Ushbu algoritmning to'xtash sharti bo'lib $Q_{(k)} = Q_{(k-1)}$ tenglikni k-qadamda bajarish bo'lib hisoblanadi.

Izoh.

1. To'xtash sharti o'rnida $Q_{(k)} = Q_{(k-1)}$ boshqa shartlardan ham foydalanish mumkin, masalan, klaster markazlarini o'zgarmaslik holati sharti.

2. k-means algoritmi Q funksionalni global emas, balki lokal minimallashtirishni amalga oshiradi. Shuning uchun ham "yaxshi" klasterlash kafolatini ushbu algoritm bermaydi.

1. n nuqtalarni k klasterlarga bo'lish soni $n^k / k!$ ga nisbatan katta. Shuning uchun ham k-means algoritmi juda sekin birlashishi mumkin.



3.1-rasm

Misol. 2R tekislikda $x_1(1;1)$, $x_2(0;0)$, $x_3(2;0)$, $x_4(4;4)$, $x_5(5;5)$, $x_6(5;3)$, nuqtalar – timsollar, (3.1-rasm) ushbu timsollarni ikkita sinf bo'yicha klasterizatsiyasi berilgan bo'lsin. Buning uchun ko'rib chiqilgan algoritmning ketma-ket qadamlarini bajaramiz.

1. Klasterlarni boshlang'ich markazlari sifatida $c_1^{(0)} = x_1$ va $c_2^{(0)} = x_2$ timsollarni tanlab olamiz. U holda $\{x_1, \dots, x_6\}$ tanlanmani yaqin qo'shnilar usuli bilan ikkita qism to'plamga bo'lgan holda boshlang'ich klasterlarni olamiz

$$S_1^{(0)} = \{x_1, x_3, x_4, x_5, x_6\} \text{ va } S_2^{(0)} = \{x_2\}.$$

2. Klasterlarni yangi markazlarini hisoblaymiz:

$$c_1^{(1)} = \frac{1}{5} \begin{bmatrix} x_{11} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} \\ x_{12} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} \end{bmatrix} = \frac{1}{5} \begin{bmatrix} 1 + 2 + 4 + 5 + 5 \\ 1 + 0 + 4 + 5 + 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.4 \\ 2.6 \end{bmatrix}; \quad c_2^{(1)} = x_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

3. $c_1^{(0)} \neq c_1^{(1)}$ va $c_2^{(0)} = c_2^{(1)}$ ni qiyoslaymiz. Algoritmni bajarishda davom etamiz.

4. $\{x_1, \dots, x_6\}$ tanlanmani yaqin qo'shnilar usuli bo'yicha yangi markazlarga ega ikkita qism to'plamga taqsimlaymiz, quyidagi klasterlarga ega bo'lamiz:

$$S_1^{(1)} = \{x_4, x_5, x_6\} \text{ va } S_2^{(1)} = \{x_1, x_2, x_3\}.$$

5. Klasterlarni yangi markazlarini qaytadan hisoblaymiz:

$$c_1^{(2)} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} x_{41} + x_{51} + x_{61} \\ x_{42} + x_{52} + x_{62} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 4 + 5 + 5 \\ 4 + 5 + 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14/3 \\ 4 \end{bmatrix}, \quad c_2^{(2)} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} x_{11} + x_{21} + x_{31} \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 + 0 + 2 \\ 1 + 0 + 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1/3 \end{bmatrix}.$$

6. $c_1^{(1)} \neq c_1^{(2)}$ va $c_2^{(1)} \neq c_2^{(2)}$ ni qiyoslaymiz. Algoritmni bajarishni davom ettiramiz.

7. $\{x_1, \dots, x_6\}$ tanlanmani yaqin qo'shnilar usuli bo'yicha yangi markazlarga ega ikkita qism to'plamga taqsimlaymiz, quyidagi klasterlarga ega bo'lamiz $S_1^{(1)} = \{x_4, x_5, x_6\}$ va $S_2^{(1)} = \{x_1, x_2, x_3\}$.

8. Klasterlarni yangi markazlarini qaytadan hisoblaymiz $c_1^{(3)} \neq c_1^{(2)}$ va $c_2^{(3)} \neq c_2^{(2)}$.

Algoritmni to'xtatish.

Algoritmni amaliy jihatdan amalga oshirishda quyidagi muammolar yuzaga keladi:

- 1) klasterlar sonini topish;
- 2) algoritmning ish sifati klasterlar markazlarini boshlang'ich joylashuviga bog'liq

4. NORAVSHAN TO'PLAMLAR USULI

1-ta'rif. Noravshan to'plamlar.

X elementlari x orqali belgilangan mukammal to'plam bo'lsin. A to'plamda X dagi elementlarning tegishliligi X dan olingan $\{0,1\}$ dagi μ_A tavsifli funksiya sifatida qaraladi, ya'ni

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{agar } x \in A, \\ 0, & \text{agar } x \notin A. \end{cases}$$

$\{0,1\}$ to'plam baholar to'plami deyiladi.

Agar $\{0,1\}$ to'plam emas, $[0,1]$ haqiqiy oraliq baholar to'plami deb olinsa, u holda A noravshan to'plam bo'ladi. Bunday holatda $\mu_A(x)$ tegishlilik funksiyasi deb ataladi. $\mu_A(x)$ 1 ga qanchalik yaqin bo'lsa, x shunchalik $A[1]$ ga tegishli bo'ladi.

A noravshan to'plam quyidagi juftliklar to'plami bilan xarakterlanishi mumkin:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\}$$

Umiy holda, $A \subseteq X$ noravshan to'plam deb $(x, \mu_A(x))$ ko'rinishidagi juftliklar majmuiga aytiladi, bu yerda $x \in X, \mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ (ayrim hollarda $\mu_A(x): X \rightarrow L$ - to'r turidagi tuzilma).

Noravshan to'plam chekli va cheksiz bo'lishi mumkin. X-chekli to'plam, ya'ni $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ bo'lsa, u holda X dagi noravshan to'plam quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$A = \mu_A(x_1) / x_1 + \dots + \mu_A(x_n) / x_n = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) / x_i.$$

X – cheksiz bo'lsa, u holda

$$A = \int_x \mu_A(x) / x$$

Misol. A noravshan to'plam quyidagi ko'rinishda berilgan bo'lsin:

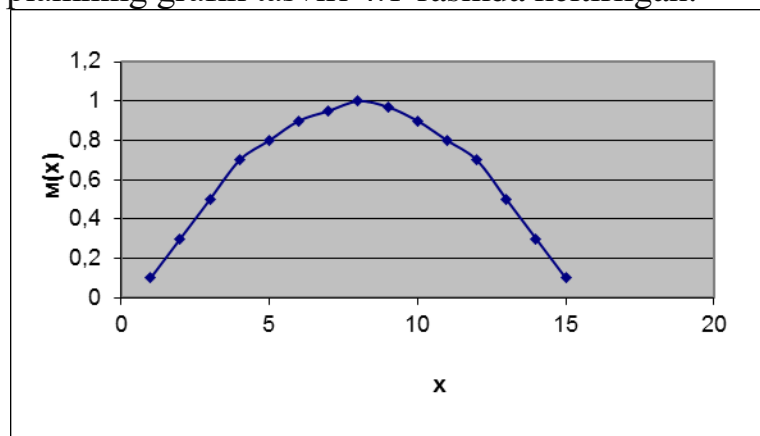
$$A = 0.1/1 + 0.3/2 + 0.5/3 + 0.7/4 + 0.8/5 + 0.9/6 + 0.95/7 + 1.0/8 + 0.97/9 + 0.9/10 + 0.8/11 + 0.7/12 + 0.5/13 + 0.3/14 + 0.1/15.$$

U holda shu to'plamning klassik versiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$A = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\} \text{ yoki}$$

$$A = 1/1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9 + 1/10 + 1/11 + 1/12 + 1/13 + 1/14 + 1/15.$$

A noravshan to'plamning grafik tasviri 4.1-rasmda keltirilgan.



4.1-rasm. Noravshan to'plam

Noravshan to'plam analitik shaklda tasvirlanishi mumkin.

Misol..

$A = \ll 8 \text{ ga yaqin haqiqiy son} \gg$:

$$A = \int_R \frac{1}{1 + (x + 8)^2} / x.$$

Berilgan turdagi noravshan to'plam, ya'ni uning tegishlilik funksiyasi oddiy (crisp) funksiya bo'lgan yoki tegishlilik darajasi oddiy sonlar bo'lgani 1-turdagi noravshan to'plam deyiladi. Noravshan to'plamning tegishlilik funksiyasi o'zi ham noravshan to'plam bo'lishi mumkin. U holda 2 turdagi noravshan to'plam tariqasida aniqlanadi

$$\mu : X \times [0, 1] \rightarrow [0, 1].$$

M turdagi noravshan to'plam deb, tegishlilik funksiyasining qiymatlari m-1 turdagi noravshan to'plam bo'lgan X dagi noravshan to'plamga aytiladi.

Noravshan to'plamlarning tegishlilik funksiyalarining qiymatlari tasodifiy o'zgaruvchi bo'lgan tur ko'rib chiqilsa, u holda X dagi A ehtimolli to'plam quyidagi xarakterli funksiya yordamida aniqlanadi

$$\mu_A : (x, \omega) \in X \times \Omega \rightarrow \mu(x, \omega) \in Q_c,$$

bu yerda $\mu_A(x^*)$ - har bir $x \in X$ uchun (B, B_c) -o'lchanadigan funksiya.

Noravshan to'plamlarning boshqa kengaytmalari ham mavjud. Agar $\forall x \in X, \exists ! x^*$ ga nisbatan

$$\mu(x^*) \geq \mu(x),$$

$$\mu(x) \geq \mu(x^*)$$

shartlar bajarilsa, u holda x^* ni $\mu(x)$ tegishlilik funksiyasining maksimal va minimal qiymati deyiladi

$$\mu(x^*) = \max_{x \in X} \mu(x)$$

$$\mu(x^*) = \min_{x \in X} \mu(x)$$

Agar yuqorida keltirilgan shartlarni qanoatlantiruvchi mavjud bo'lsa, u holda quyidagi masalani ko'rib chiqish mumkin: X dan shunday x_1, x_2, \dots , ketma-ketlikni topish mumkinki, unga nisbatan

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \mu(x_i) = \sup_{x \in X} \mu(x)$$

yoki

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \mu(x_i) = \inf_{x \in X} \mu(x)$$

shartlar bajariladi. inf va sup mos ravishda eng katta quyi va eng kichik yuqori chegarani anglatadi.

Ikkita A va B noravshan to'plamlar teng deyiladi, agar ularning tegishlilik funksiyasi teng, ya'ni

$$\forall x \in X, \mu_A(x) = \mu_B(x), A = B$$

bo'lsa.

2-ta'rif. To'plam tashuvchisi, o'tish nuqtasi va singleton.

Noravshan to'plamning tashuvchisi $\mu_A(x) > 0$ ga ega bo'lgan x elementlardan iboratdir:

$$\text{sup } pA = \{x \in X, \mu(x) > 0\}.$$

$\mu_A(x) = \frac{1}{2}$ bo'lgan $x \in X$ element A noravshan to'plamning o'tish nuqtasi deyiladi.

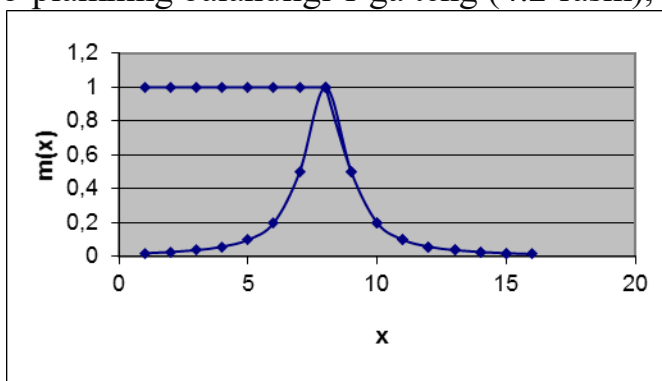
Tashuvchisi X dan olingan $\mu_A = 1.0$ li bitta nuqta bo'lgan noravshan to'plam singleton deyiladi.

3-ta'rif. Noravshan to'plamning balandligi, normal noravshan to'plam.

A noravshan to'plamning balandligi deb tegishlilik funksiyasining eng yuqori chegarasiga aytiladi:

$$\text{hgt}(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x)$$

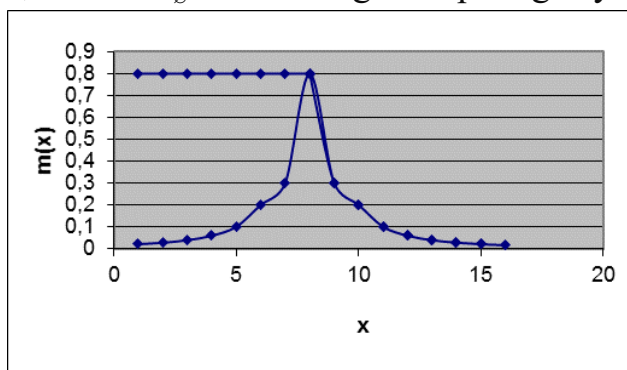
F noravshan to'plam, agar $\exists x \in X, \mu_A(x) = 1$ bo'lsa normal hisoblanadi. A normal noravshan to'plamning balandligi 1 ga teng (4.2-rasm), ya'ni $\text{hgt}(A)=1$.



4.2-rasm. Normal noravshan to'plam

Agar $\max(\mu_A(x), \min(\mu_A(x), \mu_B(x))) = \mu_A(x) \Rightarrow A \cup (A \cap B) = A$ bo'lsa, u holda A noravshan to'plam subnormal deyiladi (4.3-rasm).

Bo'sh to'plam \emptyset deb, $\forall x \in X, \mu_{\emptyset}(x) = 0$ bo'lgan to'plamga aytiladi.



4.3-rasm. Subnormal noravshan to'plam

Misol. Noravshan to'plam berilgan (4.4-rasm).

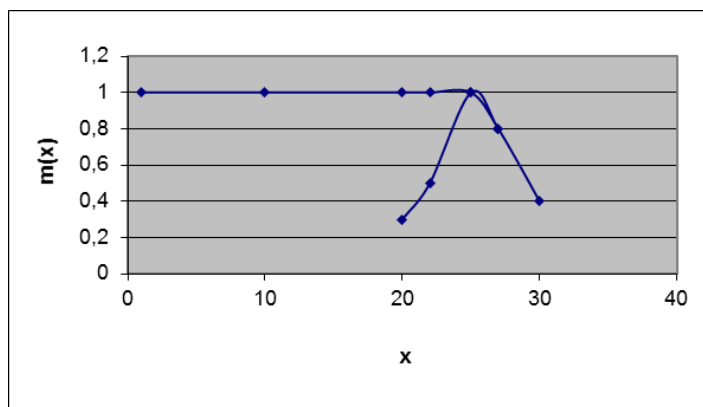
$$A = \{0.3/20 + 0.5/22 + 1.0/25 + 0.8/27 + 0.4/30\}$$

Bu yerda

$$X = \{15, 20, 22, 25, 27, 30, 33, 35\} - \text{mukammal,}$$

$$\text{Supp}A = \{20, 22, 25, 27, 30\},$$

A – normal to'plam, ya'ni $\exists 25 \in X, \mu_A(25) = 1$.



4.4-rasm. Noravshan to'plam

4-ta'rif. α - darajali noravshan to'plam.

Tegishlilik qiymatlari ma'lum $\alpha \in [0,1]$ ostonadan yuqori bo'lgan elementlarning oddiy to'plami A to'plamning α -kesimi A^α deyiladi:

$$A^\alpha = \{x \in X, \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

Qat'iy α -kesim

$$A^\alpha = \{x \in X, \mu_A(x) > \alpha\}$$

tariqasida aniqlanadi.

Misol. Noravshan to'plam berilgan bo'lsin.

$$A = 0.2/5 + 0.4/6 + 0.6/7 + 0.8/8 + 0.9/9 + 1.0/10 + 0.9/11 + 0.8/12 + 0.6/13 + 0.4/14 + 0.2/15.$$

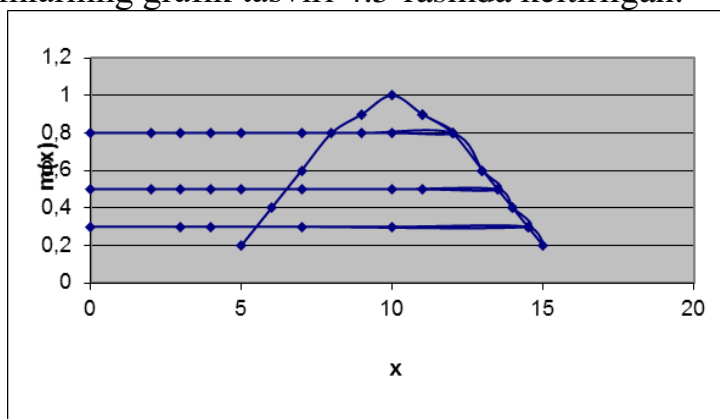
Agar $\alpha = 0.3$, $\alpha = 0.5$ va $\alpha = 0.8$ bo'lsa, u holda α -darajali to'plamlarning ko'rinishi quyidagicha:

$$A^{0.3} = 0.4/6 + 0.6/7 + 0.8/8 + 0.9/9 + 1.0/10 + 0.9/11 + 0.8/12 + 0.6/13 + 0.4/14,$$

$$A^{0.5} = 0.6/7 + 0.8/8 + 0.9/9 + 1.0/10 + 0.9/11 + 0.8/12 + 0.6/13,$$

$$A^{0.8} = 0.9/9 + 1.0/10 + 0.9/11.$$

α -darajali to'plamlarning grafik tasviri 4.5-rasmda keltirilgan.



4.5-rasm. Noravshan to'plamning α - darajali to'plamlari

A^α α -darajali to'plam quyidagicha aniqlanadi

$$A^\alpha = \{x, \mu_{A^\alpha}(x) = \mu_A(x) / x \in A^\alpha, \alpha \in [0,1]\}$$

Bu yerda μ_α - A noravshan to'plamning tegishlilik funksiyasi va μ_{A^α} - A^α α - darajali noravshan to'plamning tegishlilik funksiyasi, ayni vaqtda A^α - quyidagi shakldagi α -darajali to'plam

$$A^\alpha = \{x / \mu_A(x) \geq \alpha, x \in X\}$$

Misol. A noravshan to'plam berilgan bo'lsin:

$$A=0.2/30+0.4/35+0.6/40+0.8/45+1/50+0.7/55.$$

$A^{\alpha=0.5}$ 0.5-darajali to'plam deb, quyidagi to'plamga aytiladi

$$A^{\alpha=0.5} = 0.6/40+0.8/45+1/50+0.7/55.$$

4.1. Noravshan sonlar va noravshan sonlar ustida amallar

Avvalo noravshan sonlarning asosiy ta'riflarini va ular ustidagi amallarni ko'rib chiqamiz [1-4].

5-ta'rif. Noravshan son. Haqiqiy to'g'ri chiziqdagi noravshan A soni- $\mu_A : R \rightarrow [0,1]$ tegishlilik funksiyasi bilan xarakterlanuvchi noravshan to'plamdir.

A noravshan son quyidagicha aniqlanishi mumkin

$$A = \int_R \mu_A(x) / x, \quad (4.1)$$

Bu yerda \int - barcha $x \in R$ bo'yicha birlashtirish ishorasi.

6-ta'rif. Noravshan sonning qavariqligi. Haqiqiy to'g'ri chiziqdagi A noravshan son haqiqiy $x, y, z \in R$ sonlarga nisbatan $x \leq y \leq z$ da

$$\mu_A(y) \geq \min(\mu_A(x), \mu_A(z)) \quad (4.2)$$

Munosabat bajarilganda qavariq deyiladi.

7-ta'rif. Noravshan sonning normalligi. haqiqiy o'qdagi A noravshan son normal deyiladi, agar $\max_x \mu_A(x) = 1$ bo'lsa.

8-ta'rif. Noravshan sonning chegaralari. Agar a songa nisbatan quyidagi munosabat bajarilsa

$$\forall \delta \mu_A = 0; \quad \mu(a - \delta) \neq 0, \mu(a + \delta) \neq 0, \quad (4.3)$$

U holda u tegishlilik funksiyaning chegarasi deyiladi. Agar bunday chegaralar ikkita: yuqori (b) va quyi(a) ekanligini hisobga olsak, A noravshan sonni quyidagi ko'rinishda yozib olish mumkin

$$A = \int_a^{\bar{a}} (x - a) / x + \int_{\bar{a}}^b (b - x) / x. \quad (4.4)$$

Umumlashtirish tamoyili. Haqiqiy R to'g'ri chiziqda A va B noravshan sonlar berilgan bo'lsin. A va B lar ustida * amalini quyidagi munosabatdan foydalangan holda amalga oshirish mumkin

$$A * B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) / (x * y). \quad (4.5)$$

* gipotetik amalining o'rniga arifmetik +, -, \times , : lardan foydalangan holda A va B ustidagi to'rtta arifmetik amalni hosil qilib olish mumkin:

$$A + B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) / (x + y). \quad (4.6)$$

$$A - B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) / (x - y). \quad (4.7)$$

$$A \times B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) / (x \times y). \quad (4.8)$$

$$A : B = \int_R \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) / (x : y) . \quad (4.9)$$

(7.4) dan foydalangan holda quyidagini hosil qilib olish mumkin

$$\begin{aligned} A * B &= \left(\int_a^{\bar{a}} \mu_A(x) / x + \int_{\bar{a}}^b \mu_A(x) / x \right) * \left(\int_a^{\bar{b}} \mu_B(x) / x + \int_{\bar{b}}^{b'} \mu_B(x) / x \right) = \\ &= \int_{a''}^{\bar{a} * \bar{b}} \mu_{A*B}(x) / x + \int_{\bar{a} * \bar{b}}^{b''} \mu_{A*B}(x) / x, \end{aligned} \quad (4.10)$$

Bu yerda a'', b'' a, b dan hosil qilib olinadi a', b' esa ma'lum amalga qarab hosil qilinadi, $\mu_{A*B}(x)$ amalga qarab va μ ning normallashtirishiga qarab aniqlanadi. A+V ni hisoblaymiz

$$\begin{aligned} A + B &= \left(\int_a^{\bar{a}} \mu_A(x) / x + \int_{\bar{a}}^b \mu_A(x) / x \right) + \left(\int_a^{\bar{b}} \mu_B(x) / x + \int_{\bar{b}}^{b'} \mu_B(x) / x \right) = \\ &= \int_{a''}^{\bar{c}} \mu_C(x) / x + \int_{\bar{c}}^{b''} \mu_C(x) / x = C, \end{aligned} \quad (4.11)$$

Bu yerda

$$\bar{c} = \bar{a} + \bar{b}, \quad a'' = a + a', \quad b'' = b + b'. \quad (4.12)$$

μ_C $\mu_C = k_1 x + k_2$ ko'rinishda aniqlanadi. Normallashtirishdan kelib chiqqan holda $a'' \leq x \leq \bar{c}$ ga nisbatan [4] ni quyidagicha yozib olish mumkin

$$A + B = \int_{a''}^{\bar{c}} \frac{x - a''}{\bar{c} - a''} / x + \int_{\bar{c}}^{b''} \frac{b'' - x}{b'' - \bar{c}} / x = C. \quad (4.13)$$

Qolgan arifmetik amallar uchun shunga o'xshash usulda quyidagilarni hosil qilish mumkin [4]

$$A - B = \int_{a''}^{\bar{c}} \frac{x - a''}{\bar{c} - a''} / x + \int_{\bar{c}}^{b''} \frac{b'' - x}{b'' - \bar{c}} / x = C, \quad (4.14)$$

Bu yerda

$$a'' = a - b', \quad b'' = b - a', \quad \bar{c} = \bar{a} - \bar{b}. \quad (4.15)$$

Tegishlilik funksiyasini $\mu_c = k_1 \sqrt{x} + k_2$ ko'rinishda qabul qilib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$A * B = \int_{a''}^{\bar{c}} \frac{\sqrt{x} - \sqrt{a''}}{\sqrt{\bar{c}} - \sqrt{a''}} / x + \int_{\bar{c}}^{b''} \frac{\sqrt{b''} - \sqrt{x}}{\sqrt{b''} - \sqrt{\bar{c}}} / x = C, \quad (4.16)$$

Bu yerda

$$a'' = a * a', \quad b'' = b * b', \quad \bar{c} = \bar{a} * \bar{b}. \quad (4.17)$$

μ_C tegishlilik funksiyasini $\mu_c = \frac{k_1}{x} + k_2$ ko'rinishda qabul qilib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$A : B = \int_{a''}^{\bar{c}} \frac{(x - a'')\bar{c}}{(\bar{c} - a'')x} / x + \int_{\bar{c}}^{b''} \frac{(b'' - x)\bar{c}}{(b'' - \bar{c})x} / x = C, \quad (4.18)$$

Bu yerda

$$a'' = a' : a, \quad b'' = b' : b, \quad \bar{c} = \bar{b} : \bar{a}. \quad (4.19)$$

Misollar. A=taxminan $6 = \tilde{6}$; V=taxminan $8 = \tilde{8}$.

$$\tilde{6} = \int_5^6 (x-5)/x + \int_6^7 (7-x)/x,$$

$$x=5 \text{ da: } \tilde{6} \Big|_{x=5} = \int_5^6 (x-5)_{x=5} = 5-5=0;$$

$$x=5,5 \text{ da: } \tilde{6} \Big|_{x=5,5} = \int_5^6 (x-5)_{x=5,5} = 5,5-5=0,5;$$

$$x=6 \text{ da: } \tilde{6} \Big|_{x=6} = \int_5^6 (x-5)_{x=6} = 6-5=1;$$

$$x=6,5 \text{ da: } \tilde{6} \Big|_{x=6,5} = \int_6^7 (7-x)_{x=6,5} = 7-6,5=0,5;$$

$$x=7 \text{ da: } \tilde{6} \Big|_{x=7} = \int_6^7 (7-x)_{x=7} = 7-7=0.$$

Demak $\tilde{6} = \{0/5; 0,5/5,5; 1/6; 0,5/6,5; 0/7\}$.

$\tilde{8}$ uchun $x=6, 7, 8, 9$ va 10 da shunga o'xshash usulda quyidagiga ega bo'lish mumkin

$$\tilde{8} = \{0/6; 0,5/7; 1/8; 0,5/9; 0/10\}.$$

Noravshan sonlarning grafiklari 4.6-rasmda keltirilgan. Quyi va yuqori chegaralar hamda ushbu sonlarning balandliklari quyidagicha: $\tilde{6}$ uchun: $a=5, b=7, \bar{a}=6$; $\tilde{8}$ uchun: $a'=6, b'=10, \bar{b}=8$. Quyida $\tilde{6}$ va $\tilde{8}$ ustidagi to'rtta amal keltirilgan.

Qo'shish. Avvalo (4.12) ga ko'ra $(\tilde{6} + \tilde{8})$ yig'indining chegaralari va balandligini hisoblaymiz:

$$a'' = a + a' = 5 + 6 = 11; \quad b'' = b + b' = 7 + 10 = 17; \quad \bar{c} = \bar{a} + \bar{b} = 6 + 8 = 14.$$

(4.13) ni hisobga olgan holda quyidagicha yozib olish mumkin

$$\tilde{6} + \tilde{8} = \int_{11}^{14} \frac{x-11}{3} \Big/ x + \int_{14}^{17} \frac{17-x}{3} \Big/ x = 1\tilde{4}$$

$1\tilde{4}$ ni har xil x larda hisoblab: $x=12,5; x=15,5$ $1\tilde{4} = \{0/11; 0,5/12,5; 1/14; 0,5/15; 0/17\}$ larni hosil qilib olish mumkin, ular 7.1-rasmda grafik tasvirlangan.

Ayirish. $\tilde{8} - \tilde{6}$ ayirmaning chegaralari va balandligi (4.15) ga binoan quyidagicha aniqlanadi:

$$a'' = a' - a = 6 - 5 = 1; \quad b'' = b' - b = 10 - 7 = 3; \quad \bar{c} = \bar{b} - \bar{a} = 8 - 6 = 2.$$

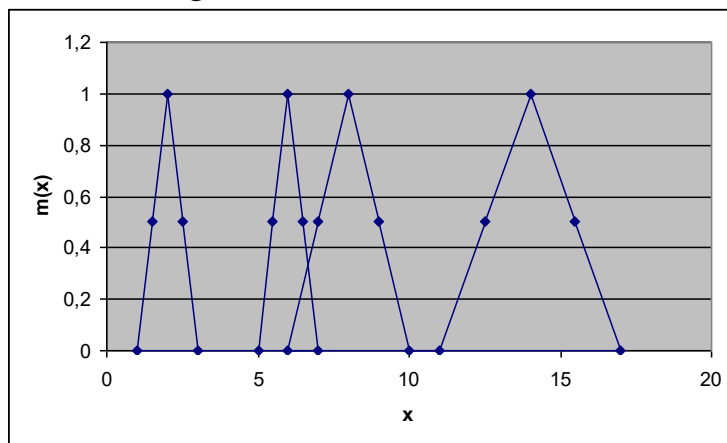
(4.15) ni hisobga olib, quyidagilarni hosil qilish mumkin

$$\tilde{8} - \tilde{6} = \int_1^2 \frac{x-1}{3-2} \Big/ x + \int_2^3 \frac{3-x}{3-2} \Big/ x = \tilde{2}$$

Tegishlilik funksiyasining $x=1,5$ va $x=2,5$ dagi qiymatlari mos ravishda 0,5 va 0,5 ga teng bo'ladi. U holda

$$\tilde{2} = \{0/1; 0,5/1,5; 1/2; 0,5/2,5; 0/3\}$$

U 4.6-ramsda grafik tasvirlangan.



4.6. Noravshan sonlar:

TAXMINAN 2. TAXMINAN 6.

TAXMINAN 8. TAXMINAN 14.

Ko'paytirish.

(4.17)

munosabat

orqali

$\tilde{6} \times \tilde{8} : a'' = a \times a' = 5 \times 6 = 30; \quad b'' = b \times b' = 7 \times 10 = 70; \quad \bar{c} = \bar{a} \times \bar{b} = 6 \times 8 = 48$
cheagara va balandlikni aniqlaymiz.

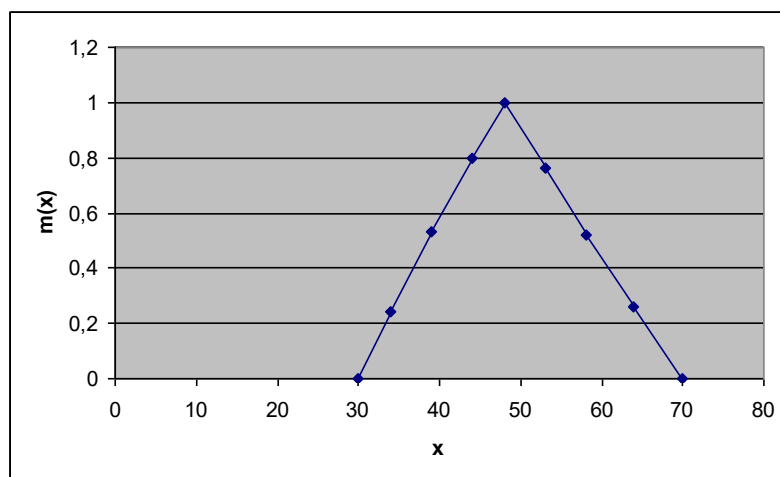
(4.16) ni hisobga olib $\mu_{\tilde{6} \times \tilde{8}}$ tegishlilik funksiyasini quyidagicha tasvirlash mumkin

$$\begin{aligned} \tilde{6} \times \tilde{8} &= \int_{30}^{48} \frac{\sqrt{x} - \sqrt{30}}{\sqrt{48} - \sqrt{30}} \Big/ x + \int_{48}^{70} \frac{\sqrt{70} - \sqrt{x}}{\sqrt{70} - \sqrt{48}} \Big/ x = \\ &= \int_{30}^{48} \frac{\sqrt{x} - 5,48}{1,45} \Big/ x + \int_{48}^{70} \frac{8,37 - \sqrt{x}}{1,44} \Big/ x = 4\tilde{8} \end{aligned}$$

Tegishlilik funksiyasining $x=34; x=39; x=53; x=58$ nuqtalardagi qiymati mos ravishda 0,24; 0,53; 0,76; 0,52 ga teng bo'ladi. Shunday qilib

$$\tilde{6} \times \tilde{8} = 4\tilde{8} = \{0/30; 0,24/34; 0,53/39; 0,8/44; 1/48; 0,76/53; 0,52/58; 0,26/64; 0/70\}$$

U 4.7-rasmda grafik tasvirlangan.



4.7-rasm. Noravshan son
TAXMINAN 48.

Bo'lish. (4.19) ga ko'ra $\tilde{\delta}$ ni $\tilde{\epsilon}$ ga bo'lish natijasining chegarasi va balandligi quyidagiga teng bo'ladi

$$a'' = a : b' = 6 : 7 = 0,86; b'' = b : a' = 10 : 5 = 2,0; \bar{c} = \bar{b} : \bar{a} = 8 : 6 = 1,33$$

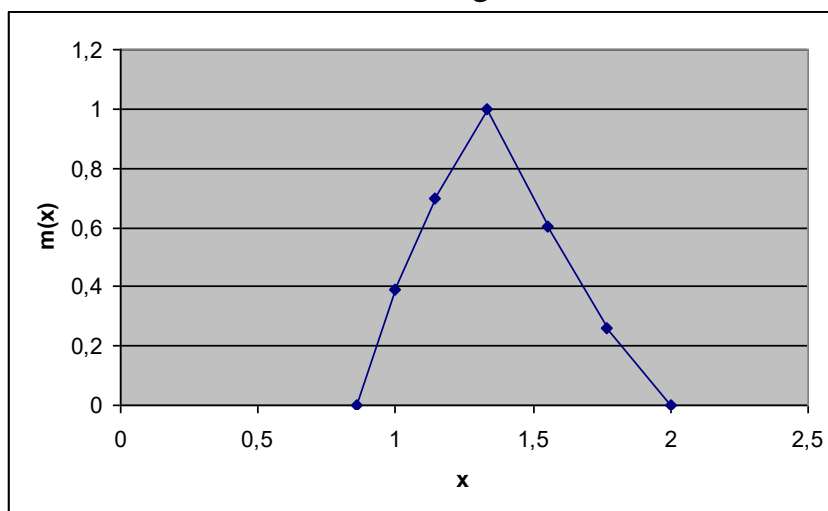
Tegishlilik funksiyasi quyidagicha aniqlanadi

$$\begin{aligned} \tilde{\delta} : \tilde{\epsilon} &= \int_{0,86}^{1,33} \frac{(x - 0,86) \cdot 1,33}{(1,33 - 0,86) \cdot x} \Big/ x + \int_{1,33}^{2,0} \frac{(2,0 - x) \cdot 1,33}{(2,0 - 1,33) \cdot x} \Big/ x = \\ &= \int_{0,86}^{1,33} \frac{(x - 0,86) \cdot 1,33}{0,47 \cdot x} \Big/ x + \int_{1,33}^{2,0} \frac{(2,0 - x) \cdot 1,33}{0,67 \cdot x} \Big/ x = 1,3\tilde{3}. \end{aligned}$$

Tegishlilik funksiyasining $x=1,0$; $x=1,14$; $x=1,55$; $x=1,77$ nuqtalardagi qiymatlarini hisoblab va mos ravishda 0,39; 0,70; 0,60; 0,26 natijalarni olib, quyidagicha yozib olish mumkin

$$\tilde{\delta} : \tilde{\epsilon} = \{0 / 0,86; 0,39 / 1,0; 0,70 / 1,14; 1 / 1,33; 0,60 / 1,55; 0,26 / 1,77; 0 / 2,0\}$$

U grafik ravishda 4.8-rasmda tasvirlangan.



4.8-rasm. Noravshan son
TAXMINAN 1,33

Quyida darajali ko'phadlardan foydalanishga asoslangan noravshan sonlar ustida amallar bajarishning boshqa usulini ko'rib chiqamiz, undagi hisoblashlar

umumlashtirish tamoyiliga asoslangan amallarga nisbatan soddalashtirilgan [4-6]. Bunda qo'shimcha ravishda quyidagi ta'riflardan foydalanish lozim [4]: R dagi * binary amal o'suvchi deyiladi, agar $(x_1 > y_1, x_2 > y_2) \Rightarrow x_1 * x_2 > y_1 * y_2$ bo'lsa. * amal kamayuvchi deyiladi, agar $(x_1 > y_1, x_2 > y_2) \Rightarrow x_1 * x_2 < y_1 * y_2$.

Agar μ_A va μ_B tegishlilik funksiyali noravshan A va B sonlar berilgan bo'lsa, u holda ular ustidagi umumlashgan * amalning natijasi quyidagi tegishlilik funksiyasi orqali berilgan $C = A * B$ noravshan sondir

$$\mu_C(z) = \sup_{Z=X*Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) . (4.20)$$

Aniqroq qilib aytganda, to'rtta arifmetik amalni quyidagicha tasvirlash mumkin:

Qo'shish.

$$\mu_{A+B}(z) = \sup_{Z=X+Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_X \min(\mu_A(x), \mu_B(z-x)) . (4.21)$$

Ayirish.

$$\mu_{A-B}(z) = \sup_{Z=X-Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_X \min(\mu_A(x), \mu_B(x-z)) . (4.22)$$

Ko'paytirish.

$$\mu_{A \times B}(z) = \sup_{Z=X \times Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_X \min(\mu_A(x), \mu_B(z/x)), x \neq 0 . (4.23)$$

Bo'lish.

$$\begin{aligned} \mu_{A:B}(z) &= \sup_{Z=X:Y} \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) = \sup_X \min(\mu_A(x), \mu_B(x/z)) = \\ &= \sup_Y \min(\mu_A(yz), \mu_B(y)) . \end{aligned} (4.24)$$

Agar A va B noravshan sonlar quyidagicha tasvirlansa

$$A = \{\omega_1 / x_{11}; \omega_2 / x_{21}; \omega_1 / x_{12}\}, B = \{\omega_1 / y_{11}; \omega_2 / y_{21}; \omega_1 / y_{12}\},$$

U holda ular ustidagi * umumlashgan amalning natijasi quyidagi noravshan son bo'ladi

$$C = A * B = \{\omega_1 / (x_{11} * y_{11}); \omega_2 / (x_{21} * y_{21}); \omega_1 / (x_{12} * y_{12})\} . (4.25)$$

Bu * amal o'suvchi yoki kamayuvchi bo'lganida o'rinlidir. Ayirish va bo'lish amallari bunday emas, lekin ularni quyidagicha tasvirlash mumkin [4]:

$$A - B = A + (-B); A : B = A \times (B^{-1}) . (4.26)$$

Misollar. Ikkita noravshan son berilgan

$$\tilde{2} = \{0/1; 0,5/1,5; 1/2; 0,5/2,5; 0/3\},$$

$$\tilde{3} = \{0/2; 0,5/2,5; 1/3; 0,5/3,5; 0/4\} .$$

Quyida ular ustida to'rtta umumlashgan amal bajariladi (+, -, x, :).

Qo'shish.

$$\begin{aligned} \tilde{3} + \tilde{2} &= \{0/(2+1); 0,5/(2,5+1,5); 1/(3+2); 0,5/(3,5+2,5); \\ &0/(4+3)\} = \{0/3; 0,5/4; 1/5; 0,5/6; 0/7\} . \end{aligned}$$

Ko'paytirish.

$$\tilde{3} \times \tilde{2} = \{0/2; 0,5/3,75; 1/6; 0,5/8,75; 0/12\} .$$

Ayirish.

$$\begin{aligned}
 -\tilde{2} &= \{0/(-3); 0,5/(-2,5); 1/(-2); 0,5/(-1,5); 0/(-1)\}; \\
 \tilde{3} - \tilde{2} &= \tilde{3} + (-\tilde{2}) = \{0/(2-3); 0,5/(2,5-2,5); 1/(3-2); 0,5/(3,5-1,5); \\
 &0/(4-1)\} = \{0/(-1); 0,5/0; 1/1; 0,5/2; 0/3\}.
 \end{aligned}$$

Bo'lish.

$$\begin{aligned}
 \tilde{2}^{-1} &= \{0/(1:1); 0,5/(1:1,5); 1/(1:2); 0,5/(1:2,5); 0/(1:3)\} = \\
 &= \{0/1; 0,5/0,66; 1/0,5; 0,5/0,4; 0/0,33\} = \{0/0,33; 0,5/0,4; 1/0,5; 0,5/0,66; 0/1\}; \\
 \tilde{3} : \tilde{2} &= 3 \times (\tilde{2}^{-1}) = \{0/0,66; 0,5/1; 1/1,5; 0,5/2,33; 0/4\}.
 \end{aligned}$$

Qo'shimcha ayirish va bo'lish amallari. Noravshan tenglamalarni yechishda qarama-qarshi va teskari sonlarni hisoblash kerak bo'ladi [4]. Yuqorida ko'rib chiqilgan arifmetik amallar, umumlashtirish tamoyiliga asoslangan bo'lib, qarama-qarshi A' ($A + A' = 0$ bo'ladigan) va teskari sonni A'' ($A \times A'' = 1$) topishga imkon bermaydi. Shuningdek, quyidagi tengsizliklar o'rinlidir.

$$(A - B) + B \neq A, (A : B) \times B \neq A.$$

Quyidagi tenglikni aniq yechish uchun

$$AX + B = D, (4.27)$$

Bu yerda A, B, D – noravshan sonlar, X -noma'lum, qo'shimcha ayirish ($--$) va qo'shimcha bo'lish ($//$) amalidan foydalaniladi.

Xususiyl holda (7.27) ning yechimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$X = D -- B (4.28)$$

B va D to'plamning tashuvchilari mos ravishda $S_B = [b_1, b_2]$ va $S_D = [d_1, d_2]$ oraliqlardir. Qo'shimcha ayirish yordamida aniqlanuvchi X to'plamning tashuvchisi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$S_X = [d_1 - b_1, d_2 - b_2], (4.29)$$

Tegishlilik funksiyasi yordamida ifodalangan ko'rinishi esa [4]

$$\mu_X(x) = \inf_z \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_D(z - x) < \mu_B(z); \\ \mu_D, & \text{agar } \mu_B(z - x) \geq \mu_D(z). \end{cases} (4.30)$$

Ko'rib chiqilayotgan ayirish amali kamayuvchining tashuvchisi uzunligi ayiriluvchilikidan kichik bo'lgandagina aniqlangan.

Qo'shimcha bo'lish. $AX = B$ tenglamani yechimi $X = D // A$ to'plam bo'ladi. Agar A va D to'plamning tashuvchilari $S_A = [a_1, a_2]$ va $S_D = [d_1, d_2]$ bo'lsa, u holda X to'plamning tashuvchisi quyidagicha aniqlanadi

$$S_X = [d_1, d_2] // [a_1, a_2] = \begin{cases} d_1 : a_1, d_2 : a_2, \text{ agar } S_A > 0; S_D > 0 \\ d_1 : a_2, d_2 : a_1, \text{ agar } S_A > 0; S_D < 0 \\ d_2 : a_1, d_1 : a_2, \text{ agar } S_A < 0; S_D > 0 \\ d_2 : a_2, d_1 : a_1, \text{ agar } S_A < 0; S_D < 0 \end{cases} [4]$$

Yoki uning tegishlilik funksiyasi orqali ifodalangan ko'rinishi:

$$\mu_X(x) = \inf_t \begin{cases} 1, & \text{agar } \mu_A(t/x) < \mu_D(t), \\ \mu_D(t), & \text{agar } \mu_A(t/x) \geq \mu_D(t). \end{cases}$$

Bu amal ixtiyoriy A va D sonlarning ixtiyoriysi uchun aniqlanmagan, u oraliq tashuvchilari ma'lum shartlarni qanoatlantiruvchi sonlarga nisbatan aniqlangandir [4].

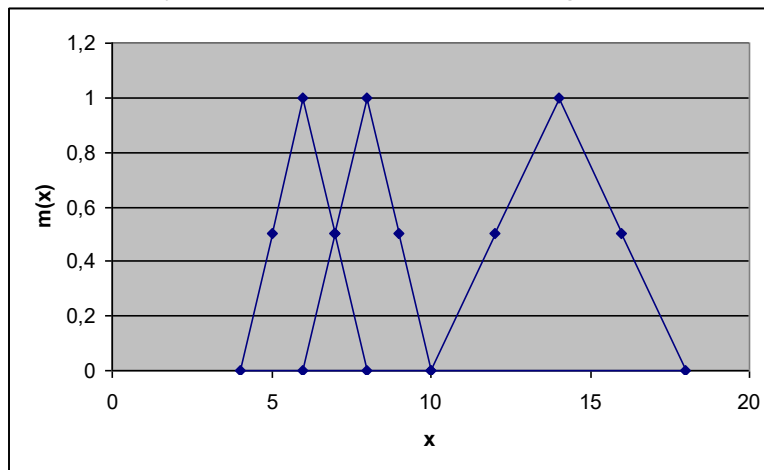
Misollar. Quyidagi tenglamani yeching

$$X+B=D, (4.33)$$

bunda $B=\tilde{8}=\{0/6; 0,5/7; 1/8; 0,5/9; 0/10\}$,

$D=1\tilde{4}=\{0/10; 0,5/12; 1/14; 0,5/16; 0/18\}$,

Ularning tegishlilik funksiyalari 4.9-rasmda tasvirlangan.



4.9-rasm. Qo'shimcha ayirish amali uchun to'plamlarning tegishlilik funksiyasi .

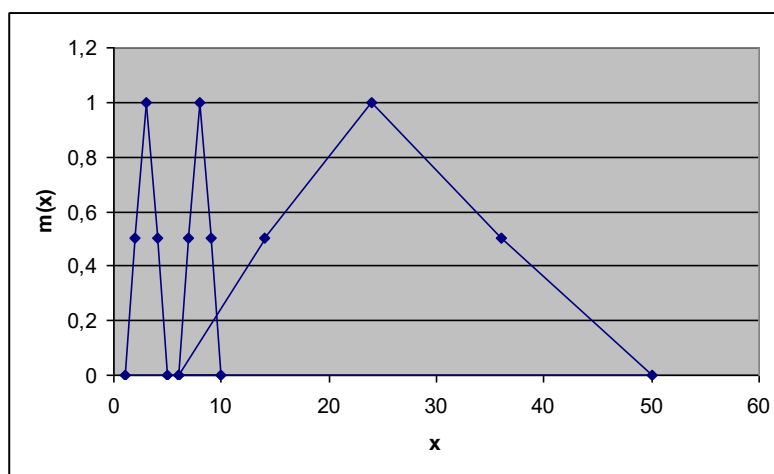
B va D uchun oraliq-tashuvchilar $S_B = [6,10]$; $S_D = [10,18]$. (7.29) ga ko'ra $S_X = [4,8]$. (7.30) formulaga ko'ra 4.9-rasmda grafik usulda tasvirlangan $\mu_X(x)$ tegishlilik funksiyasini aniqlash mumkin.

Mos ravishda, $X = (0/4; 0,5/5; 1,0/6; 0,5/7; 0/8)$.

$A=\tilde{8}=\{0/6; 0,5/7; 1/8; 0,5/9; 0/10\}$ va $D=2\tilde{4}=\{0/6; 0,5/14; 1,0/24; 0,5/36; 0/50\}$ da quyidagi tenglamani yeching

$$AX=D. (4.34)$$

μ_A va μ_D tegishlilik funksiyalari 4.10-rasmda tasvirlangan.



4.10-rasm. QO'shimcha bo'lish amali uchun to'plamlarning tegishlilik funksiyalari A va D to'plamlarning oraliq-tashuvchilari $S_A = [6,10]$; $S_D = [6,50]$. (4.31) ga ko'ra $S_X = [6:6,50:10] = [1,5]$.

(4.32) ga ko'ra, 4.10-rasmda keltirilgan $\mu_x(x)$ tegishlilik funksiyasining qiymantini aniqlash mumkin.

Tenglamaning yechimi

$X=\{0/1; 0,5/2; 1/3; 0,5/4; 0/5\}$.

4.2. L-R turdagi noravshan sonlar

L yoki R orqali belgilanuvchi funksiya quyidagi shartlar bajarilsa, noravshan sonni ifodalovchi funksiyadir:

$$L(x)=L(-x);$$

$$L(0)=1;$$

L $[0, \infty)$ oraliqda os'maydi.

Misollar.

$$a) L(x) = \begin{cases} 1, & x \in [-1,1]; \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

$$b) L(x) = \max(0; 1 - |x|^p), \quad p \geq 0.$$

$$v) L(x) = \theta^{-|x|^p}, \quad p > 0.$$

$$g) L(x) = 1 / (1 + |x|^p), \quad p \geq 0.$$

M noravshan son L-R turda deyiladi, agar:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) & x \leq m \text{ da, } \alpha > 0; \\ R\left(\frac{x-m}{\beta}\right) & x \geq m \text{ da, } \beta > 0. \end{cases}$$

L chap ifoda deyiladi; R-o'ng ifoda; m-M ning o'rta qiymati; α va β mos ravishda chap va o'ng kengaytma deyiladi. Kengaytmalar nolga teng bo'lganida, M sodda son bo'ladi. Kengaytmani oshirib borgan sari, M shunchalik noravshanlashib boradi. L-R turdagi sonning belgisi yozuvi $M = (m, \alpha, \beta)_{LR}$.

L-R turdagi sonlar ustida algebraik amallarni ko'rib chiqamiz.

1-teorema. [6] M va N – uzluksiz tegishlilik funksiyali ikkita noravshan son; * - uzluksiz o'suvchi binary amal; $[\lambda_M, \rho_M]$ - M noravshan sonning tegishlilik funksiyasi kamaymaydigan ma'lum bir oraliq ($\lambda_m = \rho_m$); $[\lambda_N, \rho_N]$ - N ga nisbatan o'xshash oraliq, jumladan

$$\mu_M(x) = \mu_N(y) = \omega \text{ uchun } \forall x \in [\lambda_M, \rho_M], \forall y \in [\lambda_N, \rho_N].$$

Tegishlilik funksiyasi umumlashtirish tamoyili bo'yicha aniqlangan $M * N$ noravshan to'plam bo'lsa, undagi uzluksiz tegishlilik funksiyali noravshan son ixtiyoriy $t \in [\lambda_M * \lambda_N, \rho_M * \rho_N]$ nuqtada $\mu_{M*N}(t) = \omega$ formula bo'yicha aniqlanadi.

Noravshan sonlarni qo'shish. Ikkita noravshan sonning o'suvchi qismlarini ko'rib chiqamiz

$$M = (m, \alpha, \beta)_{LR} \text{ ; } N = (n, \gamma, \delta)_{LR}.$$

x va y –yagona haqiqiy sonlar bo'lib, bunda

$$L\left(\frac{m-x}{\alpha}\right) = \omega = L\left(\frac{n-y}{\gamma}\right),$$

Bu yerda $\omega \in [0,1]$ kesmadagi qo'zg'almas nuqta. Bu quyidagiga ekvivalent

$$x = m - \alpha L^{-1}(\omega), \quad y = n - \gamma L^{-1}(\omega), \quad (4.35)$$

(4.35) dan quyidagilar kelib chiqadi

$$z = x + y = m + n - (\alpha + \gamma)L^{-1}(\omega) \quad \text{va} \quad L\left(\frac{m+n-z}{\alpha+\gamma}\right) = \omega.$$

Huddi shunday, M va N ning kamyuvchi qismlariga nisbatan quyidagilarga ega bo'lamiz

$$R\left(\frac{z-(m+n)}{\beta+\delta}\right) = \omega.$$

Bu yerdan toremaga ko'ra quyidagilar kelib chiqadi

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \delta)_{LR} = (m+n, \alpha+\gamma, \beta+\delta)_{LR}. \quad (4.36)$$

Umumiy ko'rinishda

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \oplus (n, \gamma, \delta)_{LR} = (m+n, 1, 1)_{L^*R^*},$$

Bu yerda $L'' = (\alpha L^{-1} + \gamma L^{-1})^{-1}$, $R'' = (\beta L^{-1} + \delta L^{-1})^{-1}$.

Norvaxsan sonni inkor etish formulasining ko'rinishi quyidagicha

$$-(m, \alpha, \beta)_{LR} = (-m, \beta, \alpha)_{RL}. \quad (4.37)$$

Noravshan sonni ifodalovchi L va R funksiyalarning o'zni almashdi. (4.36) va (4.37) dan ayirish formulasini keltirib chiqarish mumkin

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} - (n, \gamma, \delta)_{RL} = (m-n, \alpha+\delta, \beta+\gamma)_{LR}.$$

Ko'paytirish. Oldindagi kabi, quyidagiga ega bo'lish mumkin

$$z = xy = mn + (m\gamma + n\alpha)L^{-1}(\omega) + \alpha\gamma(L^{-1}(\omega))^2. \quad (4.38)$$

(4.38) tenglama $L^{-1}(\omega)$ ga nisbatan ikkinchi tartibli tenglama deyiladi va $z \leq mn$ holda bitta musbat ildizga ega. Teoremadan foydalangan holda, $\mu_{M \otimes N}$ ko'paytmaning tegishlilik funksiyasini aniqlash mumkin. Odatda bu ko'paytma $M \otimes N$ L-R turdagi noravshan son bo'lmaydi. Shunga qaramay, agar α va β m va n va n ga nisbatan kichik bo'lsa hamda (yoki) $\omega \approx 1$ atrofida joylashgan bo'lsa, $\alpha\gamma(L^{-1}(\omega))^2$ hadni hisobga olmasa bo'ladi. Bunda tenglama soddalashadi va yaqinlashgan formulalarni hosil qilish mumkin

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \otimes (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, m\gamma + n\alpha, m\delta + n\beta)_{LR}, \quad M > 0, N > 0 \text{ da},$$

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \otimes (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, n\alpha - m\delta, n\beta - m\gamma)_{LR}, \quad M < 0, N > 0 \text{ da},$$

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \otimes (n, \gamma, \delta)_{LR} = (mn, -n\beta - m\delta, n\alpha - m\gamma)_{LR}, \quad M < 0, N < 0 \text{ da}.$$

Agar kengaytmalar o'rta qiymatlarga nisbatan kichik bo'lmasa, boshqa taxminiy formulalardan foydalanish mumkin. Masalan, agar $M > 0$ va $N > 0$ bo'lsa, u holda

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \otimes (n, \gamma, \delta)_{LR} \approx (mn, m\gamma + n\alpha - \alpha\gamma, m\delta + n\beta + \beta\delta)_{LR}.$$

Ushbu tenglik orqali aniqlangan tegishlilik funksiyasi μ bilan kamida uchta nuqtada ustma-ust tushsa, u holda:

$$(mn, 1); [(m - \alpha)(n - \gamma), L(1)]; [(m + \beta)(n + \delta), R(1)]$$

Skalyarga ko'paytirish. Quyidagi formulalar o'rinli:

$$\forall \lambda > 0 \lambda \in R: \lambda \otimes (m, \alpha, \beta)_{LR} = (\lambda m, \lambda \alpha, \lambda \beta)_{LR},$$

$$\forall \lambda < 0 \lambda \in R: \lambda \otimes (m, \alpha, \beta)_{LR} = (\lambda m, -\lambda \alpha, -\lambda \beta)_{LR}.$$

Bo'lish. Musbat, noravshan L-R va R-L turdagi sonlar uchun quyidagi taxminiy natijalar olingan:

$$(m, \alpha, \beta)_{LR} \div (n, \gamma, \delta)_{LR} \approx \left(\frac{m}{\tilde{n}}, \frac{\delta m + \alpha n}{n^2}, \frac{\gamma m + \beta n}{n^2} \right)_{LR}.$$

4.3. Noravshan sonlarni solishtirish

Noravshan sonlarni solishtiranda ikki turdagi savol paydo bo'ladi:

Berilgan noravshan sonlar oilasidagi eng katta (eng kichik) sonning noravshan qiymati qanday?

“ \tilde{m} \tilde{n} dan katta (kichik)” mulohazaning chinlik qiymati nimaga teng”. Boshqa so'z bilan aytganda, \tilde{m} ning \tilde{n} dan katta (kichik) bo'lishi ehtimoli qanday?

Birinchi savolga javob berish uchun quyidagi funksiyaga nisbatan qo'llanilgan umumlashtirish tamoyilidan foydalanamiz

$$z(m, n) = \max\{m; n\};$$

$$t(m, n) = \min\{m; n\}.$$

Agar $\mu_1(m), \mu_2(n)$ - \tilde{m} va \tilde{n} noravshan sonlarning tegishlilik funksiyalari bo'lsa, u holda umumlashtirish tamoyiliga binoan quyidagiga ega bo'lamiz

$$\mu_3(z) = \sup_{z = \max(m; n)} \min\{\mu_1(m), \mu_2(n)\};$$

$$\mu_4(t) = \sup_{z = \min(m; n)} \min\{\mu_1(m), \mu_2(n)\}$$

μ_3 va μ_4 tegishlilik funksiyali \tilde{z} va \tilde{t} noravshan to'plamlar \tilde{m} va \tilde{n} dan farqli qavariq normal sonlar bo'ladi. Ikkinchi savolga javob berishga harakat qilamiz “ \tilde{m} \tilde{n} dan katta” mulohazaning chinlik darajasi $v(\tilde{n} > \tilde{m})$ ko'rinishda yozib olinadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$v(\tilde{n} > \tilde{m}) = \max_{n \geq m} \min\{\mu_1\}$$

« \tilde{n} \tilde{m} dan katta» hol uchun

$$v(\tilde{n} > \tilde{m}) = \min\{\mu_1(A), \mu_2(B)\} = \min\{1, 1\} = 1,$$

$$v(\tilde{m} > \tilde{n}) = \min\{\mu_1(C), \mu_2(C)\} = d.$$

D soni \tilde{m} va \tilde{n} sonlarning farq qilish darajasini xarakterlaydi. C nuqtaning ordinatasi 1 ga qanchalik yaqin bo'lsa, \tilde{m} va \tilde{n} sonlardan qaysi biri kattaroq ekanligiga javob berish shunchalik qiyin bo'ladi.

\tilde{m} va \tilde{n} L-R va R-L turdagi noravshan sonlar bo'ladi; $\tilde{m} = (m, \alpha, \beta)$, $\tilde{n} = (n, \gamma, \delta)$, bunda C quyidagi tenglikdan topiladi

$$(C - m) / \beta = (n - C) / \gamma,$$

Bu yerdan

$$C = (\beta n + \gamma m) / (\beta + \gamma) \text{ i } d = R[(n - m) / (\beta + \gamma)]. \quad (4.39)$$

Shunday qilib, ikkita noravshan sonning kesishmasi bo'lgan noravshan to'planning balandligi (4.39) fomula bo'yicha aniqlanadi (biz $m < n$ holni ko'rib chiqmoqdamiz). Demak, \tilde{m} va \tilde{n} ni solishtirish uchun ham $v(\tilde{m} > \tilde{n})$, ham $v(\tilde{m} < \tilde{n})$ ni bilish kerak. Agar, masalan $v(\tilde{m} > \tilde{n}) = 1$ bo'lsa, bu degani yoki \tilde{m} \tilde{n} dan katta, yoki ikkala noravshan son ularni ajratish mumkin bo'lishi uchun, juda uzoqda joylashgan. Bunday holda ma'lum bir τ ostonaviy qiymatni tanlab, \tilde{m} \tilde{n} dan katta deb olish mumkin, agar $v(\tilde{n} > \tilde{m}) \leq \tau$ bo'lsa. Bu quyidagicha belgilanadi $\tilde{m} \geq \tilde{n}$.

L-R turdagi noravshan sonlar uchun qoida quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$\tilde{n} > \tilde{m} \Leftrightarrow n - m \geq \beta + \gamma; (\tau = R(1));$$

$$\tilde{m} > \tilde{n} \Leftrightarrow m - n \geq \alpha + \delta; (\tau = L(1));$$

Bu yerda qisqalik uchun \geq ning o'rniga $>$ belgilash kiritilgan. "n m dan katta" uchun boshqa ta'rifni kiritish ham mumkin :

$$\tilde{n} \geq \tilde{m} \Leftrightarrow \max(\tilde{m}, \tilde{n}) = \tilde{n} \text{ va } \min(\tilde{m}, \tilde{n}) = \tilde{m} .$$

Misollar.

1. Noravshan \tilde{n} soni noravshan \tilde{m} sonidan katta, agar

$$n > m$$

$$n - \underline{n} \geq m - \underline{m} \quad (4.40)$$

$$n + \bar{n} \geq m + \bar{m}$$

2. \tilde{m} noravshan son \tilde{n} noravshan sonidan kichik, agar

$$m \leq n$$

$$m - \underline{m} \leq n - \underline{n} \quad (4.41)$$

$$m + \bar{m} \leq n + \bar{n}$$

3. \tilde{n} noravshan son \tilde{m} noravshan songa teng, agar

$$n = m$$

$$n - \underline{n} = m - \underline{m} \quad (4.42)$$

$$n + \bar{n} = m + \bar{m}$$

Misol. Ikkita L-R turdagi son berilgan:

a) $A = (1, 5, 2)_{LR}$ $B = (3, 8, 4)_{LR}$

b) $A = (8, 10, 6)_{LR}$ $B = (6, 9, 5)_{LR}$

c) $A = (20, 35, 30)_{LR}$ $B = (18, 20, 25)_{LR}$

d) $A = (4, 7, 6)_{LR}$ $B = (8, 10, 5)_{LR}$

e) $A = (2, 8, 6)_{LR}$ $B = (4, 8, 6)_{LR}$

Ushbu sonlarni qo'shish, ayirish, ko'patitish va bo'lishni hisoblang.

Javob:

Qo'shish Ayirish Ko'paytirish Bo'lish

a) $(4, 13, 6)_{LR}$ $(-2, 9, 10)_{LR}$ $(3, 23, 10)_{LR}$ $(0.3, 2.11, 1.44)_{LR}$

- b) $(14,19,11)_{LR} \quad (-2,15,15)_{LR} \quad (48,132,76)_{LR} \quad (1.33,2.78,3)_{LR}$
 c) $(38,55,55)_{LR} \quad (2,60,50)_{LR} \quad (360,1030,1040)_{LR} \quad (1.11,3.49,2.9)_{LR}$
 d) $(12,17,11)_{LR} \quad (-4,12,16)_{LR} \quad (32,96,68)_{LR} \quad (0.5,1.19,1.38)_{LR}$
 e) $(6,16,12)_{LR} \quad (-2,14,14)_{LR} \quad (8,48,36)_{LR} \quad (0.5,2.75,2.5)_{LR}$

4.4. Noravshan lingvistik modellashtirish

Noravshan to'plamlar murakkab noxiziqli, noaniq obyektlarni modellashtirish va funksiyalarni approksimatsiyalashda keng qo'llaniladi [1-8]. Noravshan modellashtirish g'oyasi shundan iboratki, ob'jekt parametrlari o'rtasidagi matematik bog'lanish odatda lingvistik qoidalarining atamaları bilan ifodalanuvchi sifatli munosabatlar bilan almashtiriladi.

9-ta'rif. Noravshan modellashtirish. Noravshan modellashtirish- tizim tavsiflarini noravshan qoidalardan foydalangan holda ta'riflash usulidir.

Noravshan modellar asosan uchta sinfga ajratiladi:

- lingvistik noravshan modellar;
- noravshan relyasion modellar;
- Sugeno-Takagi-Kang (TSK) modellari.

Noravshan modellarni qurish 1) tuzilmani; 2) parametrlarni obyektning kiruvchi va chiquvchi ma'lumotlaridan foydalangan holda aniqlashtirishga olib kelinadi.

4.4.1. Lingvistik noravshan modellar

Ko'p kirishli (n) va ko'p chiqishli obyektlar yoki tizimlarga nisbatan lingvistik noravshan modellarning (MIMO-model) tuzilmasi:

AGAR $x_1 \ A_{11} \ VA \ x_2 \ A_{12} \ VA \dots \ x_n \ A_{1n}$ BO'LSA U HOLDA

$y_1 \ B_{11} \ VA \ y_2 \ B_{12} \ VA \dots \ y_m \ B_{1m}$ DIR

HAMDA

AGAR $x_1 \ A_{21} \ VA \ x_2 \ A_{22} \ VA \dots \ x_n \ A_{2n}$ U HOLDA

$y_1 \ B_{21} \ VA \ y_2 \ B_{22} \ VA \dots \ y_m \ B_{2m}$ DIR (4.43)

.....
SHUNINGDEK

AGAR $x_1 \ A_{r1} \ VA \ x_2 \ A_{r2} \ VA \dots \ x_n \ A_{rn}$ BO'LSA U HOLDA

$y_1 \ B_{r1} \ VA \ y_2 \ B_{r2} \ VA \dots \ y_m \ B_{rm}$ DIR.

Bitta kirishli (x) va bitta chiqishli (y) obyektlar uchun (SISO-model) model quyidagi shaklda redusiyalanadi:

AGAR $X \ A_i \ BO'LSA \ U \ HOLDA \ B_i, \ i = \overline{1, n}. \quad (4.44)$

(4.43) va (4.44) noravshan modellarni noravshan graf, lingvistik qoidalar jadvali (look-up-table with interpolation) va kirish va chiqishlarning ixtiyoriy akslantirilishi (structure-free) ko'rinishida tuzilmaviy ta'riflash mumkin. (4.43) va (4.44) modellarni qurish quyidagi bosqichlarni o'z ichiga oladi:

1. Qoidalar sonini aniqlash. Kirishlar fazosi uchun ham, chiqishlar fazosi uchun ham noravshan klasteringni qo'llash kirish va chiqishlar fazolari bo'linuvchi

noravshan tarmoqlar hosil bo'ladi. Bo'linishdan so'ng hosil bo'lgan noravshan tarmoqlar soni (4.43) yoki (4.44) modellardagi qoidalar sonini aniqlaydi.

2. Tegishlilik funksiyasini tanlash. Noravshan modellarni konstruksiyalashda qidiruvning asosiy parametrlari tegishlilik funksiyasining markazi va shakli (shape) dir. Bu parametrlar ko'pincha noravshan modellarni adaptasiyalash uchun ishlatiladi. Modellashtirilayotgan obyektning kirishlari va chiqishlari to'g'risidagi tajribaviy ma'lumotlarini qo'llab, (4.43) yoki (4.44) modellar lingvistik qoidalarining ham antesedent, ham konsekvent qismlarida qo'llab, nazariy jihatdan approksimatsiyaning ixtiyoriy aniqligiga erishish mumkin. Shuni qayd etish joizki, bu masalani yechishning to'g'ridan-to'g'ri usuli, ya'ni muqobil tegishlilik funksiyalar tanlovi yo'q. Oxirgi paytda bu muammo ko'pincha sonli muqobillashtirish, ta'lim muammosi sifatida qo'yiladi. Neyron texnika, genetik algoritmlardan foydalangan holda tegishlilik funksiyasining shunday parametrlari tanlanadiki, ular asosida modellarning aniqligi va to'g'riligi ta'minlanadi.

Noravshan modellarning ko'rib chiqilgan turi yaxshi semantic impretatsiyalashuvga, modelning aniqligi va ishonchliligida muhim omil hisoblangan boshqariluvchi interpoliyatsiyaga, evristikani umumlashuvga qo'shish imkoniyatiga ega bo'lishi kerak.

4.4.2. Munosabatning noravshan modeli.

Noravshan relyatsion modelni qurish noma'lum noravshan R munosabatli relyatsion tenglamalar sistemasini yechish muammosi sifatida qaraladi:

$$B = A \circ R, \quad (4.45)$$

Bu yerda $A \in F(x)$ va $B \in F(y)$ - universumlar fazosida aniqlanuvchi noravshan to'plamlar va $R \in F(X * Y)$ - modellashtiriluvchi obyekt yoki sistemaning kirishlari va chiqishlari orasidagi munosabatni ifodalovchi karteziyan ko'paytma orqali aniqlanuvchi noravshan munosabat, \circ - kompozitsiyaning sup-min operatori. (4.45) bilan berilgan noravshan tizimni identifikatsiyalash masalasi A_i va $B_i, i = \overline{1, n}$ noravshan tarmoqlar ko'rinishida tasvirlanuvchi kiruvchi va chiquvchi ma'lumotlar asosida R baholashga olib kelinadi.

$$R_i = A_i \circ R, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4.46)$$

Agar noravshan A va B to'plamlar (4.45) tenglamani qanoatlantirsa, eng katta noravshan R munosabat

$$B = A \circ R \text{ da } R = A \alpha B \quad (4.47)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda α A va B ning α -kompozitsiyasini anglatadi.

R tegishlilik funksiyasi quyidagi munosabatlardan aniqlanadi:

$$R(x,y)=1, \text{ agar } A(x) \leq B(y)$$

$$R(x,y)=Y(y), \text{ agar } A(x) > B(y) \quad (4.48)$$

$n \geq 2$ da istalgan R^* noravshan munosabat quyidagi formulaga asosan kelib chiqadi:

$$R^* = \bigcap_{i=1}^n R_i, \quad R_i = A_i \alpha B_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4.49)$$

Agar (4.46) sistema yechimga ega bo'lsa, u holda (4.49) munosabat (4.46) ning eng katta yechimi bo'ladi.

(4.46) sistema yechimga ega bo'lishining zaruriy va yetarli sharti
 $\forall i \forall y \exists x ((A_i(x) \geq B_i(y)) \wedge \forall j \neq i (B_j(y) < B_i(y) \rightarrow A_j(x) \leq B_j(y)))$ dir (4.50)

4.4.3. TSK-model

N ta kirishli va bitta chiqishli noravshan modellashtiriluvchi sistemani ko'rib chiqamiz. U holda bunday turdagi sistemalarga nisbatan TSK-model

$$R^i: \text{AGAR } x_1 \in A_1^i \text{ VA } x_2 \in A_2^i \dots \text{ VA } x_n \in A_n^i \text{ BO'LSA} \\ \text{U HOLDA } Y^i = f^i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (4.51)$$

ko'rinishda bo'ladi, bu yerda R^i , $i = \overline{1, m}$ - i-implikasiya, m-noravshan modelning qoidalar soni, x_1, x_2, \dots, x_n - modelning kiruvchi o'zgarishlari, A_j^i , $i = \overline{1, n}$ - kiruvchi o'zgaruvchilarning noravshan qism to'plamlari, y^i - kirishlarning nohiziqli (yoki chiziqli) funksiyasi sifatida aniqlanuvchi i-chiqishi.

$(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ kiruvchi o'zgaruvchilarning qiymatlari ma'lum bo'lsa, noravshan modelning yakuniy chiqishi

$$Y = \sum_{i=1}^n w_i y^i / \sum_{i=1}^n w_i, \quad (4.52)$$

Sifatida aniqlanishi mumkin, bu yerda w_i - i-implikasiya shartli qismining chinlik qiymati bo'lib, u

$$w^i = \bigwedge_{j=1}^n \mu_{A_j^i}(x_j^0) \quad (4.53)$$

kabi hisoblanadi.

Bu yerda $\mu_{A_j^i}(x_j)$ - A_j^i noravshan qism to'plamlarning tegishlilik funksiyasi.

TSK-model, umuman olganda bir nechta qoidalardan foydalangan holda murakkab nohiziqli funksional bog'lanishni ta'riflashi mumkin. Bunday modelni qurish qoidalari shartli qismining muqobil tuzilmasini (ya'ni kiruvchi o'zgaruvchilarning tegishlilik funksiyasini), tuzilmaning konsenkventini (ya'ni qanday termlar nohiziqli yoki chiziqli tenglamaga qo'shilishini aniqlash va ularning parametrlari bahosi) aniqlashni nazarda tutadi.

Shuni qayd etish joizki, amaliyotda TSK-modelni qurish oson masala emas.

Bunday modellarni qurishning qat'iy tizimli prosedurasini mavjud emas. Bundan tashqari industrial jarayonlarni modellashtirishda tuzilmaviy va parametric off-line indentifikasiya uchun kiruvchi va chiquvchi ma'lumotlarni to'plash qiyindir.

TSK-modellarni qurish prosedurasini yaxshilash uchun bir qator g'oyalar va usullar taklif etilgan. R.Langary va L.Wang da TSK-modellarni aniqlashga yangi yondashuv taklif etilgan, unda noravshan to'plamlarni yaratish uchun noravshan diskretlashtirish vositalaridan foydalangan holda avvalo modellarning shartli qismi aniqlanadi. Noravshan to'plamlar soni modelning konsenkvent qismidagi qoidalar sonini va chiziqli tenglamalar sonini aniqlaydi. Ushbu chiziqli tenglamalarning parametrlari orthogonal estimatoridan foydalangan holda baholanadi. Quyida bunday modellarni qurishning turli xil uslublarini solishtirish jadvali keltiriladi

4.1-jadval.

Modelning nomi	Kirishlar soni	Qoidalar soni	O'rta kvadratik xatolik
Tong modeli (Tong, 1979)	2	19	0,469
Pedruks modeli (Pedruks(1984)	2	81	0,320
Xu modeli (Xu va Lu, 1987)	2	25	0,328
Boks modeli (Boks va Djekins, 1976)	6	-	0,202
Sugeno modeli (Sugeno, Yasukava, 1993)	3	6	0,190
Vang modeli (Vang va Langari, 1994)	2	5	0,158
Sugno modeli (Sugeno va Tanaka, 1991)	6	2	0,068
Langari va Vang modeli (Langari va Vang, 1994)	6	2	0,066

TSK-modellarning aniqlash va tasvirlashning samarali bo'lishi uchun zarur bo'lgan qoidalarining kam soni va ma'lumotlarning kichik hajmi kabi ustuvorliklariga qaramay, ular lingvistik va relyatsion modellarga qaraganda, evristikalarni qo'shishning semantik qiyinchiligidan aziyat chekadilar TSK va lingvistik modellar xossalariining nisbiy baholanishi quyida keltirilgan (4.2-jadval).

4.2-jadval

Xossa	TSK-model	Lingvistik model
1. Tasvirlash	Samarali	Samarali emas
2. Umumlashtirish	Past	Yuqori
3. Qoidalar soni	Past	Yuqori
4. Semantik qiymat	Chegaralangan	Yaxshi
5. Evristikani qo'shish	Qiyin	Oson
6. Interpolyatsiya	Boshqarilmaydi	Boshqariluvchi
7. Aniqlashtirish uchun ma'lumotlar	Kam	Ko'p

U yoki bu modellarning ustuvorliklari va kamchiliklarini hisobga olgan holda noravshan chiziqli modelni bo'lishga asoslangan to'ldiruvchi noravshan bo'linish qonuniyatini hisobga oluvchi yangi yondashuv taklif etiladi. U quyidagi misolda tasvirlanib o'tiladi.

Misol. Fermenterda bosim dinamikasining noravshan modeli aniqlashtiriladi. Noravshan TSK-model quyidagi ko'rinishda qabul qilinadi:

$$\begin{aligned}
 R_1 : \text{ AGAR } x(k) \text{ kichik va } y(k) \text{ o'rta bo'lsa} \\
 \text{ U HOLDA } y(k+1) = a_1 y(k) + b_1 x(k) + c_1 \\
 \dots\dots\dots (4.54)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_m : \text{ AGAR } x(k) \text{ taxminan nol va } y(k) \text{ katta bo'lsa} \\
 \text{ U HOLDA } y(k+1) = a_m y(k) + b_m x(k) + c_m,
 \end{aligned}$$

Bu yerda $x(k)$, $y(k)$ –* shartli qismning o'zgaruvchilari , a_i, b_i, c_i - konsekvent parametrlar, k – diskret vaqt. Yuqorida ko'rsatilib o'tilganidek, (4.54) noravshan modelni qurish modeli 1) (4.54) modeldagi qoidalarning shartli qismida tegishlilik funksiyasini aniqlash va 2) o'ng qism tuzilmasini va a_i, b_i, c_i parametrlarning qiymatini baholashga asoslanadi. Birinchi bosqichning mos vositasi giperplanar noravshan sinflashtirish, ikkinchi bosqichda esa aniqlashtirish nazariyasining mashhur usullari qo'llanilishi mumkin.

Giperplamar noravshan sinflashtirishdan foydalangan holda quyidagi uchta qoida aniqlangan:

$$\begin{aligned}
 \text{AGAR } y(k) \text{ past va } x(k) \text{ ochiq bo'lsa} \\
 \text{ U HOLDA } y(k+1) = 0,67 y(k) + 0,0007 x(k) + 0,35
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{AGAR } y(k) \text{ o'rta va } x(k) \text{ yarim yopiq bo'lsa} \\
 \text{ U HOLDA } y(k+1) = 0,80 y(k) + 0,0028 x(k) + 0,07
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{AGAR } y(k) \text{ yuqori va } x(k) \text{ yopiq bo'lsa} \\
 \text{ U HOLDA } y(k+1) = 0,90 y(k) + 0,0071 x(k) - 0,39
 \end{aligned}$$

Ko'rinib turganidek, formenterdagi bosimning dinamik modeli birinchi tartibli nochizikli regression model orqali tasvirlanadi.

Asl noravshan chiziqli bo'linishdan klapan va bosim holati uchun to'ldiruvchi bo'linishning tegishlilik funksiyalari keltirib chiqarildi.

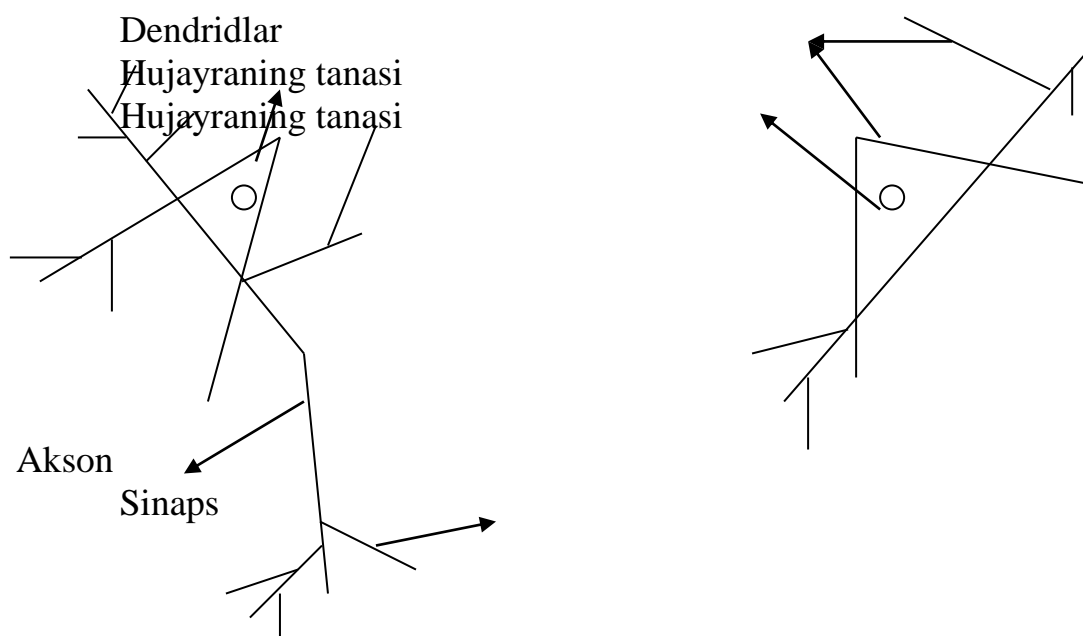
5. NEYRON TARMOQLARI

Bir qatlamli va ko'p qatlamli neyron tarmoqlari

Neyron to'rlar va neyronoravshan modellashtirish

5.1. Neyronlar

Biologik neyron. Har xil turdagi nerv hujayralari umumiy atama - neyron ostida birlashadi. Neyron tirik organizmlardagi elektr faolikka ega bo'lgan hujayralarning alohida turi bo'lib, uning asosiy vazifasi organizmni operativ boshqarishga mo'ljallangandir. Biologik neyronning sxematik tasviri 5.1-rasmda keltirilgan. Neyron membrana qobig'iga olingan yadro va sitoplazmadan iborat bo'lgan hujayra tanasidan tashkil topgan. Neyron, shuningdek, kirishlar (dendridlar) va chiqishlar (akson va uning uchi) daraxtini o'z ichiga oladi. Aksonning uchlardagi tarmoqlanish boshqa hujayralarga sinaptik aloqalar (sinapslar) orqali ulanadi. Aksondan yangi novdalar - kollaterlar chiqadi, ular boshqa hujayralarga ulanib ketadi.



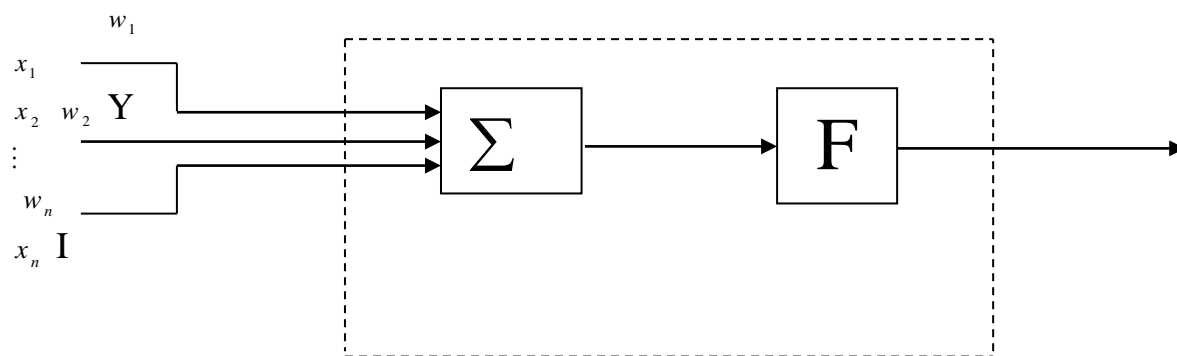
5.1-rasm. Biologik neyron

Dendrit daraxtining kiruvchi signallari (postinaptik potentsiallar) aksonning boshlang'ich segmentlari yo'lida o'lchanadi va yig'iladi, bu yerda chiquvchi impuls (yoki impulslar) generatsiyalanadi. Uning jadalligi, natijada, kiruvchi signallarning o'lchangan yig'indisiga bog'liq bo'lgan funksiyadir. Chiquvchi signal aksonning shoxlaridan o'tib, akson bilan boshqa neyronlarning dendrit daraxtlarini birlashtiruvchi sinapslariga borib yetadi. Sinapslar orqali signal qo'shni neyronlar uchun yangi kiruvchi signalga o'tadi. Bu kiruvchi signal sinapslarning turiga qarab, musbat va manfiy (qo'zg'atuvchi yoki tormozlovchi) bo'lishi mumkin. Sinaps tomonidan generatsiyalanuvchi kiruvchi signalning qiymati sinapsdan o'tuvchi signalning bir xil qiymatida ham har xil bo'lishi mumkin. Ulardagi bunday farq vazn orqali aniqlanuvchi sinapsning samaradorligi bilan bog'liqdir. Oxirgisi, sinapsning harakati davomida o'zgarishi mumkin.

Neyronlarni uch guruhga ajratish mumkin: reseptorli, oraliq va effektorli. Reseptorli neyronlar miyaga sensorli axborotning kiritilishini ta'minlaydi. Ular sezgi organlariga kelib tushadigan signallarni (ko'z pardasidagi optik signallar, quloqning qabul qiluvchi qismidagi akustik signallar) o'z aksonlarining elektrik impulsatsiyasiga o'tkazadi. Effektorli neyronlar ularga kelib tushadigan signallarni ijro etuvchi organlarga uzatadi. Ularning aksonlaridagi uchlarda ijro etuvchi organli, masalan, neyronlarning qo'zg'alishi mushaklarning qisqarishiga o'tadigan mushakli maxsus sinaptik ulanishlar mavjud bo'ladi. Oraliq neyronlar reseptorlardan kelib tushadigan axborotni qayta ishlaydi va effektorlar uchun boshqaruv signallarini shakllantiradi. Ular markaziy nerv sistemasini tashkil qiladi.

Bitta neyronning sinapslari soni yuztadan mingtagacha bo'lgan oraliqda tebranadi. Neyronning membrane holati (uning elektr potentsiali) sinapslarga kelib tushadigan signallarning kattaligi va davomiyligiga bog'liqdir. Membraning potentsiali ma'lum bir boshlang'ich qiymatga (taxminan 40 Mb) erishsa, nerv impulsi - aksonning nerv tolalari bo'ylab tarqaluvchi faollashtirish to'lqini paydo bo'ladi. Tola bo'ylab uzatiluvchi qo'zg'alish elektrokimyoviy jarayondir; uning tarqalish tezligi tolaning diametriga bog'liq bo'ladi va 1 m/s dan 150 m/s gacha bo'lgan oraliqda yotadi. Impulsi o'tkazgandan so'ng, notekis tola noqo'zg'aluvchanlik holatida (refraktor davri) bo'ladi, ya'ni, qo'zg'alish kuchi qanchalik bo'lmasin, nerv signallarini o'tkazmaydi.

Neyronning matematik modeli. Neyronlarning o'zaro bog'langan modelaridan iborat neyron to'rlarini modellashtirishda qo'llaniluvchi neyronning matematik modeli 5.2 rasmda keltirilgan [5,42]. Neyronga kiruvchi



$$I = \sum x_i w_i \quad Y = F(I)$$

5.2-rasm. Neyronning matematik modeli

x_1, x_2, \dots, x_n signallar (yoki X vektor) kelib tushadi. Bu kiruvchi vektor sinapslarga kelib tushadigan biologic neyronlarning signallariga mos keladi. Har bir kiruvchi signal mos w_1, w_2, \dots, w_n aloqa vazniga ko'paytiriladi, w_1, w_2, \dots, w_n - sinaps samaradorligining nusxasidir. Aloqa vazni skalyar kattalik bo'lib, u qo'zg'atuvchi aloqalar uchun musbat va tormozlovchi aloqalar uchun manfiydir. Aloqa vaznlari bilan o'lgangan kiruvchi signallar hujayra tanasiga mos kelgan yig'ish blokiga kelib tushadi, bu yerda ularning algebraik yig'ish amalga oshiriladi va neyronning qo'zg'alish darajasi aniqlanadi:

$$I = \sum w_i x_i .$$

Neyronning chiquvchi signali Y qo'zg'alish darajasi I ni nochiqli funktsiya F orqali o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi:

$$Y = F(I - \theta) ,$$

bu yerda θ -neyronning boshlang'ich qiymati. Odatda, F funktsiya sifatida quyidagi turdagi sodda nochiqli funktsiyalar qo'llaniladi:

a) binar (boshlang'ich) funktsiya:

$$y = \begin{cases} 1, & I > \theta \text{ da} , \\ 0, & I \leq \theta \text{ da} ; \end{cases}$$

b) sigma ko'rinishidagi funktsiya:

$$y = \frac{1}{1 - e^{-(I-\theta)}} .$$

Ma'lum bir usulni qo'llagan holda, neyronlar majmuini o'zaro va tashqi muhit bilan birlashtirib, neyronlar majmuini qurish mumkin. Kiruvchi neyronlarni faollashtirish yo'li bilan kiruvchi vektor tarmoqqa uzatiladi. Tarmoqdagi neyronlarning chiquvchi signallar to'plami y_1, y_2, \dots, y_n chiquvchi faollik vektori deb ataladi. Tarmoqdagi neyronlarning aloqa vaznlari W matrisa ko'rinishida ifodalanadi, uning w_{ij} elementi i - va j -neyronlar o'rtasidagi aloqa vaznidir. Tarmoqning funktsionallashuvi jarayonida kiruvchi vektor chiquvchi vektorga aylanadi, ya'ni axborot qayta ishlanadi. Shuni qayd etish kerakki, tarmoq tomonidan bajariluvchi axborot almashtirilishi nafaqat neyron modellarining tavsiflari, balki arxitekturasi bilan xarakterlanadi.

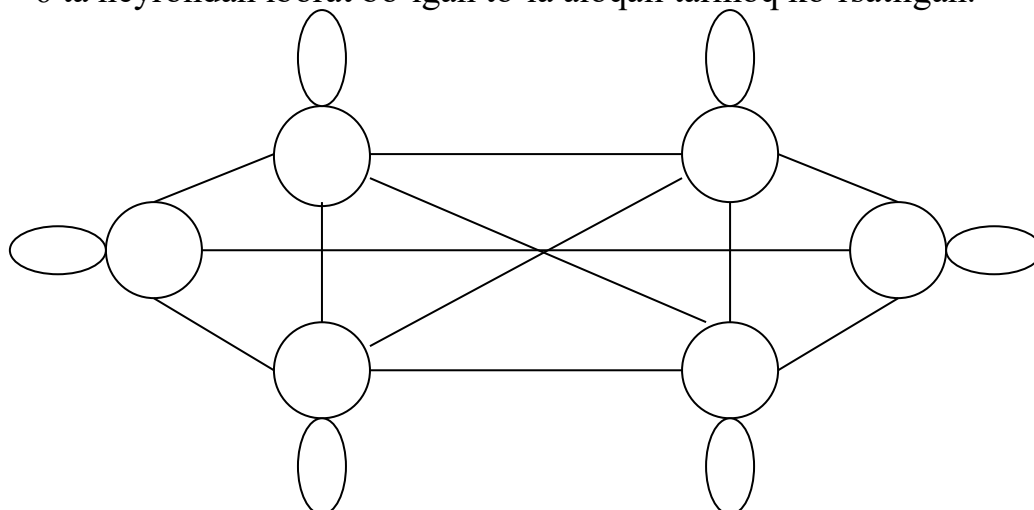
5.2. Neyron to'rlarining arxitekturasi va turlari

To'la aloqali va ierarxik tarmoqlar. Neyron to'ri ma'lum bir tuzilma bilan aloqada bo'lgan alohida neyronlar majmuidir. Tarmoq yecha oladigan masalaning hisoblash quvvati aynan shu aloqalar bilan beriladi. Aloqalar bitta neyronlarning kirishlarini boshqalarining chiqishlari bilan ulaydi, ularning "kuchi" esa vazn koefitsiyentlari (yoki shunchaki vaznlar) orqali beriladi. Shunday qilib, bitta neyronning boshqa neyron xatti-harakatiga ta'sir kuchi mos aloqa vazni bilan aniqlanadi. Shuning uchun neyron tizimlari, odatda, konneksionist (connection- aloqa, ulanish) deb ataladi.

Tarmoqdagi aloqalar tartibi uning arxitekturasi ifodalaydi [5,42,82]. Neyron to'rlarining ikki turdagi arxitekturasi ajratib ko'rsatish mumkin: to'la aloqali va ierarxik tarmoqlar.

Graflar nazariyasidan ma'lumki, to'la aloqali arxitekturada tarmoqning barcha elementlari bir biri bilan ulangandir. Neyron to'rlarining atamalarida ifodalaydigan bo'lsak, har bir neyronning chiqishi boshqa barcha neyronlarning kirishlari bilan ulangan va uning kirishlari qolgan elementlarning chiqishlari bilan bog'langandir. Bundan tashqari, har bir neyronning chiqishi uning kirishiga ulangan ("o'z-o'ziga aloqa"). N ta neyrondan tashkil topgan to'la aloqali tarmoqda

aloqalar soni $N \cdot N$ ga teng, chunki har bir tugundan N ta aloqa chiqadi. 5.3-rasmda 6 ta neyronidan iborat bo'lgan to'la aloqali tarmoq ko'rsatilgan.



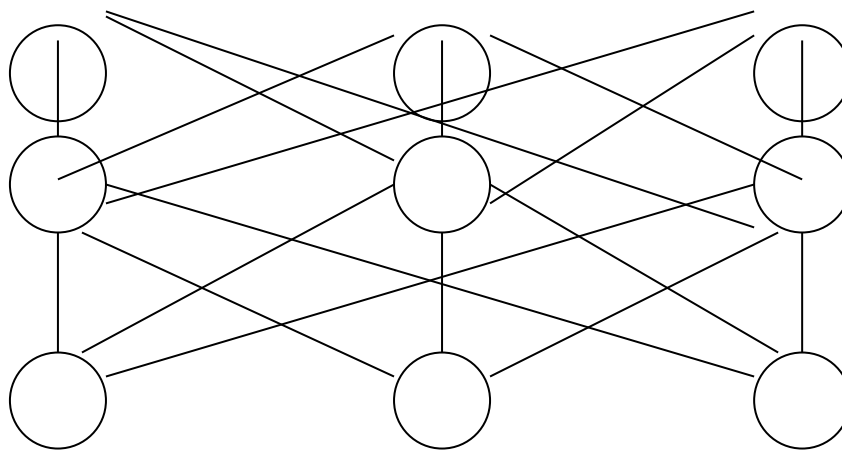
5.3-rasm. To'la aloqali neyron tarmog'i

Ierarxik arxitekturada alohida qatlam yoki bosqichlarda joylashgan neyronlar guruhini ajratib ko'rsatish mumkin. Qatlamning har bir neyroni oldingi va keyingi qatlamdagi neyronlarning har biri bilan bog'langan. Kiruvchi qatlamning neyronlari tashqi muhitdan signallarni qabul qiladi va ularni keyingi qatlamdagi neyronlar bo'yicha taqsimlaydi. Chiquvchi qatlamdagi neyronlarning chiqishlari tashqi muhitga kelib tushadi. Kiruvchi va chiquvchi neyronlar orasida joylashgan qatlamlar oraliq yoki berk deyiladi (chunki ular tashqi muhit bilan bevosita aloqalarga ega emas).

5.4-rasmda uchta qatlamni o'z ichiga olgan ierarxik tarmoqning tuzilmasi tasvirlangan.

Signallarni uzatish yo'nalishi bo'yicha teskari aloqasiz, yoki norekurrent (feed-forward) tarmoqlarni hamda teskari aloqali, yoki rekurrent (fed-back) aloqali tarmoqlarni ajratish mumkin.

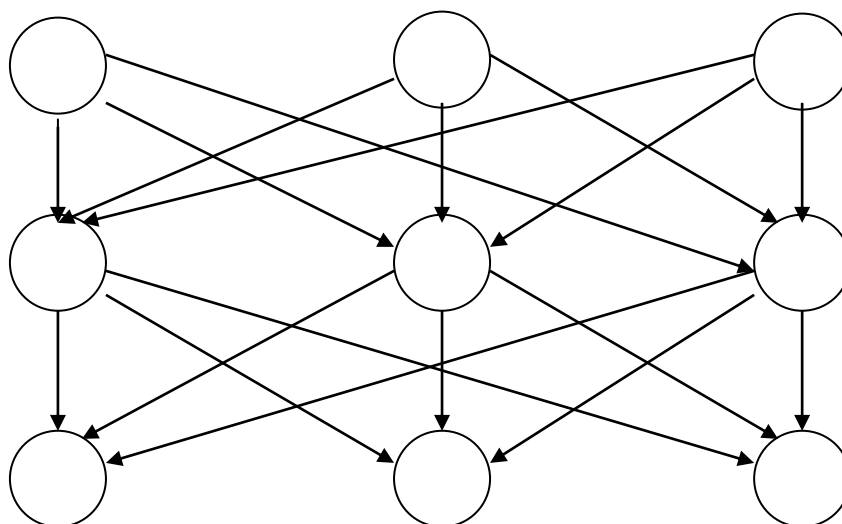
Teskari aloqasiz tarmoqlarda signallar faqat tashqi muhitdan yoki oldingi qatlamdagi neyronlardan qabul qilinadi va ular yoki tashqi muhitga, yoki keyingi qatlamdagi neyronlarning kirishiga uzatiladi.



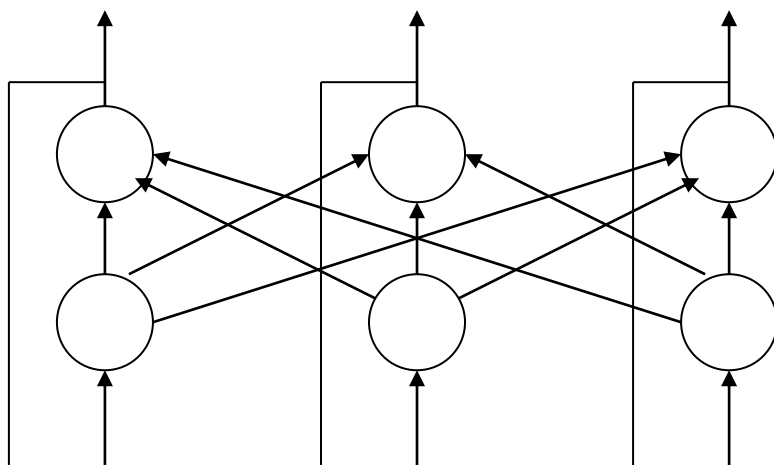
5.4-rasm. Ierarxik neyron tarmoq

Bundan tashqari, rekurrent tarmoqlarda ma'lum bir qatlamdagi neyronlar signallarni o'z- o'zidan yoki huddi shu qatlamda joylashgan boshqa neyronlardan qabul qilishi mumkin. Shunday qilib, norekurrent tarmoqlardan farqli o'laroq, rekurrent tarmoqdagi neyronlarning chiquvchi signallari qiymati nafaqat neyronlarning kirishlardagi joriy signallari hamda mos aloqalarning vaznlari bilan, balki oldingi vaqt momentida ayrim neyronlarning chiqishdagi qiymatlari bilan ham aniqlanadi. Bu degani, bunday tarmoq xotira elementlariga ega bo'ladi, bu esa chiqishlarning holati to'g'risidagi axborotni ma'lum bir muddatga saqlab qolish imkoniyatini beradi.

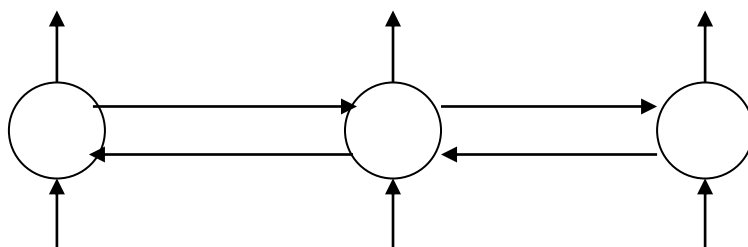
Rekurrent tarmoq o'zining qatlamidagi neyronlar bilan tormozlovchi aloqalarga (ya'ni manfiy vaznli aloqalar) ega bo'lsa, uni lateral tarmoq deb atashadi. 5.5, 5.6 va 5.7 rasmlarda mos ravishda teskari aloqasiz tarmoq, rekurrent tarmoq va lateral tarmoq tasvirlangan.



5.5-rasm. Teskari aloqasiz tarmoq



5.6-rasm. Rekurrent tarmoq



5.7-rasm. Lateral tarmoq

Sun'iy neyronlarning bir qatlamli tarmoqlari. Sodda bir qatlamli tarmoq deb tarmoqlarni taqsimlashga mo'ljallangan kiruvchi neyronlar qatlamidan tashqari, har birining chiquvchi signali uning kirishiga kelib tushadigan signal-larning o'lgangan yig'indisiga bog'liq funktsiya sifatida aniqlanuvchi hisoblash neyronlarining bitta qatlamini o'z ichiga olgan ierarxik norekurrent tarmoqqa aytiladi. Eng sodda holda chiqish - bu har bir hisoblash neyronining kirishiga kelib tushadigan signallarning sodda o'lgangan yig'indisidir. Chiquvchi signallar majmui tarmoqning chiquvchi vektori Y ni tashkil qiladi, uning o'lchami m tarmoqdagi chiqishlar soniga tengdir. Agar, huddi shu yo'l bilan, n o'lchovli chiquvchi X vector va $n \cdot m$ o'lchovli vazn koeffitsiyentlarining W matrisasini aniqlasak, tarmoq chiqishining uning kirishiga bog'liqligini quyidagi vektor ko'rinishda aniqlaymiz:

$$Y = XW.$$

Chiziqli faollashtirish funksiyasini qo'llovchi bunday tarmoqning hisoblash quvvati yangi qatlamlarni kiritishda oshmasligini ko'rsatish mumkin, Buni ko'rsatamiz. Mos ravishda birinchi va ikkinchi qatlamlarga nisbatan w_1 va w_2 vazn koeffitsiyentning matrisalarini o'z ichiga olgan ikki qatlamli tarmoqni ko'rib chiqamiz. Birinchi qatlamdagi neyronlarning chiquvchi vektori quyidagi usulda:

$$Y_1 = XW_1,$$

ikkinchi qatlamniki esa quyidagi formula bo'yicha:

$$Y_2 = Y_1 W_2 = X W_1 W_2 = X W$$

aniqlanadi, bu yerda $w = w_1 w_2$ - joriyga ekvivalent bo'lgan bir qatlamli tarmoqning vazn koeffitsiyentlari matrisasi.

Huddi shu yo'l bilan chiziqli faollashtirish matrisali ixtiyoriy ko'p qatlamli tarmoqni unga ekvivalent bir qatlamligiga olib kelish mumkin.

Yuqorida, tarmoqdagi qatlamlar sonini ko'rsatib o'tishda, biz taqsimlovchi rolini o'ynagan kiruvchi qatlamni hisobga olmadik. Kelgusida, qatlamlar sonini ko'rsatishda biz hamma qatlamlarni, shu jumladan, kiruvchini ham e'tiborga olamiz.

Sun'iy neyronlarning ko'p qatlamli tarmoqlari. Nochiziqli faollashtirish funksiyasidan foydalanish jarayonida tarmoqdagi qatlamlar sonini oshirish uning hisoblash quvvatini oshirish, ya'ni murakkabroq akslantirishlar (funksiyalar) ni qurish imkonini beradi.

Berk qatlamlarni o'z ichiga olmagan sodda tarmoqlar bir qator masalalarni yecha olmaydi. Bunday masalaga hammaga ma'lum "inkor qiluvchi yoki" muammosi misol bo'la oladi, u yordamchi qatlamsiz sodda tarmoq yordamida yechila olmaydi. Muammoning asl mazmuni nimada ekanligini tushunish uchun neyron funksiyasini sinchkovlik bilan ko'rib chiqaylik. Boshlang'ich funksiyasi yordamida faollashtiriladigan neyronning modelini ko'rib chiqaylik. Neyronning n ta kirishi berilgan bo'lsin. N -o'lchovli koordinatalar fazosini ko'rib chiqamiz, unda har bir o'lchov neyronning kirishlaridan biriga mos keladi. Quyidagi tenglama berilgan bo'lsin

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta = 0 \quad (5.1)$$

Ko'rinib turibdiki, (5.1) tenglama n -o'lchovli fazodagi gipertekislikni aniqlaydi. Bu gipertekislik fazoni ikkita qism fazoga ajratadi. Ularning biri uchun quyidagi tengsizlik bajariladi:

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta > 0,$$

ayni vaqtda esa, boshqasi uchun quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi:

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta < 0.$$

Faraz qilaylik, neyronning faollashtirish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'lsin (boshlang'ich funksiya):

$$y = \begin{cases} 1, & \text{agar } \sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta \geq 0, \\ 0, & \text{aks holda.} \end{cases}$$

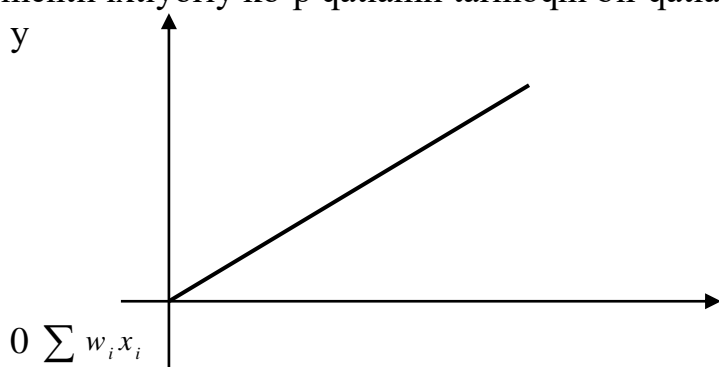
U holda shuni xulosa qilib aytish mumkinki, neyron kiruvchi signallar fazosini ikki qismga ajratadi, bunda, kirishlarning ma'lum bir kombinatsiyalari neyronning faollashuvini keltirib chiqaradi, ayni vaqtda, neyronning boshqa kombinatsiyalarida neyron faollashmaydi. Bundan shunday xulosaga kelish mumkin: ikki qatlamli neyron tarmog'i faqatgina chiziqli separabl masalalarni yechishi mumkin.

Determinantlashgan neyron tarmoqlari. Determinantlashgan deb shunday neyron tarmoqlariga aytiladiki, ularda elementlarning faollashtirish funksiyasi determinantlashgan bo'ladi. Faollashtirish funksiyasi sifatida turli xil funksiyalar qo'llaniladi. Tadqiqot jarayonlarida keng qo'llaniluvchi faollashtirish funksiyalarining asosiy turlarini sanab o'tamiz.

1. Chiziqli funksiya:

$$y = k \sum_i x_i w_i .$$

Chiziqli funksiyaning grafigi 5.8-rasmda keltirilgan. $K=1$ da neyronlarning chiqishiga ularning umumiy o'lchangan kirishlari uzatiladi. Bunday funksiyaning qo'llanilish doirasi chegaralangandir. Bunday funksiya asosida ko'p qatlamli tarmoqlarni qurish hisoblash quvvatining oshishiga olib keladi, chunki chiziqli elementli ixtiyoriy ko'p qatlamli tarmoqni bir qatlamliga olib kelish mumkin.



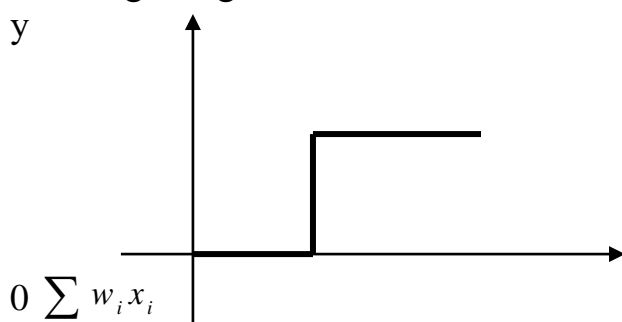
5.8-rasm. Chiziqli funksiya

2. Boshlang'ich funksiya:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{agar } \sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta \geq 0, \\ 0, & \text{aks holda .} \end{cases}$$

Bu yerda θ - boshlang'ich qiymat.

Mazkur funksiyaning grafigi 5.9-rasmda keltirilgan. Boshlang'ich funksiya qo'llovchi neyronlar boshlang'ich qiymatga erishishi bilan o'z holatini "0" dan "1" ga o'zgartiradi.



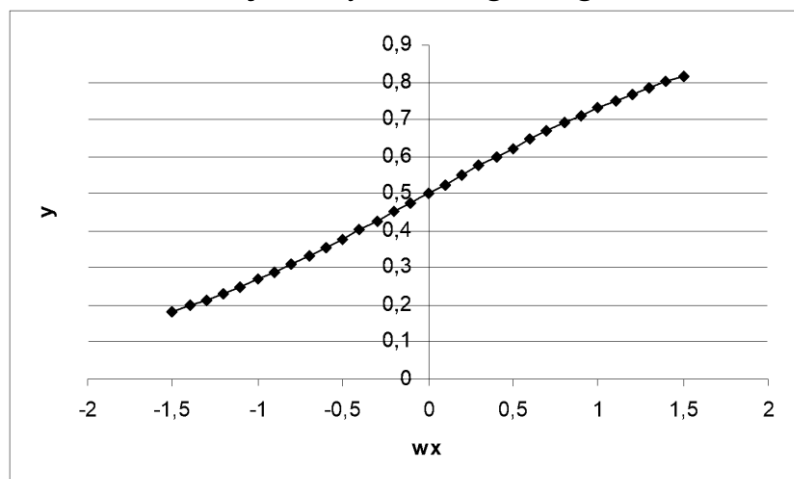
5.9-rasm. Boshlang'ich funksiya

3. Sigma ko'rinishidagi (yarim chiziqli) funksiya:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-\sum w_i x_i}} .$$

Faollashtirish funksiyasining grafigi 5.10-rasmda keltirilgan. Bu faollashtirish funksiyasining keng tarqalgan shakllaridan biridir. Umumiy kirish - ∞ ga

intilganda, faollashtirish darajasi nolga intiladi, umumiy kirishning juda katta qiymatlarida faollashtirish darajasi deyarli “1” ga teng.

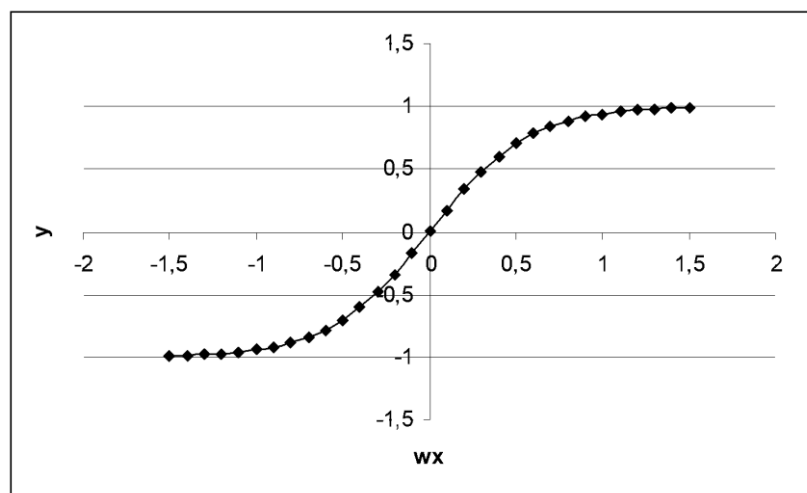


5.10-rasm. Sigma ko'rinishidagi funksiya

4. Giperbolik tangens:

$$y = th\left(\sum_i w_i x_i\right).$$

5.11-rasmda mazkur funksiyaning grafigi keltirilgan. Sigma ko'rinishidagi funksiyadan farqli o'laroq, giperbolik tangensdan foydalanganda neyronlarning faollik darajasi -1 dan 1 gacha bo'lgan oraliqda tebranadi.

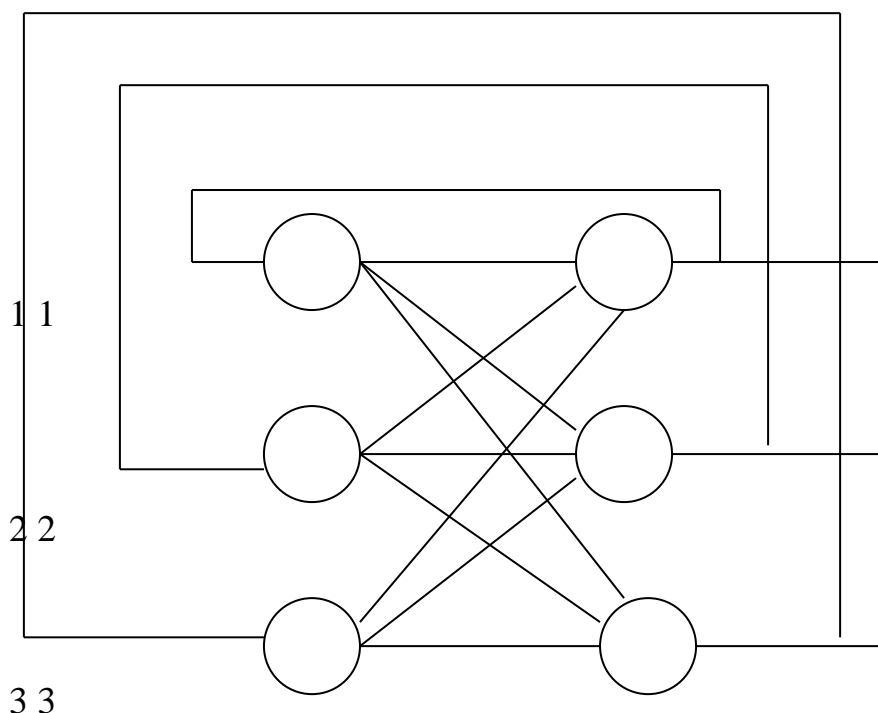


5.11-rasm. Giperbolik tangens

Natijaviy masalalarni yechishga qodir bo'lgan ko'p qatlamli neyron tarmoqlarni yechishda oxirgi uchta funksiya katta qiziqish uyg'otadi. Bu funksiyalarning qiymatlar sohasi ([0,1] yoki [-1,1]) chiquvchi vektorlarni tasniflash uchun keng imkoniyatlar ochib beradi. Yuqorida qayd etilganidek, chiziqli funksiya kamdan-kam qo'llaniladi. Tarmoqning determinantlashgan neyronlari teskari aloqasiz (feed-forward) bo'lishi yoki bunday aloqalarni o'z ichiga olishi mumkin (feed-back). Teskari aloqalarni o'z ichiga olgan tarmoqlar tadqiqotchilar uchun neyron tarmoqlari sohasida katta qiziqish uyg'otadi. Bunday tarmoqlar rekurrent

deyiladi. Ham sodda, ham ko'p qatlamli norekurrent tarmoqlarda kiruvchi vektorni tarmoq bo'yicha uzatishda faollashtirish oqimi kiruvchi qatlamdan chiquvchigacha bo'lgan yo'nalish bo'ylab o'tadi. Chiquvchi neyronlarning faollik darajasi aniqlanganidan so'ng, neyron holatlari o'zgartirilmaydi. Bunday jarayon neyron tarmog'ining relaksatsiyasi deyiladi.

Neyron tarmog'ining yirik tadqiqotchilaridan biri Xopfild bo'lib, u tarmoqlarning alohida turi, Xopfild tarmoqlarini taqdim etdi. 5.12-rasmda keltirilgan sodda ikki qatlamli tarmoqni ko'rib chiqamiz. Har bir neyronning kirishiga X vektorning mos komponentidan tashqari, boshqa neyronlardan birinchi qatlamdagi neyron-taqsimlagichlar orqali chiquvchi signallar kelib tushadi. O'zining dastlabki ishlarida [5] Xopfild boshlang'ich funksiyadan faollashtirish funksiyasi sifatida foydalandi, lekin u yuqorida keltirilgan funksiya shaklida yozib olinar edi.

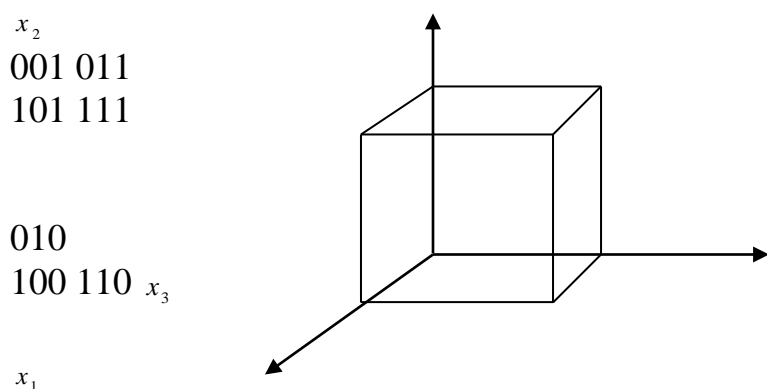


5.12-rasm. Boshlang'ich rekurrent tarmoq

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{agar } \sum_{j \neq i} w_{ji} y_i + x_j > \theta_j, \\ 0, & \text{agar } \sum_{j \neq i} w_{ji} y_i + x_j < \theta_j, \\ \text{o'zgarmaydi} & , \text{ agar } \sum_{j \neq i} w_{ji} y_i + x_j = \theta_j. \end{cases} \quad (5.2)$$

(5.2) ifodadan ko'rinib turibdiki, boshqa neyronlarning baholangan yig'indisiga X vektorning j-komponentasi qo'shilgandagi qiymati boshlang'ich holatdan katta bo'lsa neyron faol holatga o'tadi, har bir neyronning holati diskret tasodifiy vaqt momentida, ya'ni, asinxron ravishda o'zgargan. Chiquvchi signallar majmui tarmoq holatlarining ikkilamchi vektorini shakllantiradi.

Shunday qilib, n ta chiqishga ega bo'lgan, ikkilik qiymatlarni qabul qiluvchi neyron tarmog'i 2^n ta holatda bo'lish mumkin. Shu holatlarning har biri koordinata o'qlari sifatida neyronlarning faollik darajasi olingan n -o'lchovli fazoda giperkubning uchlaridan birini ifodalaydi. Kiruvchi vektorni uzatishda tarmoq holatdan holatga o'tadi, ya'ni yakuniy holatga yetmagunicha giperkubning uchlari bo'yicha harakatlanadi. Kiruvchi vektorlar, vazn koeffitsiyentlari va boshlang'ich qiymatlarning ma'lum bir qiymatlari turg'un holatlarga mos keladi. Bitta tarmoqda vazn koeffitsiyentlari va boshlang'ich qiymatlar o'zgarimasdan qolgani uchun (bu yerda o'qitish rejimi hisobga olinmaydi) turg'un holatlari joriy kiruvchi vektorlar bilan aniqlanadi. 5.13-rasmda uchta chiquvchi neyronli tarmoq uchun holatlar kubi keltirilgan.



5.13-rasm. Uchta chiquvchi tugunli tarmoq uchun holatlar kubi

Koxonen va Grosberglar rekurrent tarmoqning vaznlar matrisasi nollardan iborat bosh diagonalga nisbatan simmetrik bo'lsa, bu tarmoq turg'unidir deb tasdiqlaganlar [5,42]. Bu tasdiq quyidagi yo'l bilan isbotlanadi. Faraz qilaylik, tarmoq o'z holatini o'zgartirganda qiymati kamayadi. Bu funksiya nolga yetmagunicha kamayishi kerak. Funksiya sifatida quyidagi Lyapunov funksiyasini olish mumkin:

$$E = -\frac{1}{2} \left(\sum_i \sum_j w_{ij} y_i y_j - \sum_j x_j y_j + \sum_j \theta_j y_j \right). \quad (5.3)$$

Bu yerda E – tarmoqning “energiya” si; x_j - tashqaridan beriluvchi kiruvchi vektorning j -komponentasi; θ_j - j -neyronning boshlang'ich qiymati;

(5.3) ifodani hisobga olgan holda, j -neyron holatining o'zgarishi tufayli kelib chiqqan energiya o'zgarishining formulasini yozib olamiz:

$$\Delta E = - \left[\sum_{i \neq j} (w_{ij} y_i) + x_j - \theta_j \right] \Delta y_j. \quad (5.4)$$

(5.4) ifodani ko'rib chiqaylik. Agarda neyronning o'lchangan kirishi boshlang'ich qiymatdan oshsa, u faol holatga o'tadi, bu degani, musbat qiymatda kvadrat qavslardagi y_j ifoda “1” qiymatni qabul qiladi. Shunday qilib, agarda bundan oldin uning qiymati nolga teng bo'lgan bo'lsa, ortish qiymati $\Delta y_j = 1$ ga teng, agarda neyron bundan oldin ham faol holatda bo'lgan bo'lsa, uning holati

o'zgarmaydi, demak $\Delta y_j = 0$ bo'ladi. Bu degani, ΔE kattalik yoki manfiy bo'ladi, yoki o'zgarmaydi.

Agarda umumiy kirish boshlang'ich qiymatdan kichik bo'lsa, u holda neyron "0" holatni qabul qiladi, bu degani Δy_j kattalik yoki "-1" yoki "0" qiymatni qabul qiladi. Bunday holda (5.4) dagi barcha ifodalar yoki manfiy, yoki nolga teng bo'ladi.

Umumiy kirish boshlang'ich qiymatga teng bo'lgan holda (5.4) dagi ikkala ko'paytuvchi nolga teng bo'ladi, demak, ΔE ham nolga teng bo'ladi.

Shunday qilib, neyronlar holati o'zgarganida tarmoqning energiyasi yoki kamayadi, yoki o'zgarmaydi va holatlarning chekli sondagi yangilanishlarida u minimumga intiladi, so'ngra o'zgaras bo'lib qoladi, bu esa tarmoq turg'unligining belgisidir. Shuni qayd etish joizki, vaznlar matrisasining simmetriligi yetarli bo'lsa ham, zaruriy shart emas.

Rekurrent tarmoqlar assotsiativ xotira modellari vazifasini o'tashi mumkin. Inson xotirasi bilan an'anaviy kompyuterning xotirasi o'rtasida sezilarli farq bor. Mashina xotirasidan axborotni o'qib olish uchun, axborot joylashgan manzilni ko'rsatish kerak. Inson xotirasi biroz boshqacharoq tuzilgan. Undan axborotni olish uchun mazmuniga tegishli ma'lum bir kalit axborot kerak bo'ladi. Masalan, agar odam unga tanish kitobning nomini eshitsa, u kitobning mualliflarini, mazmunini, muqovasining rangi va h.k. larni eslashi mumkin. She'riyat ustalari she'rning birinchi satrlaridanoq butun she'rni eslaydilar, musiqa bilimdonlari hamma asarlarni ularning biron bir qismini eshitishlari bilanoq eslashlari mumkin va h.k.

Assotsiativ xotirani rekurrent tarmoqlarda modellashtirish uchun, ularning maqsad holatlarini aniqlash va holat fazosidagi mazkur nuqtalarda energiyani minimallashtirish kerak. Agar bunday shartlar bajarilsa, to'liq obrazning bir qismi, yoki buzilgan variantini uzatishda, tarmoq, yuqori imkoniyat darajasi bilan to'liq obrazni akslantiradi. Rekurrent tarmoqlar bilan ta'minlanuvchi mazkur imkoniyat axborotni tiklash usullarini ishlab chiqishda katta rol o'ynashi mumkin.

[5] ishda Xopfild assotsiativ xotirani ishlab chiqish uchun quyidagi g'oyani taklif qildi. Binar vector ko'rinishidagi y^1, y^2, \dots, y^m obrazlarni xotirada saqlab qolish kerak bo'lsin. U holda, mazkur obrazlarni "esda tutuvchi" rekurrent tarmoq asosida, assotsiativ xotirani yaratish uchun uning vazn koeffitsiyentlarini quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin:

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^m y_i^k y_j^k,$$

bu yerda y_i^k - k-vektorning i-komponentasi.

Shunday qilib, vazn koeffitsiyentlarini aniqlagandan so'ng (bunda $w_{ij} = w_{ji}$ - bu tarmoqning barqarorligini ta'minlaydi) tarmoq assotsiativ xotira sifatida qo'llanilishi mumkin. Agarda uning kirishiga y^j ning to'liq bo'lmagan yoki buzilgan variantini ifodalovchi y^j vektorni uzatsak, tarmoq yuqori imkoniyat darajasi bilan asl ko'rinishini tiklaydi. Bu kiruvchi vektor uzatilgandan so'ng tarmoq "o'zini bo'sh qo'yganligi", ya'ni o'zining energiyasini eng yaqin minimum

tomonga qarab kamaytirgani uchun sodir bo'ladi. Bu minimum global emas, lokal bo'lib qolgan varianti ham kuzatilishi mumkin.

Shu paytgacha biz boshlang'ich elementli rekurrent tarmoqlarni ko'rib chiqdik. Sigmoid funksiya boshlang'ich qiymatga qaraganda haqiqatga yaqinroqdir, chunki neyron bitta holatdan boshqasiga o'tishi uchun ma'lum bir vaqt talab qilinadi. Xopfild quyidagi ko'rinishdagi sigmoid funksiyani [42] qo'llovchi tarmoqlarni o'rganib chiqdi

$$y = 1 / (1 + e^{-\lambda \sum x_i w_i}) . \quad (5.5)$$

Bu yerda λ koeffitsiyent funksiyaning burilish darajasini ko'rsatadi. λ cheksizlikka intilganda, (5.5) funsiya boshlang'ichga yaqinlashadi, λ ni kichraytirganda funksiyaning egri chizig'i silliqlashadi.

Bunday tarmoqlarga nisbatan ular barqarorligining yetarli sharti, ya'ni vazn koeffitsiyentlari matrisasining simmetriklik sharti bajariladi.

5.3. Neyron to'rlarini o'qitish algoritmi

O'qitish usullarining tasnifi. Neyron to'rlari o'qitilish xossasiga egadir. Shu xossa tufayli ular nafaqat kirishga kelib tushadigan obrazlarni tanib olishi, balki aniqroq tanishuvlarni olib borishga moslashishi mumkin. Shunday qilib, neyron to'rlari ikki rejimda yoki fazada: o'qitish rejimi va tanib olish rejimida faoliyat olib borishi mumkin.

Ayni vaqtda dunyoda neyron tarmoqlarini o'qitishning bir qator algoritmlari ishlab chiqilgan. Har xil tadqiqotchilar tomonidan o'qitish usullarini tasniflashning bir nechta variantlari ishlab chiqildi. Rummelxard va Mak-Klelland [5] yechiladigan masalalar bo'yicha tasniflashni taklif qildilar va bunda quyidagi sinflarni ajratib ko'rsatdilar:

- obrazlarning assotsiasiyasi(o'xshatilishi);
- avtoassotsiatsiya;
- qonuniyatlarni belgilash;
- tasdiqlash orqali o'qitish.

Tasnifni o'qitiluvchi qoidalarni turi bo'yicha ham olib borish mumkin. Bunda quyidagi turlarni ajratib ko'rsatish mumkin:

- korrelyatsion o'qitish;
- xatolarni to'g'irlash yo'li bilan o'qitish;
- raqobat asosida o'qitish;
- Bolsman mashinalarini o'qitish.

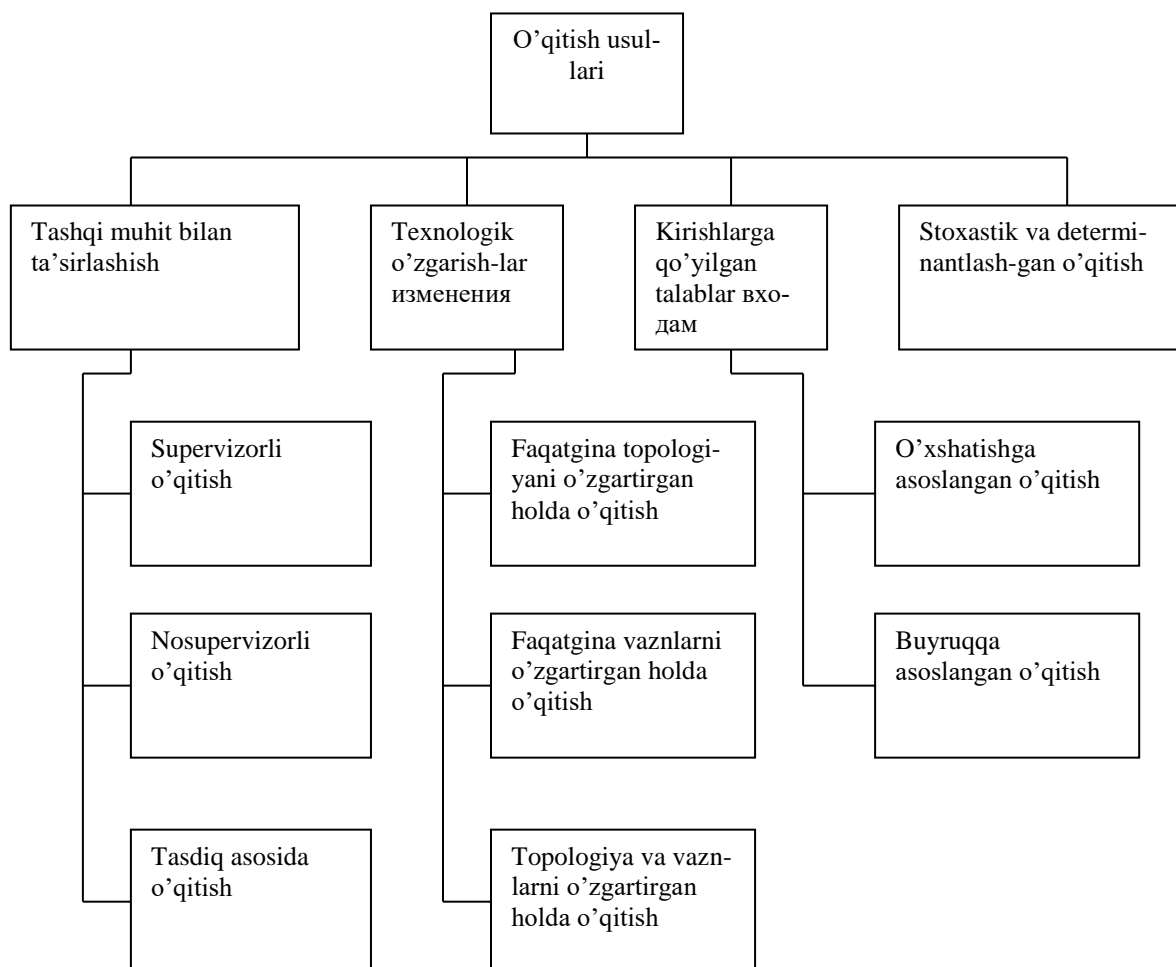
5.14-rasmda [3] da taklif qilingan tasnif keltirilgan. Uni sinchkovlik bilan ko'rib chiqaylik.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, tasnif olib boriladigan omillardan biri o'qitiluvchi tarmoqning tashqi muhit (o'qituvchi) bilan o'zaro ta'sirlashish tasnifidir.

Tasniflash usullarining xilma-xilligiga qaramay, o'qitiluvchi neyron tarmoqning tashqi muhit bilan o'zaro ta'sirlashuv xarakteri to'g'risidagi masala eng ahamiyatlidir. Bu yerda har xil sinflar o'qitish jarayonida kelib tushadigan axbo-

rotning miqdori va semantikasiga mos ravishda tashqi muhitdan ajratib ko'rsatiladi. Bunda quyidagi algoritmlar sinflari farqlanadi:

- supervizorli o'qitish (supervised learning);
- nosupervizorli o'qitish (unsupervised learning);
- tasdiq asosida o'qitish (reinforcement learning).



5.14-rasm. Neyron to'rlarini o'qitish usullarining tasnifi

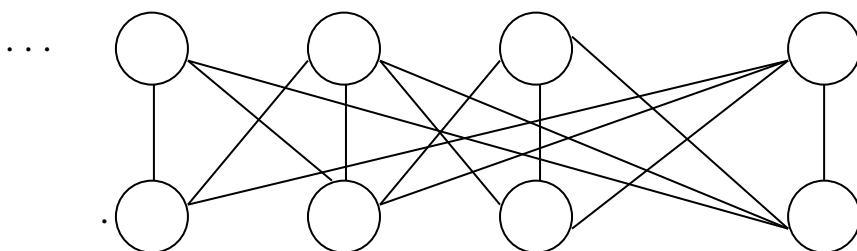
Tashqi muhit bilan supervizorli usullardan foydalanganda izchil o'zaro ta'sirlashuv kuzatiladi. Bunda kiruvchi vektorlar to'plami va ularga mos kelgan chiquvchi vektorlar to'plami aniqlanadi. Har bir kiruvchi vektorning i-komponentasi tarmoqning i-kiruvchi neyroniga uzatiladigan signalga mos keladi. Huddi shunday, chiquvchi vektorning j-komponentasi j-chiquvchi neyronida qabul qilinuvchi signalga mos keladi. Kiruvchi vektor X va unga mos kelgan chiquvchi vektor Y birgalikda o'qitish juftligini tashkil etadi. Jami o'qitish juftliklarining majmui o'qitish to'plamini tashkil etadi. Chiquvchi vektorlar joriy qiymatlarining o'qitish to'plamidan tanlab olinganlarga nisbatan chetlashishlari o'qitish jarayonida hisoblanadi. Hisoblangan bahoga muvofiq ravishda tarmoq parametrlari to'g'irlanadi. Neyron tarmoqlarni o'qitish algoritmlari ichida keng qo'llaniluvchi xatolarning teskari tarqalish (error backpropagation) algoritmi shu tamoyil asosida

ishlaydi [82]. O'qitishning supervizorli algoritmlari mazkur bo'limda batafsil ko'rib chiqiladi.

Berk qatlamsiz tarmoqlar uchun o'qitishning supervizorli algoritmi.

Ikki qatlamli tarmoqni (5.16-rasm), ya'ni kiruvchi vektorlari x_i bevosita chiquvchi y_j ga ulangan berk qatlamlarni o'z ichiga olmagan tarmoqni ko'rib chiqaylik.

Kiruvchi qatlam



Chiquvchi qatlam

5.16-rasm. Berk qatlamsiz tarmoq

Kiruvchi neyronlarning faollik darajasi qabul qilinuvchi vektorga bog'liq bo'ladi:

$$y_i = f\left(\sum_i w_{ij}x_i - \theta_j\right),$$

bu yerda w_{ij} - kiruvchi neyron i dan chiquvchi neyron j gacha bo'lgan aloqa vazni; θ_j - j -neyronning boshlang'ich qiymati (surilishi); f - uzluksiz silliq faollashtirish funksiyasi. Bizga $\{X^n, Y^m\}$ o'qitish juftliklari berilgan bo'lib, masala x_i^n xususiy kiruvchi vektorlarni y_i^m chiquvchiga iloji boricha to'g'riroq akslantirishlarni qurishdan iboratdir. O'qitishni olib borish uchun tarmoq ishining bajarilish me'yorini aniqlash kerak. Bunday me'yor bo'lib quyidagi kattalik xizmat qiladi:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j,k} (y_{jk}^* - y_{jk})^2, \quad j = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, c}, \quad (5.6)$$

bu yerda y_{jk}^* - k -o'qitish juftligidan olingan j -chiquvchi maqsad vektori komponentasining qiymatidir; y_{jk} - k -akslantirish holida j -chiquvchi vektor komponentasining haqiqiy qiymati; m – chiquvchi vektorning o'lchami; c - o'qitish to'plamida kirish/ chiqish juftliklarining soni; E -o'qitishning umumiy xatoligi. Chiquvchi signallarning haqiqiy va maqsad qiymatlarining farqi (5.6) da qo'shiluvchilarning ishoralari har xil bo'lganda qisqarib ketishlarning oldini olish maqsadida kvadratga ko'tariladi.

Shunday qilib, o'qitish masalasini (5.6) munosabatni minimallashtirish masalasiga olib kelish mumkin. Bu masalani yechish uchun dastlab tasodifiy ravishda

vazn koeffitsiyentlarini berib qo'yish va xatoning qiymatiga qarab xatolikning minimal qiymatiga mos kelgan nuqtaning harakatlanish yo'nalishi va qadamini tanlash kerak. Bu harakat "gradiyentli tushish" deyiladi (chunki xatolik munosabatida minimumga asta-sekinlik bilan tushiladi) va quyidagi yo'l bilan hisoblanadi:

$$\Delta w_{ji} = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}. \quad (5.7)$$

Bu yerda ε kattalik "o'qitish tezligi" deyiladi va minimumga erishish qadamini aniqlaydi. O'qitish tezligini juda ham katta qilib tanlansa, jarayon tarmoqni minimum nuqtasidan "hatlab o'tishga" majbur qiladi. Agarda ε ni juda ham kichik qilib tanlasak, o'qitish juda ham uzoq davom etadi, lekin topilgan yechim, ya'ni kvadratga ko'tarilgan o'qitish xatoligi eng kichik bo'lgan muqobil qiymat w_{ji} qiymatga juda ham yaqin bo'ladi. $\frac{\partial E}{\partial w_{ji}}$ hosilani topamiz:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = \sum^c \frac{\partial E}{\partial y_i} \frac{\partial y_j}{\partial I_j} \frac{\partial I_j}{\partial w_{ij}} = -\sum^c (y_j^* - y_j) \frac{\partial y_j}{\partial I_j} x_i,$$

bu yerda $I_j = \sum_i w_{ji} x_i - \theta_j$ - j-neyronning umumiy baholangan kirishi. Yuqorida keltirilgan formula yordamida yig'indi barcha o'qitish juftliklari bo'yicha olib boriladi.

Shunday qilib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}} = -\sum^c (y_j^* - y_j) \frac{\partial y_j}{\partial I_j} x_i. \quad (5.8)$$

U holda kiruvchi neyron I dan chiquvchi neyronga yo'nalgan aloqa vaznini yangilash kattaligini aniqlovchi munosabat quyidagi ko'rinishda yozib olinadi:

$$\Delta w_{ji} = \varepsilon \sum^c (y_j^* - y_j) \frac{\partial y_j}{\partial I_j} x_i \quad (5.9)$$

hamda vaznlar quyidagi yo'l bilan yangilanadi:

$$w_{ji}(n+1) = w_{ji}(n) + \Delta w_{ji}, \quad (5.10)$$

bu yerda $w_{ji}(n+1)$ - (n+1)-o'qitish qadamidan keyingi aloqa vazni; $w_{ji}(n)$ - n-qadamdan keyingi (n+1)-qadam, o'qitish qadamigacha bo'lgan aloqa vazni.

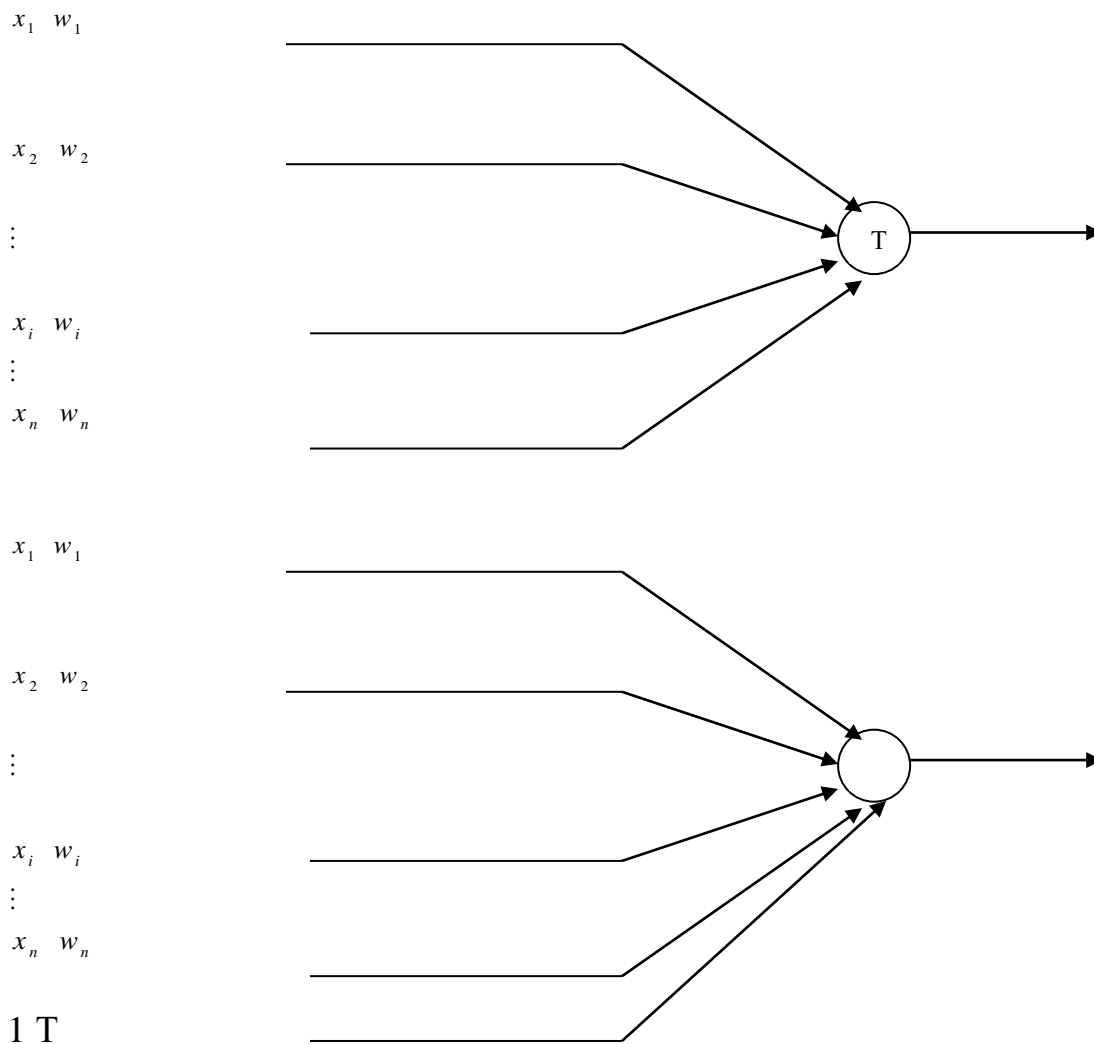
Oldindan ishoralarini o'zgartirgan holda, chiquvchi elementlarning boshlang'ich qiymatlarini sozlash uchun doimiy signal "1" ga ulangan (5.9) ko'rinishidagi kirishlarni vazn sifatida qabul qilish mumkin. Bunday farazni kiritib, biz boshlang'ich qiymatlarining o'zgarish kattaliklarini aniqlash uchun, quyidagi munosabatni yozib olishimiz mumkin:

$$\Delta \theta_j(n+1) = \varepsilon \sum^c (y_j^* - y_j) \frac{\partial y_j}{\partial I_j}, \quad (5.11)$$

$$\Delta \theta_j(n+1) = \Delta \theta_j(n) + \Delta \theta_j, \quad (5.12)$$

bu yerda $\theta_j(n+1)$ $(n+1)$ - o'qitish qadamidan keyingi boshlang'ich qiymat; $\theta_j(n)$ - boshlang'ich qiymatning $(n+1)$ -qadamgacha bo'lgan qiymati. (5.9)-(5.12) munosabatlar berk qatlamsiz tarmoqlar uchun kichik kvadratlar jarayoni [42] deb nomlanuvchi supervizorli o'qitish algoritmini aniqlaydi. Bu kattalik tanlangan faollashtirish funksiyasiga bog'liq bo'ladi. Agarda bu funksiya chiziqli bo'lsa, u holda $\frac{\partial y_j}{\partial I_j}$ o'zgarmas kattalikdir. Agarda faollashtirish funksiyasi sifatida sigmoid funksiya tanlangan bo'lsa, u holda quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\frac{\partial y_j}{\partial I_j} = \frac{\partial}{\partial I_j} \left(\frac{1}{1 + e^{-I_j}} \right) = y_j(1 - y_j).$$



5.17-rasm. Boshlang'ich qiymatlarni vazn ko'rinishida tasvirlash

Kichik kvadratlar jarayonining geometrik talqinini keltiramiz. Bizga n ta kiruvchi va m ta chiquvchi neyronli tarmoq berilgan bo'lsin. Demak, aloqalar soni, vazn koeffitsiyentlarining soni nm ga teng bo'ladi. Bu kattalikka boshlang'ich qiymatlar sonini ham qo'shsak $nm+m=(n+1)m$ ga ega bo'lamiz. Shunday qilib, ikki qatlamli tarmoq $n \times m$ da qaror qabul qilinuvchi o'zgaruvchilar soni $(n+1)m$ ga teng. $((n+1)m+1)$ -o'lchovli fazodagi har bir o'zgaruvchi uchun o'q o'tkazamiz. E-umumiy xatolikka nisbatan maxsus o'qni o'tkazamiz. Vazn koeffitsiyentlari va boshlang'ich qiymatlarning har bir kombinatsiyasiga xatolikning "balandligi" (kattaligi) ni aniqlovchi ma'lum bir nuqta mos keladi. Bunday nuqtalarning geometrik to'plami $((n+1)m+1)$ -tartibli gipertekislikni tashkil qiladi. Kichik kvadratlar jarayoni davomida xatolik sathida mavjud eng yaqin "chuqur" ning "tub" igacha bo'lgan yo'nalishda tushib boriladi. Tushishni boshlash nuqtasi tasodifiy ravishda tanlanuvchi vazn koeffitsiyentlari va boshlang'ich qiymatlar orqali aniqlanadi. Faollashtirish funksiyasining ko'rinishiga qarab xatolik sathining o'zi har xil shaklni qabul qilishi mumkin. Agarda kiruvchi neyronlarning faollashtirish funksiyasi chiziqli bo'lsa, bu sath piolasimon shaklga ega bo'ladi. Bu ko'p o'lchovli piolaning tubida o'qitish masalasining muqobil yechimi joylashadi. Nochiziqli funksiyalardan foydalanganda xatolik sathida lokal "chuqurlar" (ya'ni

minimumlar) to'plami hosil bo'ladi. Kichik kvadratlar jarayoni chiquvchi elementlar chiziqli bo'lsa, yoki ularning faollashtirish funksiyalari nochiziqli yoki monoton bo'lib, "ideal" yechim mavjud bo'lsa, muqobil yechimning (yoki, to'g'rirog'i, muqobilga yaqin yechimning) topilishini kafolatlaydi.

Xatoning teskari tarqalish algoritmi. Mazkur bo'limda berk neyronsiz ikki qatlamli tarmoqlarni o'qitish proseduralari ta'riflangan edi. Bu prosedura (5.14) xatoning minimal qiymatini izlaydi. Lekin, afsuski, ikki qatlamli tarmoqlar bir qator masalarni hisoblash quvvati yetarli bo'lmaganligi uchun yecha olmaydi. Bunday masalalarga "inkor qiluvchi yoki" muammosi misol bo'la oladi, chunki u yordamchi qatlamlarni o'z ichiga olmagan sodda tarmoq yordamida yechila olmaydi.

Ko'p qatlamli neyron tarmoqlarini o'qitish uchun berk neyronlarga kirgan aloqaning vazn koeffitsiyentlarini sozlash uchun kichik kvadratlar jarayonini umumlashtirish kerak. Xatolikning teskari tarqalish algoritmi [42,82] ko'p qatlamli tarmoqlar uchun eng kichik kvadratlar jarayonining umumlashgan ko'rinishidir. Bunday umumiylikni hisobga olganda, berk bosqichdagi neyronlar uchun xatolik me'yorini aniqlash muammosi tug'iladi. Bu muammo xatolik me'yorini keyingi qatlamdagi xatolik bilan baholash orqali hal bo'ladi. O'qitishning har bir qadamida har bir kirish/chiqish juftligiga nisbatan "to'g'ri o'tish" («forward pass») amalga oshiriladi. Bu degani, neyron tarmog'ining kirisihiga kiruvchi vektor uzatiladi, buning natijasida tarmoq orqali kiruvchi qatlamdan chiquvchigacha bo'lgan yo'nalishda faollashtirish oqimi o'tadi va hamma neyronlarning holatlari aniqlanadi. Tarmoqning chiqishida chiquvchi vektor generatsiyalanadi, u maqsad funksiyasi bilan solishtiriladi va o'qitish xatoligi baholanadi. So'ngra, mazkur xatolik tarmoq bo'ylab, o'z vazn koeffitsiyentlarining qiymatlarini o'zgartirgan holda kiruvchi qatlam tomon teskari tarqaladi. Shunday qilib, o'qitish jarayoni navbatma-navbat keluvchi to'g'ri va teskari o'tishlar jarayonidir («backward pass»), jumladan, to'g'ri o'tishda tarmoq elementlarining holati aniqlanadi, teskari o'tishda esa - xatolikning bahosi tarqaladi va vazn koeffitsiyentlarining qiymatlari yangilanadi. Ushbu jarayonni bajarilishining hisobiga xatolikning teskari tarqalish algoritmi degan nom kelib chiqqan.

Yuqorida aytib o'tilganidek, qatlamlar sonining oshishi tarmoqning hisoblash quvvati ortishiga, oxir oqibat esa - murakkab akslantirishlarni ta'minlash muammosiga olib keladi. Uch qatlamli tarmoq kirishlar fazosida qavariq sohalarni ajratishi mumkin. To'rtinchi qatlamning qo'shilishi noqavariq sohalarga ham yo'l ochib beradi. Shunday qilib, to'rt qatlamli neyron to'rini qurish yordamida ixtiyoriy akslantirishlarni qurish mumkin. Lekin, ayrim paytlarda, ko'p qatlamli tarmoqlarni qurish samara beradi.

Berk elementlarning mavjudligi ulardan muqobil foydalanish muammosini oldinga suradi. Xatoliklarning teskari tarqalish algoritmi berk qatlamdagi neyronlar holatlarining ichki talqinlarini quradi. Shuni qayd etish joizki, berk neyronlarni qo'llash yo'llarini avtomatik izlash katta vaqt talab qiladi, demak, o'qitishning umumiy vaqti ham ortadi.

(5.7) munosabatdan ko'rinib turibdiki, w_{ji} vazni yangilash qadamini tanlash uchun $\frac{\partial E}{\partial w_{ji}}$ hosilaning qiymatini aniqlash kerak. Bu kattalik o'z navbatida

$\frac{\partial E}{\partial y_j}$ orqali aniqlanadi. Berk neyronlar uchun $\frac{\partial E}{\partial y_j}$ kattalikni baholashda quyidagi munosabatdan foydalaniladi:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j^{(n)}} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k^{(n+1)}} \frac{\partial y_k^{(n+1)}}{\partial I_k^{(n+1)}} \frac{\partial I_k^{(n+1)}}{\partial y_j^{(n)}} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k^{(n+1)}} \frac{\partial y_k^{(n+1)}}{\partial I_k^{(n+1)}} w_{kj}, \quad (5.13)$$

bu yerda $y_j^{(n)}$ - n-berk qatlamdagi j-neyronning chiqishi, $y_k^{(n+1)}$ -(n+1)-qatlamdagi k-neuron, $I_k^{(n+1)}$ - (n+1) qatlamdan olingan k neyronning umumiy o'lchangan kirishi.

Shunday qilib, agarda tarmoqda m ta qatlam bo'lsa, u holda $\frac{\partial E}{\partial y_k^{(m)}}$ kattalik oldin

chiquvchi qatlamga nisbatan aniqlanadi, so'ngra, navbatma-navbat $\frac{\partial E}{\partial y_k^{(m-1)}}$, $\frac{\partial E}{\partial y_k^{(m-2)}}$, ..., $\frac{\partial E}{\partial y_k^{(1)}}$ kattaliklar hisoblanadi.

Xatoliklarning teskari tarqalish algoritmi neyron tarmoqlarini o'qitish usullari ichida eng keng tarqalganligi sababli, uni sinchkovlik bilan ko'rib chiqamiz.

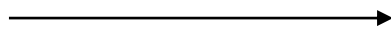
5.18-rasmda [42] algoritmda qo'llanilgan neyron sxemasi tasvirlangan.

Faollashtirish funksiyasi F o'zining aniqlanish sohasida differensiallanuvchi bo'lishi kerak. F funksiya sifatida ko'pincha sigmoid faollashtirish funksiyasidan foydalaniladi, uning ko'rinishi quyidagicha:

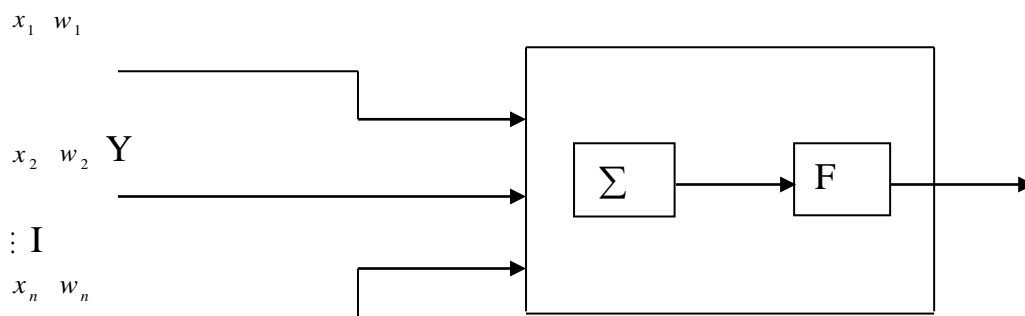
$$\frac{dy}{dx} = y(1 - y).$$

O'qitish jarayonini boshlashdan oldin vazn koeffitsiyentlarining qiymatini nol atrofida taqsimlangan tasodifiy kattaliklar bilan initsiallashtirish kerak. Bunda, vaznlarning boshlang'ich qiymatlari bir-biriga teng bo'lmasligi muhimdir.

Faollashtirish



Xatolik



$$I = \sum x_i w_i$$

$$Y = F(I)$$

5.18-rasm. Xatoliklarning teskari tarqalish algoritmda qo'llanilgan neyron sxemasi

5.19-rasmda xatoliklarning teskari tarqalish algoritmlari sxemasi keltirilgan.

1-qadam. Boshlash. Vazn koeffitsiyentlarini initsiallashtirish.

2-qadam. O'qitish to'plamidan barcha vektorlar juftligi uchun 3-6 qadamlarni takrorlash. 7-qadamga o'tish.

3-qadam. O'qitish to'plamidan navbatdagi kiruvchi vektorni tarmoq kirishiga uzatish.

4-qadam. To'g'ri o'tish. Hamma neyronlarning holatini qatlam-qatlam aniqlash.

5-qadam. Haqiqiy chiquvchi vektorning joriydan chetlashishini hisoblash.

6-qadam. Teskari o'tish. Xatolikning tarmoq bo'ylab orqaga tarqalishi. Vaznlarni yangilash.

7-qadam. Agarda o'qitish xatoligi yetarli darajada kichik bo'lmasa u holda 2-qadamga qaytish.

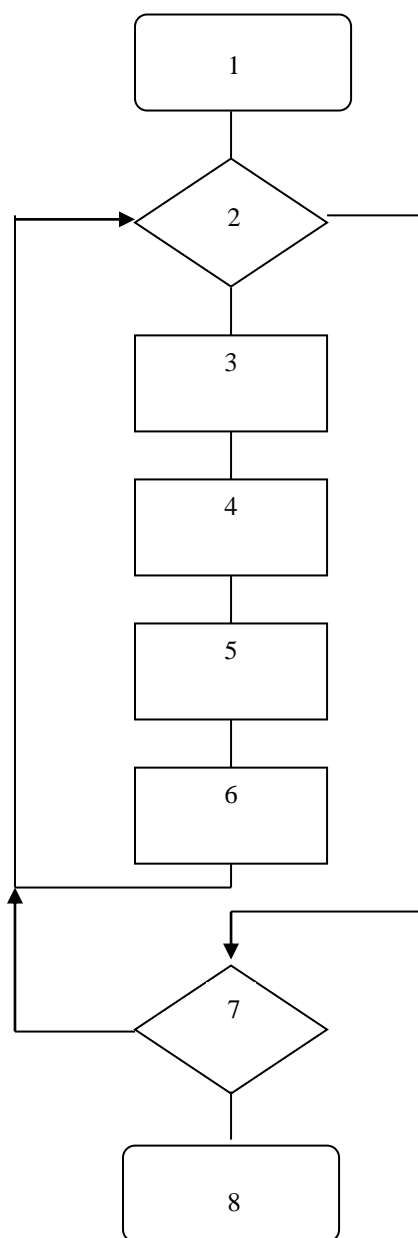
8-qadam. O'qitishni yakunlash.

Yuqorida qayd etilganidek, o'qitishning boshida vazn koeffitsiyentlarga nol atrofida taqsimlangan tasodifiy qiymatlar yozib qo'yiladi. Vaznlarning boshlang'ich qiymatiga o'qitish uslubi bog'liq bo'ladi. Muvaffaqiyatsiz initsiallashtirishda tarmoq o'qitilmasligi mumkin. Bunday holatda o'qitish jarayonini vazn koeffitsiyentlarining boshqa joriy majmui bilan boshlash kerak.

4-qadam tarmoqning tanib olish rejimiga o'xshashdir. Bunda tarmoqning kirishiga X uzatiladi va kiruvchi qatlamlardan keyin kelgan neyronlar uchun umumiy vazn kirishlar $I_j = \sum_j w_{ji} x_i$ ko'rinishda yoki vektor talqinda

$$I=WX$$

kabi aniqlanadi.



5.19-rasm. Xatolarning teskari tarqalish algoritmining sxemasi

Bundan so'ng, kiruvchi signallarini faollashtirish funksiyasiga muvofiq ravishda, ko'rilayotgan qatlamdagi neyronlar $y_j = F(z_j)$ korinishda yoki vektor talqinda

$$Y=F(I)$$

kabi aniqlanadi.

Bu qatlamning chiqishlari keyingilari uchun kirish vazifasini o'taydi. Neyronlarning holatlari ketma-ket ravishda, qatlamma-qatlam, chiquvchi qatlamga yetishmaguncha va neyron tarmoqning chiqishida haqiqiy chiquvchi vektor topilmaguncha aniqlanadi

5-qadamda chiquvchi vektor haqiqiy qiymatining joriy o'qitish juftligidagi hisoblangan qiymatidan chetlashish kattaligi aniqlanadi. Chetlashish (xatolik) ning hisoblangan qiymatiga muvofiq ravishda, 6-qadamda aloqa vaznlari qatlamlar bo'yicha, lekin endilikda teskari tartibda - chiquvchi qatlamdan mavjudigacha bo'lgan yo'nalishda yangilanadi. Vaznlarni sozlash jarayoni kirishga yaqin

qatlarga erishganda, tarmoqning hamma koeffitsiyentlarini yangilagandan so'ng to'xtatiladi. Ushbu yangilangan parametrlarda tarmoq yangi o'qitish xatologi darajasini ishlab chiqadi. 7-qadamda xatolik qiymatini baholash jarayoni bajariladi. Agarda bu qiymat berilgan darajadan ortib ketsa, o'qitish davom ettiriladi. Agarda u me'yorda bo'lsa, jarayon to'xtatiladi va hamma vazn koeffitsiyentlarining qiymatlari tanib olish fazasida ishlatilish uchun saqlab qolinadi.

Istalgan chiquvchi vektor o'qitish to'plami tomonidan bevosita berilganligi uchun, har bir chiquvchi j neyron uchun xatolik qiymati quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$e_j = y_j^* - y_j, \quad (5.14)$$

bu yerda e_j - j -kiruvchi neyronning xatoligi; y_j - haqiqiy chiquvchi vektordagi j -komponentaning qiymati (j -chiquvchi neyronning joriy qiymati). Bu kattalik $F(I)$ faollashtirish funksiyasining birinchi tartibli hosilasiga ko'paytiriladi:

$$\delta_j = (y_j^* - y_j)F'(I_j).$$

Agarda F faollashtirish funksiyasi - sigmoid bo'lsa, u holda ifoda quyidagi ko'rinishni qabul qiladi:

$$\delta_j = (y_j^* - y_j)(1 - y_j). \quad (5.15)$$

j -chiquvchi elementning xatosi va faollashtirish funksiyasining oxirgisidan oldingi qatlamdagi elementlarning joriy holatlari orqali, berilgan nuqtada o'lchangan kirish bo'yicha olingan hosilasini o'z ichiga olgan (5.15) xatolik yordamida, oxirgi va oxirgidan bitta oldingi qatlamlar orasidagi vazn aloqa koeffitsiyentlarining ortish qiymatlarini aniqlash, yoki, sodda qilib aytganda, chiquvchi neyronlarning vaznlarini yangilash mumkin. Ortish kattaligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\Delta w_{ji} = \varepsilon \delta_j x_i, \quad (5.16)$$

bu yerda Δw_{ji} - j -neyron vazn koeffitsiyentining i -kirishdagi orttirilishi; x_i - j -neyronning kirishi, u oldingi qatlamdagi i -neyronning chiqishidir; ε - o'qitish tezligi bo'lib, u $[0,01; 1,00]$ oralig'ida tanlanadi. Vaznlarning yangilangan qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

$$w_{ji}(n+1) = w_{ji}(n) + \Delta w_{ji}, \quad (5.17)$$

bu yerda $w_{ji}(n+1)$ - vaznning $(n+1)$ -o'qitish qadamidan keyingi qiymati; $w_{ji}(n)$ - vazn koeffitsiyentining $(n+1)$ -qadamgacha bo'lgan qiymati.

Shunday qilib, ko'p qatlamli neyron tarmog'ining oxirgi qatlamini o'qitish uchun (5.14)-(5.17) munosabatga ega bo'ldik. Bu algoritmi berk qatlamlarni o'qitishga nisbatan qo'llashda berk neyronlar uchun (5.14) kattalikni aniqlash muammosi vujudga keladi. Haqiqatdan ham, agar y_j^* qiymatlar o'qitish to'plamida oldindan berib qo'yilsa, u holda berk neyronlarning istalgan qiymatlari o'qitishdan oldin ma'lum bo'lmaydi. Rummelxart va boshqalar xatolarning teskari tarqalish algoritmining g'oyasini taklif etmagunlarigacha ko'p qatlamli tarmoqlar uchun o'qitish algoritmlarini ishlab chiqishda bu omil to'siq bo'lgan.

To'g'ri o'tishda har bir qatlamdagi har bir neyron o'qitish jarayoniga o'zining xatoligini kiritadi. Berk neyronlar tomonidan yakuniy natijaga kiritiluvchi xatolikni aniqlash uchun chiquvchi qatlamning xatoligi bilan ish ko'rish kerak. Oxiridan bitta oldingi qatlamning neyronlari uchun xatolik qiymati chiquvchi qatlamning xatosidan foydalangan holda aniqlanadi. So'ngra, k qatlamdagi barcha neyronlarning xatolari k+1 qatlamdagi neyronlarning xatolari orqali aniqlanishi mumkin. Shunday qilib, xatolar tarmoq bo'ylab teskari yo'nalishda tarqaladi.

Ko'p qatlamli neyron to'ring k- va (k+1)-qatlamini ko'rib chiqaylik. (k+1)- qatlamdagi neyronlarning xatoligi ma'lum deb olamiz. U holda shu qatlamning barcha neyronlariga nisbatan $\delta_j^{(k+1)}$ kattalikni hisoblash mumkin:

$$\delta_j^{(k+1)} = e_j^{(k+1)} y_j (1 - y_j^{(k+1)}), \quad (5.18)$$

bu yerda $e_j^{(k+1)}$ - j-neyronning (k+1) qatlamdagi xatoligi; $y_j^{(k+1)}$ - (k+1)-qatlamdagi j-neyronning holati.

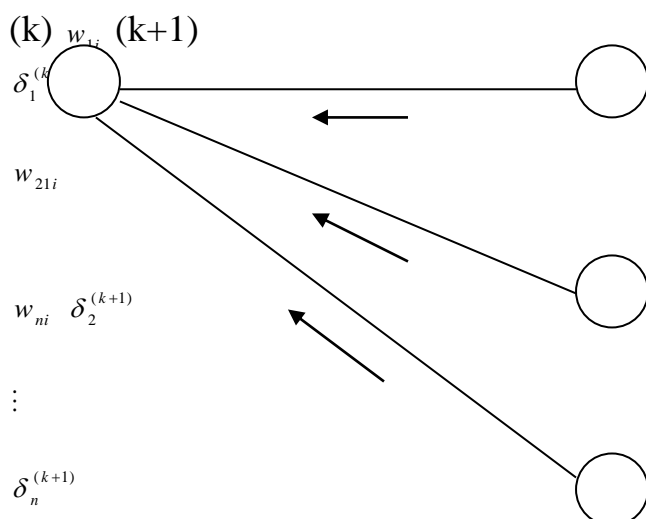
k-qatlamdagi i-neyron uchun xatolikni baholashda (k+1) qatlamdagi neyronlardan i-neyronga qarab (5.18) qiymatlardan iborat vaznli aloqalarni tarqatamiz. k qatlamda i-neyron uchun xatolikning quyidagi qiymatiga ega bo'lamiz:

$$e_i^{(k)} = \sum_j \delta_j^{(k+1)} w_j^{(k+1)} = \sum_j e_j^{(k+1)} y_j^{(k+1)} (1 - y_j^{(k+1)}) w_{ji}^{(k+1)}.$$

$\delta_i^{(k)}$ kattaliklar quyidagicha aniqlanadi:

$$\delta_i^{(k)} = y_i^{(k)} (1 - y_i^{(k)}) \sum_j \delta_j^{(k+1)} w_{ji}^{(k+1)}. \quad (5.19)$$

Bu yerda $y_i^{(k)}$ - k-qatlamdagi i-neyronning chiqishi; $w_{ji}^{(k+1)}$ - k qatlamdagi i-neyronning kirishida (k+1) qatlamdan olingan j neyronning vazni.



5.20-rasm. Xatolikning teskari tarqalishi

So'ngra, chiquvchi qatlamdagi neyronlar holdagi kabi chiquvchi qatlamdagi neyronlar vaznining ortish qiymatlari aniqlanadi, ya'ni k qatlamdagi neyron vaznlarining ortish qiymatlari hisoblanadi:

$$\Delta w_{il}^{(k)} = \varepsilon \delta_i^{(k)} x_i^{(k)} \quad (5.20)$$

va nihoyat vazn qiymati yangilanadi:

$$w_{il}^{(k)}(n+1) = w_{il}^{(k)}(n) + \Delta w_{il}^{(k)}, \quad (5.21)$$

bu yerda $x_i^{(k)}$ - i -neyronning i -kirishi; $w_{il}^{(k)}(n+1)$ - $(n+1)$ - o'qitish qadamida $(k-1)$ - qatlamdagi i -neyronning chiqishi hisoblangan k -qatlamdagi i -neyronning l - kirishdagi vazni.

Ko'pgina masalalarni yechish uchun j -neyronning umumiy vaznli kirish formulasida ma'lum bir siljishdan foydalanish maqsadga muvofiqdir (ayrim hollarda esa zarurdir):

$$I_j = \sum_i w_{ji} x_i + \theta_j,$$

bu esa boshlang'ich qiymat tushunchasiga yaqindir (siljish oldidagi ishora ahamiyatga ega emas). Siljishdan foydalanish o'qitish tezligini oshirishi mumkin. Siljishning o'qitilishini ta'minlash uchun, uni "1" signali ishtirok etgan kirish vazni sifatida tasvirlash mumkin. U holda, k -qatlamda i -neyronga nisbatan $\theta_i^{(k)}$ siljishni hisoblash uchun quyidagi formulalardan foydalanish mumkin:

$$\Delta \theta_i^{(k)} = \varepsilon \delta_i^{(k)}, \quad (5.22)$$

$$\theta_i^{(k)}(n+1) = \theta_i^{(k)} + \Delta \theta_i^{(k)}. \quad (5.23)$$

Agarda tarmoq m ta qatlamdan iborat bo'lsa, u holda chiquvchi qatlamdagi q - neyronning xatoligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$e_q^{(m)} = y_q^{*(m)} - y_q^{(m)}. \quad (5.24)$$

Shunday qilib, (5.18)-(5.24) munosabatlar xatolikning teskari tarqalish algoritmini aks ettiradi. ε qiymat o'qitish davomida tarmoqning hamma qatlamlariga nisbatan o'zgarmas bo'lib qoladi.

O'qitish jarayonida navbatdagi o'qitish juftligi tanlanadi, vaznlar to'g'rilanadi, so'ngra keyingi juftlik tanlanadi va h.k. Shunday qilib, har bir o'qitish juftligiga nisbatan har bir qadamda Δw_{ji} katallik faqatgina bir marta hisoblanadi. Bitta vektorlar juftligi uchun butun o'qitish jarayoni oxirigacha olib borilib, so'ngra boshqa juftlik tanlanadigan hol xatodir. Bunda, boshqa juftlikka o'tishda, birinchi juftlik uchun hisoblangan vazn "buziladi". Masalan, agar biz neyron tarmog'ini alifbo harflarini tanishga o'qitgan bo'lib, "A" harfidan boshlab to oxirigacha tarmoqni uni tanishga o'rgatgan bo'lsak, u holda, bundan keyin, huddi shu yo'l bilan «B» harfini o'qitgan bo'lsak, tarmoq "A" harfini unutib bo'ladi, chunki mos vaznlar yo'qotilgan bo'ladi.

Xatolarning teskari tarqalish algoritmining kamchiliklaridan biri, o'qitilgan tizimga yangi kirish/ chiqish akslantirishini qo'shishga zarurat tug'ilganida, o'qitish jarayonini yangi o'qitish juftligi (yoki juftliklari) bilan to'ldirilgan o'qitish to'plami bilan birga boshidan boshlash kerak.

Xatolarning teskari tarqalish algoritmi asosida o'qitish jarayonining samaradorligini oshirish uchun uning bir qator ko'rinishlari ishlab chiqildi.

Shunday qilib, Rummelxart, Xinton va Vilyams [5] teskari tarqalish algoritmidan foydalanganda barqarorlikni oshiruvchi va o'qitish vaqtini kamaytiruvchi "momentlar" usulini taklif etdilar. Uning mazmuni quyidacha. Nochiziqli funktsiyaning berk qatlamlaridan foydalanganda, xatolikning sathi geometrik talqinda, ko'pgina qavariqliklar va botiqliklarga ega («cho'qqi» va «chuqurlik») bo'ladi. O'qitishning boshida tarmoq sathdagi shu nuqtalarning biriga tushib olinadi. O'qitish jarayonida eng yaqin chuqur (lokal minimum) tomonga harakat qilinadi (tushiladi). Bunda harakatlanish qadami tanlangan o'qitish tezligiga bog'liq bo'ladi. Agarda o'qitish tezligi juda ham katta bo'lsa, u holda tarmoq eng yaqin turgan tor chuqurni hatlab o'tishi mumkin. Ta'riflangan usulda vaznlarning oldingi to'g'irlangan qiymatlaridan joriylarini aniqlashda foydalanish taklif etiladi, bu esa tarmoqni shu egrilanishlarining tubiga tushishga majbur qiladi. Vaznlarni to'g'rilovchi munosabatlar quyidagi ko'rinishda yozib olinadi:

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \varepsilon \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ji}(n), \quad (5.25)$$

$$w_{ji}(n+1) = w_{ji}(n) + \Delta w_{ji}(n+1), \quad (5.26)$$

bu yerda α moment deyiladi va odatda 0,9 ga yaqin deb olinadi.

O'qitishda eksponensial silliqlashtirishdan foydalanish quyidagi munosabatlarga olib keladi:

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \alpha \Delta w_{ji}(n) + (1 - \alpha) \delta_j x_i, \quad (5.27)$$

$$w_{ji}(n+1) = w_{ji}(n) + \varepsilon \Delta w_{ji}(n+1). \quad (5.28)$$

(5.27) formula Sedjnovsk va Rozenberg [5,42] tomonidan takliq qilingan. Bu yerda α - silliqlashtirish koeffitsiyenti. Ko'rinib turganidek, $\alpha = 0$ silliqlashtirish bo'lmaganda, (5.27)-(5.28) munosabatlar bazali algoritmi, teskari tarqalish algoritmini ifodalaydi. $\alpha = 1$ da

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \Delta w_{ji}(n),$$

ya'ni vaznlarning oldingi o'zgarishlari takrorlanadi.

0 va 1 oralig'ida yotgan α da α ga proporsional silliqashtirish sodir bo'ladi.

O'qitish tezligini oshirish uchun faollashtirish funksiyasining ikkinchi tartibli hosilasidan foydalanish [1] da taklif etiladi. Mos usul ikkinchi tartibli xatolarning teskari tarqalish algoritmi deyiladi. Ishda ikkinchidan yuqori tartibli hosilalardan foydalanish o'qitish vaqtini yaxshilashga olib kelmasligi isbotlangan. Jumladan, ikkinchi tartibli hosilalarni hisoblash qo'shimcha mashina vaqtining harajatini talab qiladi.

Xinton [5] xatolarning teskari tarqalish algoritmini ehtimollar nazariyasi nuqtai nazaridan ko'rib chiqqan. Har bir chiquvchi vektor berilgan kiruvchi vektorda shartli ehtimollik bo'yicha taqsimlanishga bo'ysunadi. Bunday talqinda xatolarning teskari tarqalish algoritmi maqsadli (istalgan) taqsimotlar generatsiyasining ehtimolini maksimallashtirishga yo'nalgandir.

6. INTELLEKTUAL BOSHQARUV TIZIMLARINING STRUKTURASI

6.1. Optimal boshqaruv masalalarini yechish muammolari

Mazkur bobda optimal boshqaruv nazariyasida ko'riladigan masalalarning asosiy muammolari keltirib o'tiladi.

1. Boshqaruv obyekti (yoki boshqaruv tizimi) - "rullar" bilan ta'minlangan ma'lum bir model, qurilma, jaryondir. Rullarni boshqargan holda biz obyektning harakatini aniqlaymiz, ya'ni uni boshqaramiz,

"Rul" so'zi qo'shtirnoqqa olingan, chunki "rul" deganda, albatta qurilma emas, balki ixtiyoriy obyektlar tushuniladi. Masalan, avtomobilning ikkita ruli: baranka va akseleratori bor, boshqaruv resurslari esa g'ildiraklarning maksimal burilish burchagi bilan xarakterlanadi. Boshqaruv obyekti sifatida kimyoviy reaksiyani amalga oshiruvchi texnologik jarayonni qarasaq, u holda "rul" vazifasini katalizatorning miqdori, aralashmalarning konsentratsiyasi o'tashi mumkin.

Bizga boshqaruv obyekti berilgan bo'lsin, shuning uchun bizga ham boshqaruv resurslari, ham harakat qonuni ma'lumdur.

Ko'pincha, obyektning boshqarish imkoniyatlari, nafaqat, boshqaruv resurslari bilan chegaralanadi, balki, harakat jarayonida obyekt fizik jihatdan mumkin bo'lmagan vaziyatlarga tushib qolishi kerak emas. Masalan, elektr tizimining ishlatishida motorning qizib ketishiga yo'l qo'yish mumkin emas. Bunday cheklanishlar obyektning o'ziga umuman bog'liq emas, ular aniq bir masalaning shartlariga qarab aniqlanadi.

Boshqaruv obyekti bilan ish ko'rganda biz "rul" ni shunday boshqarishga intilamizki, natijada boshlang'ich holatdan istalgan holatga o'tamiz - oldimizda turgan boshqaruv maqsadini amaliyotga tadbiiq etamiz. Obyektning boshlang'ich holati ham, boshqaruv maqsadi ham ko'rilayotgan tadbiiqiy masalaga bog'liq bo'ladi.

Odatda, obyektning boshqarishning cheksiz ko'p usullari mavjud. Bu borada, boshqaruv maqsadini qanday bo'lsada amalga oshirish masalasi emas, balki, u yoki bu ma'noda, eng yaxshi, ya'ni optimal hisoblangan boshqaruv usulini topish masalasi vujudga keladi. Bunda bizga sifat mezoni kerak bo'lib, u qaysi boshqaruv usuli yaxshiroq, qaysinisi esa yomonroq ekanligi to'g'risida xulosa chiqarishga imkon beradi.

Optimal boshqaruv masalasining mazmuni shulardan iboratdir.

2. Optimal boshqaruv masalasini matematik tilda ifodalaymiz. Buning uchun, muhim boshqaruv obyektlarining sinfiga matematik ta'rif beramiz.

Fiksirlangan vaqt momentidagi holati n ta x^1, \dots, x^n nuqtalar - fazali koordinatalar orqali ta'riflansin. Bu sonlarni $x = (x^1, \dots, x^n)$ fazali vektorning komponentalari deb olish qulaydir. Shunday qilib, har bir vaqt momentidagi obyekt holatini n -o'lchovli R^n Evklid fazosining nuqtasi orqali ta'riflash mumkin.

Obyektning harakati uning fazali koordinatalari vaqt o'tishi bilan o'zgarib borishidan iboratdir, ya'ni fazali vektor t ekrlri o'zgaruvchining vektor-funksiyasi bo'ladi. $x(t) = (x^1(t), \dots, x^n(t))$ fazali nuqta obyekt harakati davomida fazali fazoda

ma'lum bir egri chizikli trayektoriyani hosil qiladi. $x(t)$ trayektoriya vaqt bo'yicha uzluksiz funksiya bo'ladi.

R^n fazali fazoda ma'lum bir Ω to'plam - boshqaruv obyekti tushib qolishi mumkin bo'lgan barcha fazali holatlarning majmui berilgan bo'lsin. U holda, obyektning harakati davomida uning $x = (x^1, \dots, x^n)$ holati har bir vaqt momentida fazali koordinatalarga qo'yilgan cheklanishlar (fazali cheklanishlar) deb nomlanuvchi

$$x \in \Omega \quad (6.1)$$

shartga bo'ysunishi kerak. Ω berk, fazali trayektoriya esa uning chegarasidan o'tgan hol alohida ahamiyatga sazovordir.

Boshqaruv obyekti r vaqt momentida u^1, \dots, u^r sonlar - boshqaruv parametrlari, ya'ni $u = (u^1, \dots, u^r)$ boshqaruv vektori orqali xarakterlansin.

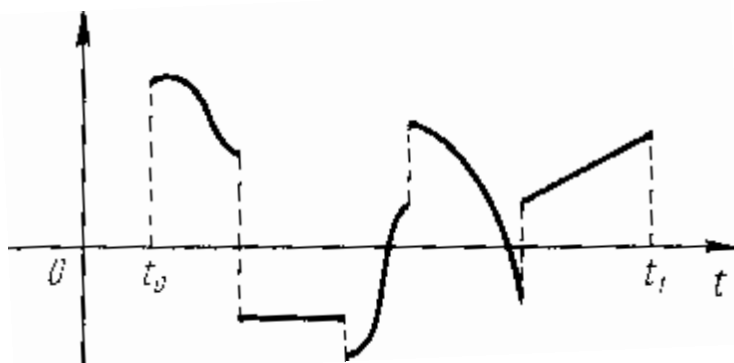
Boshqaruv tizimini xarakterlovchi muhim moment mavjud boshqaruvlar to'plamining, ya'ni funksiyalar majmuining ta'rifidir.

U to'plam boshqaruv sohasi deyiladi va ixtiyoriy vaqt momentida $u = (u^1, \dots, u^r)$ nuqta shu to'plamga tegishli bo'lishi kerak:

$$u \in U . \quad (6.2)$$

Odatda, U soha chegaralangan va berk bo'lgan hol qaraladi.

Boshqaruv sifatida bo'lakli-uzluksiz $u(t) = (u^1(t), \dots, u^r(t))$ vektor funksiyalar, ya'ni kesmada har bir $u^i(t)$ komponentasi birinchi tur uzilish nuqtalariga ega bo'lgan funksiyalar o'rnatiladi (6.1-rasm).



6.1-rasm. Birinchi tur uzilish nuqtalariga ega bo'lgan funksiyalar

Agar boshqaruv qiymatlarining sohasiga qo'yilgan (6.2) cheklanishlar tabiiy bo'lsa, u holda bo'lakli-uzluksiz funksiyalarning tanlovi to'g'risida bir og'iz so'z aytib o'tish kerak.

Birinchi talab, $u(t)$ funksiya uzluksiz bo'lishi kerak. Lekin bunday talab noqulaydir: uzluksiz funksiyalar sinfiga ko'rilyotgan optimal boshqaruv yo'q.

Shunday qilib, u joiz boshqaruv sifatida vaqt bo'yicha bo'lakli-uzluksiz funksiyalar majmuini qabul qilamiz. Bunday $u(t)$ funksiyani joiz boshqaruv deyish tabiiydir:

$$u(t) \in U . \quad (6.3)$$

Kelgusida, boshqaruv to'g'risida gapirganimizda, har doim joiz boshqaruvlarni tushunamiz:

$$x(t_0) = x_0 = (x_0^1, \dots, x_0^n). \quad (6.4)$$

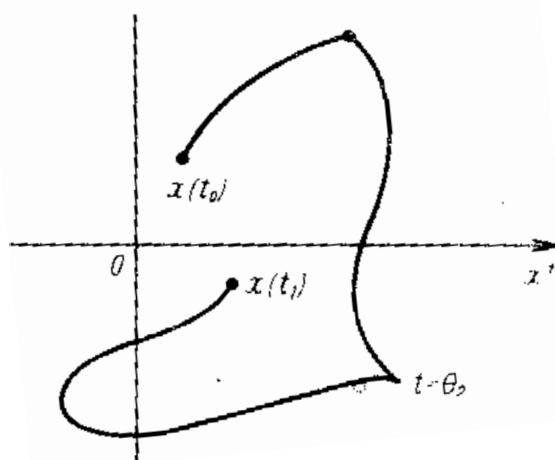
t_0 vaqt momentida (6.4) ni boshlang'ich deb hisoblaymiz. Bu yerda va qolgan barcha hollarda

$$\dot{x} = f(x, u) \quad (6.5)$$

bo'ladi, bu yerda $f(x, u)$ - ma'lum n -o'lchovli vektor funksiyadir:

$$f(x, u) = (f^1(x^1, \dots, x^n, u^1, \dots, u^r), \dots, f^n(x^1, \dots, x^n, u^1, \dots, u^r)),$$

uning ko'rinishi obyektning ma'lum bir xususiyatlari orqali ta'riflanadi.



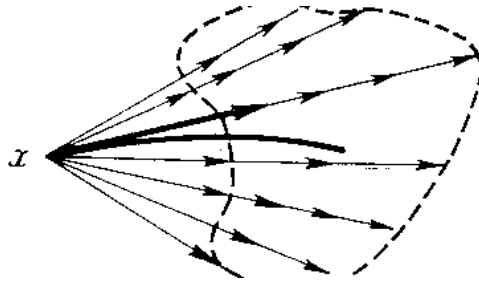
6.2-rasm. n -o'lchovli vektor funksiya

(6.5) munosabatni quyidagi tarzda tushunish kerak: agar $u(t)$, $t \geq t_0$ joiz boshqaruv tanlangan bo'lsa, uni (6.5) tenglikning o'ng tomoniga qo'yib, sodda differensial tenglamalar tizimiga ega bo'lamiz:

$$\dot{x} = f(x, u(t)). \quad (6.6)$$

Boshqaruv obyektining determinantlashuvi, $u(t)$, $t \geq t_0$ boshqaruvning tanlovi $x(t)$, $t \geq t_0$ trayektoriyani bir qiymatli aniqlashi kerak. Shunday bo'lishi uchun, $f(x, u)$ vektor-funksiya va barcha $\partial f^i / \partial x^j$ xususiy hosilalar argumentlar majmui bo'yicha uzluksiz deb olish yetarlidir. 6.2-rasmdagi vektor funksiya $u(t)$, $t_0 \leq t \leq t_1$ boshqaruvga mos keladi.

Shunday qilib, joiz boshqaruvga mos keluvchi (t) trayektoriya berilgan boshlang'ich shartda uzluksiz, uning hosilasi uzluksiz, uning hosilasi esa - bo'lakli-uzluksizdir. Agar ushbu trayektoriya har bir vaqt momentida (6.1) shartni qanoatlantirsa, u holda $(u(t), x(t))$ vektor funksiyalar juftligi joiz boshqaruv deyiladi. Ma'lumki x qiymat fazali tezlikni anglatadi va x nuqtada trayektoriyaga urinib o'tuvchi vektor orqali ifodalanadi. (6.3-rasm. Uzuq chiziq bilan shu vektorlar uchlarining to'plami ko'rsatilgan).



6.3-rasm. Fazali tezlikvektori

3. Real boshqaruv obyektlarini ko'rib chiqishda, harakatni boshqarish masalasi vujudga keladi. Uni bayon qilish uchun, biz R^n fazoda ma'lum bir M to'plam berilgan deb olamiz.

$u(t), t_0 \leq t \leq t_1$ (6.5) boshqaruv obyektini x_0 holatdan x_1 holatga o'tkazsa, mazkur boshqaruv boshqaruvning maqsadini amalga oshiradi deymiz.

(6.5) obyekt harakatining boshqaruv masalasi maqsadni amaliyotga tadbiiq etuvchi biror bir joiz boshqaruvni topishdan iboratdir. Boshqa so'z bilan aytganda, $u(t), t_0 \leq t \leq t_1$ kesmada shunday $u(t) \in u$ funksiyani topish kerakki, bunda (6.6) tenglama (6.1) shartni, (6.4) shartni va quyidagi shartni

$$x(t_1) \in M \quad (6.7)$$

qanoatlantiruvchi $x(t)$ yechimga ega bo'lsin.

Demak, boshqaruv masalasi (6.5), (6.4), (6.7)-chegaraviy masalani yechishga olib kelinadi.

Agar M to'plam yagona x_1 nuqtadan iborat bo'lsa, fiksirlangan o'ng uchli masala qaraladi. $M \subset R^n$ to'plam n dan kichik o'lchamli ko'p obrazlilikni ifodalaydi.

4. Boshqaruv masalasi cheksiz ko'p yechimlarga ega bo'lgan holni qaraylik-bunda maqsadni amaliyotga tadbiiq etuvchi cheksiz ko'p boshqaruvlar berilgan bo'lib, ular shu nuqtai nazardan butunlay teng huquqlidir. Bunda muqobil boshqaruv masalasi qo'yilishi mumkin.

Boshqaruv obyektini va qo'yilgan maqsaddan tashqari, sifat ko'rsatkichi berilgan bo'lib, uni quyidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_1} f^0(x, u) dt, \quad (6.8)$$

bu yerda $f^0(x, u)$ - ma'lum skalyar funksiya bo'lib, u barcha $\partial f^0 / \partial x^i$ xususiy hosilalar bilan birgalikda uzluksizdir. Har bir sifat ko'rsatkichi har bir $u(t), t_0 \leq t \leq t_1$ boshqaruvga aniq bir sonni mos qo'yishga imkon beradi: buning uchun (6.8) ning o'ng qismiga u ning o'rniga $u(t)$ ni, x ning o'rniga $x(t)$ trayektoriyani mos qo'yadi.

(6.5) obyektini muqobil boshqarish masalasi (6.8) funksional eng kichik qiymatlarni qabul qiluvchi maqsadni amalga oshiradi. Shu masalaning yechimi bo'lgan boshqaruv muqobil, unga mos kelgan trayektoriya esa - muqobil trayektoriya deyiladi.

(6.8) funksionalning eng muhim va odatiy holi $f^0(x, u) \equiv 1$ dir. U holda $J(u) = t_1 - t_0$, shunday qilib sifat ko'rsatkichi boshqaruv maqsadini amaliyotga tadbiiq etuvchi vaqtdir. Muqobil tezkorlik masalasi deb maqsadni minimal vaqt ichida amalga oshiruvchi boshqaruvni izlash masalasiga aytiladi.

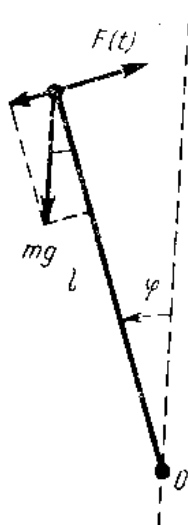
5. Optimal boshqaruv masalasining qo'yilishini tasvirlovchi misollarni keltiramiz.

6.1-misol. Matematik mayatnikni muvozanatning yuqori holatiga nisbatan hatti-harakatini ko'rib chiqaylik (6.4-rasm). Ishqalanishni hisobga olmaymiz. Agar mayatnikning og'ish burchagi φ yuqori muvozanat holiga nisbatan soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda hisoblasak, u holda mayatnik harakatining boshqaruvi quyidagi ko'rinishda yozib olinadi:

$$ml^2\ddot{\varphi} = mgl \sin \varphi .$$

Bu yerda m - mayatnikning massasi, l - uning uzunligi, g - og'irlik kuchining tezlanishi. $\omega^2 = g/l$ belgilashni kiritgan holda ikkinchi tartibli chizikli tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\ddot{\varphi} - \omega^2\varphi = 0 . \quad (6.9)$$



6.4-rasm. Matematik mayatnikni muvozanatning yuqori holatiga nisbatan hatti-harakati

Ma'lumki, mayatnik muvozanatining yuqori holati nobarqaror. Bu degani, boshlang'ich holat qanday bo'lishidan qat'iy nazar, mayatnik (6.9) tenglama bo'yicha harakatlanganda, oxir oqibat muvozanat holatidan uzoqlashib, aperiodik harakatlarni amalga oshiradi.

Endilikda mayatnikka $F(t)$ tashqi kuchni qo'yamiz, uning ta'sir chizig'i har bir t vaqt momentida l kesmaga perpendikulyardir (6.5-rasm). Majburiy harakat tenglamasi quyidagichadir:

$$\ddot{\varphi} - \omega^2\varphi = f(t), \quad f(t) = F(t)/ml . \quad (6.10)$$

$F(t)$ kuchni mayatnik $\varphi(0)$ boshlang'ich holatdan chekli vaqt davomida muvozanatning yuqori holatiga keladigan qilib tanlash mumkinmi? Agar buni amalga

oshirish mumkin bo'lsa, mayatnikni muvozanatning yuqori holatida qisqa vaqt ichida stabillashtirish mumkinmi? Bu bilan biz muqobil boshqaruv masalasiga kelamiz.

Har bir t vaqt momentida obyekt ikkita fazali koordinatalar - og'ish burchagi $\varphi = x^1$ va tezlik $\dot{\varphi} = x^2$ orqali xarakterlanadi. Demak, fazali fazo ikki o'lchovli bo'ladi. Fazali koordinatalarga qo'yilgan cheklanishlar

$$|x^1| \leq \Phi \quad (6.11)$$

ko'rinishga egadir. Boshqaruv parametrining vazifasini f "kuch" o'taydi; uni u harfi bilan belgilaymiz. Masalaning shartiga ko'ra (6.2) boshqaruv sohasi

$$-f_0 \leq u \leq f_0 \quad \text{yoki} \quad |u| \leq f_0 \quad (6.12)$$

tengsizlik orqali tasvirlanadi.

Mazkur belgilashlarda, (6.10) tenglama ikkinchi tartibli tizim shaklida yozib olinadi:

$$\dot{x}^1 = x^2, \quad \dot{x}^2 = \omega^2 x^1 + u, \quad (6.13)$$

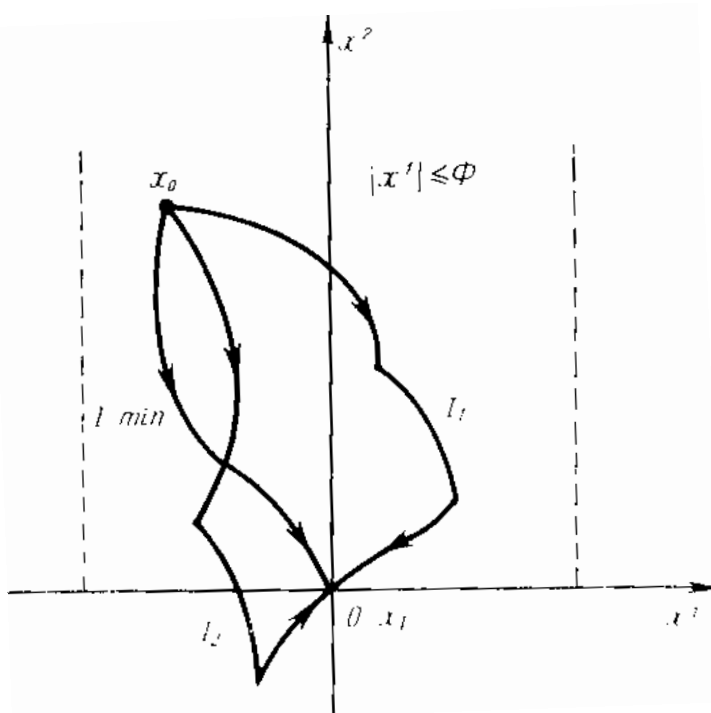
u mazkur holatda boshqaruv obyektining harakat qonuni ifodalaydi. Boshlang'ich fazali holat berilgan deb faraz qilinadi:

$$x_0 = (x_0^1, x_0^2) = (\varphi(0), \dot{\varphi}(0)). \quad (6.14)$$

Boshqaruv maqsadi yagona nuqta - fazali tekislikning koordinatalar boshidan iboratdir:

$$x_1 = (x_1^1, x_1^2) = (0, 0). \quad (6.15)$$

Sifat mezoni sifatida vaqtni olib, qaysi joiz boshqaruv (6.13) obyektini (6.14) holatga o'tkazishini aniqlash kerak. Biz (6.13) chiziqli model bilan shug'ullanamiz xolos, shuning uchun, ushbu modelning qo'llanilish doirasi to'g'risidagi masala chetga suriladi.



6.5-rasm. Matematik mayatnikni tashqi kuch holatiga nisbatan hatti-harakati

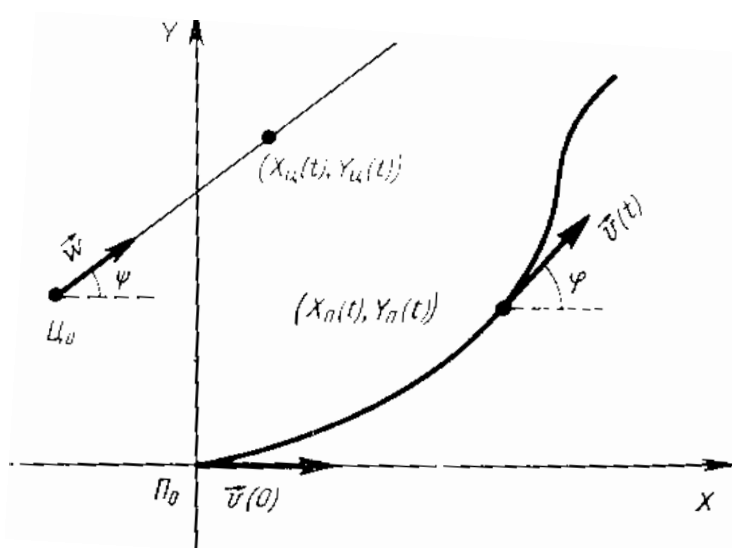
6.2-misol. Gorizontalkda ishqalanishsiz ikkita birlik massaga ega bo'lgan moddiy nuqtalar harakatlansin - qochuvchi M va quvuvchi Q. Qochuvchining harakat tavsifini bilamiz: boshlang'ich vaqt momentida u ma'lum M_0 nuqtada bo'lishi va to'g'ri chiziq bo'ylab o'zgarimas tezlik bilan $\bar{\omega}$ tezlanishda harakatlanishi kerak.

Boshlang'ich vaqt momentida M_0 nuqtada turgan quvuvchi v tezlik bilan ixtiyoriy silliq egri chiziq bo'ylab harakatlanishi kerak. Shunday qilib, quvuvchi boshqaruvga ega bo'ladi. Eng qisqa vaqt ichida qochuvchiga R masofaga yaqinlashishini ta'minlovchi quvuvchining harakat rejimini hisoblash kerak.

Harakat tekisligida boshi M_0 nuqtada bo'lgan XY koordinatalar sistemasini kiritamiz; X o'qini $v(0)$ vector bo'yicha yo'naltiramiz, Y o'qini esa X o'qi bilan 90° hosil qiladigan qilib tanlaymiz; soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda qaraymiz (6.6-rasm). Agar ψ bilan $\bar{\omega}$ vector va X o'q o'rtasidagi burchakni, $(X_m(t), Y_m(t))$ - bilan esa maqsadning joriy boshqaruvlarini belgilasak, u holda harakat tenglamalari quyidagi ko'rinishda yozib olinadi:

$$\dot{X}_m = \bar{\omega} \cos \psi, \quad \dot{Y}_m = \bar{\omega} \sin \psi, \quad (6.16)$$

$$\dot{X}_m(0) = X_{m0}, \quad \dot{Y}_m(0) = Y_{m0}. \quad (6.17)$$



6.6-rasm. Ishqalanishsiz ikkita birlik massaga ega bo'lgan moddiy nuqtalar harakati

$\varphi(t)$ funksiyani uzluksiz deb olish qulay. Egri chiziqning trayektoriyasi t vaqt momentida quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$k = \frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{\frac{ds}{dt}} \frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{v} \dot{\varphi}. \quad (6.18)$$

Yuqorida aytib o'tilganlarga ko'ra, boshqaruv parametri sifatida φ ni tanlash noqulaydir. Boshqaruv parametri sifatida k egrilanishni olish o'rinlidir.

Endilikda quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$x^1 = X_Q - X_M \quad x^2 = Y_Q - Y_M \quad x^3 = \varphi, \quad u = k.$$

(6.16)-(6.18) tengliklardan quyidagi munosabatga ega bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}^1 &= v \cos x^3 - \omega \cos \psi, & x^1(0) &= -X_{M0}, \\ \dot{x}^2 &= v \sin x^3 - \omega \sin \psi, & x^2(0) &= -Y_{M0}, \\ \dot{x}^3 &= vu & x^3(0) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6.19)$$

U x^1, x^2, x^3 o'zgaruvchilarning fazali fazosida boshqaruv obyektining harakat qonunini ta'riflaydi. Boshqaruv obyektini bo'lib

$$(x^1)^2 + (x^2)^2 = R^2 \quad (6.20)$$

to'plam xizmat qiladi. Optimal quvish masalasi minimal vaqt ichida (6.19) obyektini boshlang'ich vaqt ichida silindrik sathga (6.20) o'tkazuvchi joiz boshqaruvni aniqlashdan iboratdir.

6. Ko'pgina real hollarda ko'rinishi bilan o'zaro farq qiluvchi optimal boshqaruv masalalari vujudga keladi. Ayrim hollarda bu farqlar unchalik bilinmaydi, boshqalarida esa yaqqol ko'zga tashlanadi.

Fazali fazodagi ma'lum bir M to'plam boshqaruv maqsadini o'taydi, hech qanday cheklanishlar oldindan berilmaydi.

Lekin ko'pincha harakat vaqti berilgan holni ko'rishga to'g'ri keldi. Bunday holda fiksirlangan vaqtli masala to'g'risida gapiriladi.

Buning uchun x^{n+1} fazali koordinatani kiritamiz, u quyidagi munosabat orqali tasvirlanadi:

$$\dot{x}^{n+1} = 1, \quad x^{n+1}(t_0) = t_0 \quad (6.21)$$

va

$$\vec{x} = (x, x^{n+1}) = (x^1, \dots, x^n, x^{n+1})$$

vektorlar fazosida

$$\begin{aligned} \vec{\dot{x}} &= \vec{f}(\vec{x}, u), & \vec{f}(\vec{x}, u) &= (f^1(x, u), \dots, f^n(x, u)), \\ & & f^{n+1}(x, u) &\equiv 1 \end{aligned} \quad (6.22)$$

(6.5) obyektini (6.4) holatdan M to'plamga t_1 vaqt ichida ko'chirish masalasi (6.22) obyektini $\vec{x}_0 = (x_0, t_0)$ boshlang'ich holatdan R^{n+1} fazali M to'plamga ko'chirish masalasiga ekvivalentdir.

Sifat mezoni sifatida (6.8) integral funksional emas,

$$l(u) = F(x(t_1)) \quad (6.23)$$

ifoda tushuniladi, bu yerda $F(x)$ - berilgan skalyar funksiya, t_1 esa boshqaruv maqsadini tadbiq etish momenti. Haqiqatdan ham, agar, $F(x)$ funksiya differensiallanuvchi bo'lsa, u holda:

$$\begin{aligned}
F(x(t_1)) &= F(x(t_1)) - F(x(t_0)) + F(x(t_0)) = \int_{t_0}^{t_1} \frac{d}{dt} [F(x(t))] dt + F(x(t_0)) = \\
&= \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^n \frac{\partial F(x(t))}{\partial x_i} \frac{dx^i(t)}{dt} dt + F(x(t_0)) = \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i=1}^n \frac{\partial F(x(t))}{\partial x_i} f^i(x(t), u(t)) dt + F(x(t_0)).
\end{aligned}$$

Mazkur zanjirdagi oxirgi o'tishni amalga oshirdik. Bu yerda (6.23) funksionalni minimallashtirish (6.8) funksionalni minimallashtirishga teng kuchlidir, bu yerda $f^0(x, u)$ maxsus yo'l bilan tanlangan:

$$f^0(x, u) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial x^i} f^i(x, u).$$

(6.5) munosabat avtonom boshqaruv obyektining harakat qonunini ifodalaydi. Avtonom bo'lmagan tizimlarni ham qarash mumkin, ularning harakat tenglamasi:

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (6.24)$$

ko'rinishga egadir.

Lekin, qo'shimcha fazaviy koordinata (6.21) yordamida (6.24) optimal boshqaruv masalasi oshkor ravishda $(n+1)$ -o'lchovli fazali fazoda avtonom obyekt uchun ekvivalent masalaga olib kelinadi.

Huddi shu amallarni $M(t)$ to'plam vaqt o'tishi bilan ko'chib turadigan hol uchun ham amalga oshirish mumkin.

Joiz boshqaruvning boshqaruv sohasi har xil vaqt momentlarida turli xil bo'ladi. Ikkinchidan boshqaruv qiymatlariga qo'yilgan cheklanishlar (6.2) dan farqli ko'rinishga ega bo'ladi. Shunday qilib, boshqaruv "resurslari" quyidagi integral shaklda yozib olinadi:

$$\int_{t_0}^{t_1} \|u(t)\|^2 dt \leq \mu.$$

Bu yerda $\|\cdot\|$ - vektorning evklid normasi, $\mu > 0$ esa berilgan son. Uchinchi-dan, boshqaruv sifatida boshqa tabiatga mansub funksiyalarni - masalan, bo'lakli-o'zgarmas, chegaralanganlarni tanlashga to'g'ri keladi.

Huddi shunday fazali cheklanishlar (6.1)-dan farqli ko'rinishga ega bo'lishi, masalan $\Phi(u(t), x(t)) \geq 0$ turdagi tengsizliklar ko'rinishida berilishi mumkin.

Jumladan, harakat qonuni umuman boshqa ko'rinishga ega bo'lgan obyektlar uchraydi. Masalan, kechikkan ta'sirli obyektlar uchun harakat tenglamasi soddadifferensial tenglama ko'rinishida bo'ladi. Agarda o'zgarib turuvchi aralash muhitli obyektlar to'g'risida gap borsa, uning holatini xarakterlovchi x qiymat nafaqat vaqtga bog'liq funksiya bo'ladi. Bunday obyektlar taqsimlangan parametrli obyektlar deyiladi.

Obyektning holati vaqtning har bir momentida aniqlangan deb olinadi, ya'ni obyekt uzluksizdir. Lekin, holati faqatgina ayrim $t = t_0, t_1, \dots$ vaqt momentlarida aniqlangan diskret boshqaruvlarini ko'rib chiqish mumkin.

7. Optimal boshqaruv nazariyasi yuqorida bayon qilingan masalalarni o'rganish maqsadini oldinga suradi. Mazkur nazariyaning markaziy natijasi Pontryaginning maksimum prinsipi bo'lib, u boshqaruvning optimalligini ta'minlovchi shartni beradi. Bu natijalar va ular bilan bog'liq tadqiqotlar Pontryagin va uning xodimlari V.G.Boltanskiy va F.Mishenkolar tomonidan olib borilgan bo'lib, ular boshqaruv nazariyasining joriy bo'limiga aylandi.

Pontryaginning maksimum prinsipi universalligi va samaradorligi, boshqaruv nazariyasining nazariy va amaliy ahamiyati ko'p sonli ishlarning vujudga kelishiga turtki bo'ldi.

6.2. Boshqaruvning noravshan tizimlari

Keng qamrovli ob'ektlar sinfini, ayniqsa murakkab sanoat jarayonlarini avtomatik boshqarishda oxirgi yillar davomida noravshan boshqaruv tizimlaridan (NBT) keng foydalanilmoqda. NBT boshqaruv sinflarining sifat jihatidan yangi sinfi bo'lib, klassik determinatsiyalangan va stoxastik nazoratchilarni qo'llab bo'lmaydigan murakkab noravshan dinamik ob'ektlarini boshqarishda o'zini yaxshi tomondan ko'rsatdi.

6.2.1. Noravshan boshqaruv tizimlarini qurishning umumiy uslubiyati

Noravshan avtomat. Noravshan chekli avtomat tartiblangan oltilik $(U, X, Y, \delta, \sigma, s_0)$ bilan xarakterlanadi, bu yerda $U = \{a_1, \dots, a_m\}$, $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$ - mos ravishda kirish, holat va chiqishlarning chekli to'plamlari, $\delta : X \times U \times X \rightarrow L$, $\sigma : X \times Y \rightarrow L$ - mos ravishda o'tish va chiqish funksiyalari, s_0 - noravshan boshlang'ich holat ($s_0 : X \rightarrow L$). δ - o'tishlarning noravshan matrisalar to'plamini keltirib chiqaradi; σ - chiqishning noravshan matrisasini keltirib chiqaradi. Determinatsiyalangan chekli avtomat noravshan chekli avtomatning xususiy holdir ($\delta_{x_i x_j}$ 0 yoki 1 ga teng bo'lganda).

Noravshan algoritm. Noravshan to'plamlar orqali shakllantiriluvchi tushunchalarni o'z ichiga olgan noravshan yo'riqlar (mulohazalar) ning tartiblangan to'plami noravshan algoritm [3,4] deyiladi.

Ayrim amaliy hollarda chekli noravshan avtomatlar orqali ta'riflanuvchi noravshan algoritmlar qo'llaniladi.

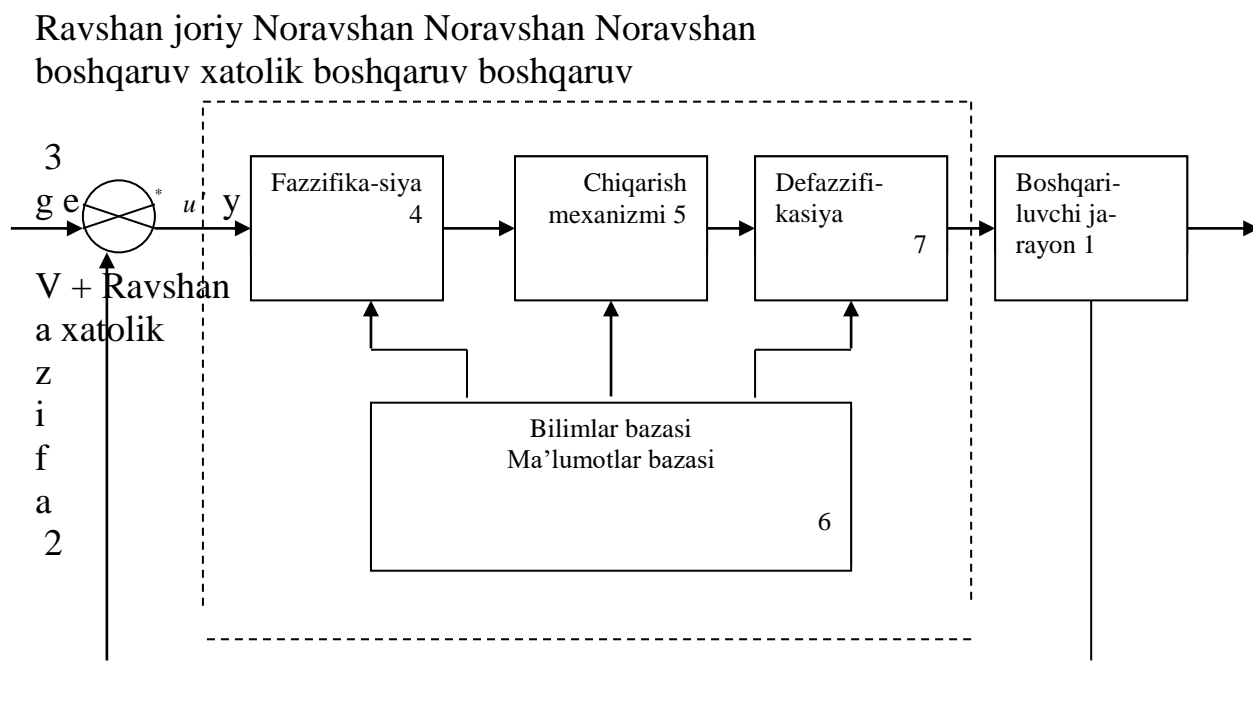
Noravshan nazoratchi. Noravshan nazoratchi noravshan mantiqdan bilimlar va noravshan xulosani tasvirlashda foydalanuvchi bilimlarga asoslangan nazoratchidir.

Noravshan tizimning asos tuzilmasi 6.7-rasmda keltirilgan. Boshqariluvchi 1 jarayonning joriy $Y(t)$ chiqishi ravshan signal ko'rinishida tizimning kirishiga qaytariluvchi aloqa sifatida yetib keladi, bu yerda element 3 $g(t)$ vazifa bilan tekshiriladi. $E(t)$ xatolik, zaruratga qarab ($e', e'' \dots$) hosilalar, $(\sum e(t))$ xatolikdan olingan integral ravshan signallar ko'rinishida 2 noravshan nazoratchi kirishiga yetkaziladi. Oxirgisi $e, e', \sum e$ ravshan signallarni $e^*, e^{**}, (\sum e)^*$ noravshan to'plamlarga transformasiyalovchi 4 fazzifikatorni yoqadi.

5 chiqarish mexanizmi shu signallarni moslashtirishning noravshan qoidalari saqlanuvchi signallar va bilimlar bazasini ta'riflovchi noravshan to'plamlari saqlanuvchi 6 bilimlar bazasidan foydalangan holda qabul qilib nazoratchining

$u^*(t)$ chiquvchi noravshan signalini qabul qilish uchun mantiqiy xulosani chiqaradi. Boshqariluvchi jarayon (bajariluvchi organga) chiqishiga u ravshan boshqaruv signali yetib kelganligi uchun, 7 element (defazzifikator) u^* ni boshqaruvning ravshan signali $u(t)$ ga transformasiyalaydi.

Quyidagi 6.7-rasmda alohida bloklar va butun noravshan tizimning ishlash tamoyili keltirilgan.



6.7-rasm. Noravshan boshqaruv tizimining bazali tuzilmasi

1. Fazzifikator. Fazzifikasiya - o'lgangan ravshan kirishlarni aniqlangan universumning ravshan to'plamlariga akslantirishdir.

Boshqariluvchi obyektning kirish va chiqishlari, demak boshqaruv tizimidagi xatolik ravshan signallar bo'lgani, noravshan nazoratchi ma'lumotlar noravshan to'plamlar asosida qayta ishlagani uchun, ravshan signallarni noravshanga aylantirish kerak. Buning uchun quyidagi fazzifikasiya operatoridan foydalaniladi:

$$F = \text{fuzzifier} (e_0). \quad (6.25)$$

Bu yerda e_0 - tizimdan yetib keluvchi ravshan signal, F -noravshan to'planning fuzzifier- fazzifikasiya operatori.

Fazzifikasiyaning quyidagi asosiy tamoyillari mavjud.

- fazzifikator ravshan qiymatni noravshan singltonga aylantiradi. Kiruvchi signal e_0 nolga teng $\mu_A(e)$ tegishlilik funksiyali noravshan to'plamga o'tadi, e_0 nuqtada tegishlilik funksiyasi 1 ga teng;

- agar ma'lumotlar tasodifiy shovqin bilan yetib kelsa, u holda fazzifikator ehtimolli ma'lumotlarni noravshanlarga aylantiradi;

- agar o'lchov natijalari ikkala ehtimolli va imkoniyatli noravshanliklar bilan xarakterlansa, fuzzifier operatori "gibrid son" qonunidan foydalanadi.

2. Ma'lumotlar bazasi. Ma'lumotlar bazasini noravshan boshqaruv tizimlarida loyihalashtirish universumni diskretlashtirish, normallashtirishni, kirish va chiqishlar fazosini noravshan bo'lish, noravshan to'plamlarning tegishlilik funksiyasini aniqlashni o'z ichiga oladi.

Universumni diskretlashtirish uchun signallarning o'lchangan qiymatlarini diskretlashtirilgan universumning qiymatiga almashtiruvchi shkalashtirish amalga oshirilishi kerak. Kvantlashtirish darajasini tanlash bilimning apriori bilan bog'liq. Noravshan nazoratchi quyidagi turdagi sozlash qoidalariga ega bo'lsin:

$$R_i: \text{Agar } e_i \in A_i \text{ va } e'_i \in B_i \text{ bo'lsa u holda } u \in C_i \text{ dir.}$$

Noravshan nazoratchiga sodda misol quyidagicha tasvirlanishi mumkin:

$$K_3[U(K)] = F[K_1 e(K), K_2 e'(K)].$$

Bu yerda F – bilimlar bazasi bilan aniqlanuvchi noravshan munosabat: $K_i, i = \overline{1,3}$ masshtablashtirish koeffitsiyentlari.

6.1 jadvalda yettita termli 13 bosqichli universumni diskretlashtirishga misol keltirilgan.

6.1-jadval

Daraja	Oraliq	MK	MO'	MKI	NoI	MUSKI	MUSO'	MUSK
-6	$x_0 \leq -3,2$	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-5	$-3.2 < x_0 \leq -1.6$	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-4	$-1.6 < x_0 \leq -0.8$	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
-3	$-0.8 < x_0 \leq -0.4$	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
-2	$-0.4 < x_0 \leq -0.2$	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0
-1	$-0.2 < x_0 \leq -0.1$	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0
0	$-0.1 < x_0 \leq +0.1$	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0
1	$+0.1 < x_0 \leq +0.2$	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0
2	$+0.2 < x_0 \leq +0.4$	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3	0.0
3	$+0.4 < x_0 \leq +0.8$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0
4	$+0.8 < x_0 \leq +1.6$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.3
5	$+1.6 < x_0 \leq +3.2$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7
6	$3.2 \leq x_0$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0

Universumning normallasuvi oxirgisini har biri normallangan universumning mos oraliq'iga akslanuvchi chekli sondagi segmentlarga diskretlashtirish bilan bog'liq. 6.2-jadvalda [-1,1] normallangan oraliqqa transformasiyalanuvchi [-6,0,+4,5) universumning normallasuvi keltirilgan.

Noravshan bo'linish term-to'plamda ishtirok etadigan termlar sonini aniqlaydi. Kirishlar fazosining term-to'plami quvvati bilimlar bazasida sozlashning noravshan qoidalarini maksimal sonini aniqlaydi. Odatda, muqobil noravshan bo'linishni tanlash uchun sinov va xatoliklarning evristik prosedurasidan foydalaniladi.

Normallashtirish va funksional ta'rifdan foydalanuvchi birlamchi noravshan to'plamlar

Normallashtirilgan universum	Normallashtirilgan oraliqlar	Oraliq	u_j	σ_j	Birlamchi noravshan to'plamlar
[-1.0,+1.0]	[-1.0,-0.5]	[-6.9,-4.1]	-1.0	0.4	MK
	[-0.5,-0.3]	[-4.1,-2.2]	-0.5	0.2	MO'
	[-0.3,-0.0]	[-2.2,-0.0]	-0.2	0.2	MKI
	[-0.0,+0.2]	[-0.0,+1.0]	0.0	0.2	HOJB
	[+0.2,+0.6]	[+1.0,+2.5]	0.2	0.2	MUSKI
	[+0.6,+1.0]	[+2.5,+4.5]	0.5	0.2	MUSO'
			1.0	0.4	MUSK

Birlamchi noravshan to'planning tegishlilik funksiyasini universumning turiga qarab aniqlashning ikkita usuli mavjud: sonli va funksional.

Birinchi holda, noravshan to'plam tegishlilik funksiyasining darajasi o'lchami diskretlashtirish darajasiga bog'liq sonli vektor ko'rinishida tasvirlanadi.

Bunda tegishlilik funksiyasining ko'rinishi quyidagicha:

$$\mu_A(u) = \sum_{i=1}^n a_i / u_i.$$

Ikkinchi holda noravshan to'plamlarning tegishlilik funksiyalari qo'ng'iroqsimon, uchburchaksimon, trapetsiyasimon kabi ma'lum bir funksional shaklga ega. Bunday funksiyalardan noravshan mantiqiy nazoratda (NMN) foydalaniladi, chunki ular o'z-o'zini noravshan arifmetika orqali boshqara oladilar.

3. Bilimlar bazasi. Noravshan shartli mulohazalar ko'rinishida ifodalanuvchi noravshan boshqaruv qoidalarining majmui qoidalar bazasi yoki NMN qoidalar majmuini hosil qiladi.

Ma'lumotlar bazasini loyihalashtirish uchun holat o'zgaruvchilari (kiruvchi parametrlari) va boshqaruv o'zgaruvchilari (chiquvchi o'zgaruvchilar) noravshan qoidalar turlarining manbaini aniqlashi kerak. Noravshan qoidalarni olishning 4 ta tartibi mavjud [1,2].

a) Boshqaruvning noravshan qoidalari holat o'zgaruvchilarini antesendetda va boshqaruv o'zgaruvchilarini konsekvntlarda o'lchovchi noravshan shartli mulohazalar shakliga ega.

Boshqaruvning noravshan qoidalarini shakllantirish ikkita evristik yondashuv orqali olib borilishi mumkin. Eng umumiyrog'i ekspertizaning shakllangan ko'rinishidan foydalanadi. Bunday shakllantirishning an'anaviy misoli texnologik jarayonni boshqarishning yo'riqnomalaridir. Boshqa yondashuv tajribali ekspertlarning so'rovi yoki sinchkovlik bilan tayyorlangan so'rovlarga asoslangan operatorlarni o'z ichiga oladi.

b) Operatorning boshqaruv amallari.

Berilgan holda noravshan qoidalar insonning boshqaruv faoliyati va kirish-chiqish aloqasini aniqlashdagi kuzatuvlardan keltirib chiqarilishi mumkin.

c) Jarayonning noravshan modeli.

Lingvistik yondashuvda boshqariluvchi jarayon dinamik tavsiflarining lingvistik ta’rifi jarayonning noravshan modeli sifatida qabul qilinishi mumkin. Noravshan modelga asoslangan holda biz dinamik tizimning muqobil funkcionallashuvini qo’llab-quvvatlovchi noravshan boshqaruv qoidalar tarmog’ini generasialashimiz mumkin.

d) Ta’limot.

O’z-o’zidan tashkil etiluvchi nazoratchilar [1,2] yordamida NMN ning bilimlar bazasini shakllantirish mumkin. Bunday nazoratchilar ikkita qoidalar bazasidan iborat ierarxik tuzilmaga ega. Birinchi baza - NMN qoidalarining umumiy qoidalar bazasi. Ikkinchisi butun tizimning funkcionallashuvi asosida umumiy qoidalar bazasini yaratish va o’zgartirishga ko’niktirishning insonga mos qobiliyatini namoyon qiladi.

Zamonaviy ta’limot yondashuvlari, xususan neuro-fuzzy, genetic yondashuvlar bilim olishga va NMN bilimlar bazasini muqobillashtirishga imkon beradi.

Tizimlarning NMN sini qurishda boshqarishning ikkita turdagi noravshan qoidalaridan foydalaniladi. Ko’pgina NMN larga nisbatan ko’p kirishli va bitta chiqishli tizimda qo’llaniluvchi noravshan qoidalarining ko’rinishi quyidagicha:

$$\begin{aligned}
 &\text{Agar } x_1 \in A_{11} \text{ va } x_2 \in A_{12} \dots \text{ va } x_n \in A_{1n} \text{ bo'lsa u holda } y \in B_1 \text{ bo'ladi} \\
 &\text{hamda} \\
 &\text{agar } x_1 \in A_{21} \text{ va } x_2 \in A_{22} \dots \text{ va } x_n \in A_{2n} \text{ bo'lsa u holda } y \in B_2 \text{ bo'ladi} \quad (6.26) \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\text{hamda} \\
 &\text{agar } x_1 \in A_{m1} \text{ va } x_2 \in A_{m2} \dots \text{ va } x_n \in A_{mn} \text{ bo'lsa u holda } y \in B_m \text{ bo'ladi.}
 \end{aligned}$$

Bu yerda x_1, x_2, \dots, x_n jarayonning holat va boshqaruv o’zgaruvchilarini aks etuvchi lingvistik o’zgaruvchilar; A_{i1}, \dots, A_{in} va B_i - x_1, x_2, \dots, x_n o’zgaruvchilarning mos ravishda U, V va W universumlardagi lingvistik qiymatlari.

Ko’pincha boshqaruv noravshan qoidalarining quyidagi shaklidan foydalanadi (TSK-modeldan foydalangan holda):

$$R_i : \text{Agar } x_{i1} \in A_{i1} \text{ va } x_{in} \in A_{in} \text{ bo'lsa u holda } y = f_i(x_1, \dots, x_n). \quad (6.27)$$

Bunday turdagi noravshan boshqaruv qoidalari ko’pincha “holatni baholash asosida noravshan boshqaruv qoidalari” deb atalib, t vaqt momentidagi jarayon holati (masalan, holat, holat xatoligi, holatning integrali) ni $(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$ funksiya va boshqaruv qoidalari sifatida baholaydi.

“Obyektni baholash asosida noravshan boshqaruv” yoki “predikativ noravshan boshqaruv” larda qo’llaniluvchi boshqa turdagi qoidalar quyidagi ko’rinishga ega bo’ladi:

$$R_i : \text{Agar } (u \in C_i \rightarrow (x \in A_i \text{ va } y \in B_i \text{ bo'lsa u holda } u \in C_i \text{ dir})). \quad (6.28)$$

Boshqaruv buyrug'i zaruriy holat va maqsadlarni qanoatlantiruvchi noravshan boshqaruv natijalarini obyektiv baholashdan keltirib chiqariladi. u boshqaruv buyrug'i o'zining qiymati sifatida ravshan to'plamni qabul qiladi va x, y i -qoidani "yaxshi" yoki "yomon" qiymat yordamida baholashning sifat mezonlari hisoblanadi. Eng mos boshqaruv qoidasi har bir boshqaruv qoidasi C_i ga mos (x, y) natijalarni bashoratlash asosida tanlanadi.

4. Chiqarish mexanizmi.

Noravshan nazoratchilarning yadrosi chiqarish mexanizmidir. Noravshan regulyatorlarning chiqarish mexanizmi noravshan implikasiyaga asoslanadi.

Uchburchaksimon norma. Uchburchaksimon norma $*$ - $[0,1]$ dagi $[0,1] \times [0,1]$ dan tarkib topgan ikki o'lchovli funksiya, ya'ni $*: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, keishma, algebraic ko'paytma, chegaralangan ko'paytma va qat'iy (drastic) ko'paytmani o'z ichiga oladi. Eng katta uchburchaksimon norma - kesishma, eng kichigi esa - qat'iy (drastic) ko'paytma. Uchburchaksimon normalar bilan bog'liq amallar barcha $x, y \in [0,1]$ lar uchun aniqlangan:

Kesishma: $x \wedge y = \min(x, y)$.

Algebraik ko'paytma: $x \cdot y = xy$.

Chegaralangan ko'paytma: $x \otimes y = \max\{0, x, y - 1\}$.

Qat'iy (drastic) ko'paytma: $x \cap y = \begin{cases} x, & y = 1, \\ y, & x = 1, \\ 0, & x, y < 1. \end{cases}$

Uchburchaksimon konorma. Uchburchaksimon konorma $+$ - bu $[0,1]$ dan olingan $[0,1] \times [0,1]$ iborat uchburchaksimon konorma, ya'ni $+: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$ kesishma, algebraic yig'indi, chegaralangan yig'indi, qat'iy (drastic) va dizyunktiv yig'indini o'z ichiga oladi. Uchburchaksimon konormalar bilan bog'liq barcha amallar barcha $x, y \in [0,1]$ lar uchun aniqlangan:

Birlashma: $x \vee y = \max(x, y)$.

Algebraik yig'indi: $x \hat{+} y = x + y - xy$.

Chegaralangan yig'indi: $x \oplus y = \min(1, x + y)$.

Qat'iy (drastic) yig'indi: $x \cup y = \begin{cases} x, & y = 0, \\ y, & x = 0, \\ 0, & x, y > 0. \end{cases}$

Dizyunktiv yig'indi: $x \cap y = \max\{\min(x, 1 - y), \min(1 - x, y)\}$.

Uchburchak normalar taxminiy mulohazalarda konyunksiyalarni aniqlash uchun qo'llaniladi, ayni vaqtda uchburchaksimon konormalar dizyunksiyani aniqlash uchun xizmat qiladi.

Noravshan konyunksiya. Noravshan konyunksiya barcha $u \in U$ va $v \in V$ larga nisbatan

$$A \rightarrow B = A \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) * \mu_B(v) / (u, v)$$

yordamida aniqlanadi, bu yerda $*$ - uchburchaksimon normani aks etuvchi amaldir.

Noravshan dizyunksiya. Noravshan dizyunksiya barcha $u \in U$ va $v \in V$ larga nisbatan

$$A \rightarrow B = A \times B = \int_{U \times V} \mu_A(u) + \mu_B(v) / (u, v)$$

yordamida aniqlanadi, bu yerda $+$ - uchburchaksimon konormani akslantiruvchi operator.

Ifodalarni birlashtirish operatorlari “va”, “hamda”. Ko’pgina NMN larda “va” bog’lovchisi qayd etilgan o’zgaruvchilar har xil universumlarda qiymat qabul qiluvchi karteziyan ko’paytma fazosida noravshan konyunksiya sifatida qo’llaniladi. Agar noravshan tizim boshqaruvning noravshan qoidalari to’plami bilan xarakterlansa, qoidalarining tartibi ahamiyatga ega emas. Shu tufayli, “hamda” bog’lovchisi kommutativlik va assotsiativlik xossalari ega bo’lishi kerak.

Bu borada uchburchaksimon norma va konormalardagi operatorlar shu xossalarga ega bo’lib, “hamda” bog’lovchisini qayd etishda nomzod sifatida baholanadi. Umuman olganda, uchburchaksimon konormalarni noravshan konyunksiyalar va dizyunksiyalar bilan, uchburchaksimon normalarni esa noravshan implikasiya bilan birgalikda qo’llash maqsadga muvofiqdir.

Kompozitsiya operatori. Umumiy holda kompozitsiya operatori “sup-star” sifatida ifodalanishi mumkin, bu yerda “star” ma’lum bir qo’llanishga to’g’ri keluvchi min, ko’paytirish va h.k kabi operatorni ifodalaydi. Adabiyotda xulosaning kompozitsion qoidasiga nisbatan 4 turdagi kompozitsiya operatorlaridan foydalaniladi:

- sup-min amali;
- sup-ko’paytma amali ;
- sup-chegaralangan ko’paytma amali;
- sup-qat’iy ko’paytma amali.

Yuqorida bayon etilganlarni umumlashtirib, chiqarish mexanizmining amallar bosqichlari ketma-ketligini ifodalash mumkin [5].

1) Qoidalarining shartli qismlarida shu o’zgaruvchining tegishlilik funksiyasi bilan solishtirish asosida har bir kiruvchi o’zgaruvchining joriy ravshan qiymatini har bir lingvistik termga tegishlilik darajasini aniqlash. (Ushbu bosqich ko’pincha fazzifikasiya deb ataladi).

2) Faollashtirish kuchini (firing strength) aniqlash maqsadida har bir qoida shartli qismining tegishlilik darajasini kombinatsiyalash (maxsus T-norm operator, odatda ko’paytma yoki min yordamida).

3) Har bir qoidaning natijasini (noravshan yoki ravshan) faollashtirish kuchiga qarab generatsiyalash. Chiqarish mexanizmlarning quyidagi uchta turi misolida noravshan chiqarish jarayonini ko’rib chiqamiz [1].

1-tur. Har bir faollashtirilgan qoidaning chiqishi faollashtirish kuchi (tegishlilik darajasining ko'paytmasi yoki minimum) va mos qoida o'ng qismining tegishlilik funksiyasi asosida aniqlanadi. Bu sxemada qo'llanilgan chiqishlarning tegishlilik funksiyalari monoton bo'lishi kerak.

2-tur. Umumiy noravshan chiqarish har bir qoidaning noravshan chiqishlariga nisbatan max amalini qo'llash asosida keltirib chiqariladi. Har bir chiqarish faollashtirish kuchining minimum va har bir qoida o'ng qismining tegishlilik funksiyasi bilan aniqlanadi. Bir qator sxemalar noravshan chiqarish asosida natijaviy ravshan chiqarishni aniqlash maqsadida taklif etilgan. Ular qatoriga, yuzaning markazi, yuzaning bisektori, maksimumning markazi, maksimum mezoni kiradi.

3-tur. Takagi va Sugenoning AGAR-U HOLDA noravshan qoidalaridan foydalaniladi. Har bir qoidaning xulosasi - chiquvchi o'zgaruvchilarning chiziqli yoki nochiziqli kombinatsiyasi plyus o'zgarvas, yakuniy chiqish esa - har bir qoida chiqishlarining "o'lchangan o'rtachasidir".

Bunda bilimlar bazasi quyidagi ko'rinishda deb olinadi:

Agar x_{A_1} va y_{B_1} bo'lsa, u holda z_{C_1} dir.

Agar x_{A_2} va y_{B_2} bo'lsa, u holda z_{C_2} dir . (6.29)

(birinchi ikkitasiga nisbatan).

Agar x_{A_1} va y_{B_1} bo'lsa, u holda $z_1 = ax + by + c$.

Agar x_{A_2} va y_{B_2} bo'lsa, u holda $z_2 = px + qy + r$. (6.30)

(uchinchisiga nisbatan).

5. Defazzifikasiya. Defazzifikasiya - mavjud noravshan boshqaruvchi ta'sirlar fazosidan ravshan boshqaruvchi ta'sirlar fazosiga akslantirishdir.

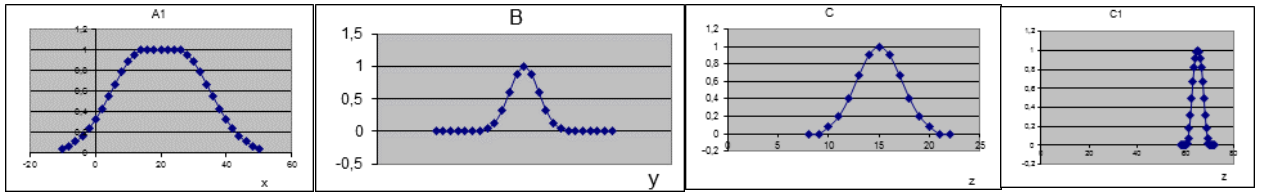
Ayni vaqtda eng ko'p qo'llaniluvchi strategiyalar maksimum mezoni, maksimum o'rtasi (MO') va sohaning markazi (SM) dir.

Maksimum mezoni boshqaruvchi ta'sirning imkoniyatlar taqsimoti maksimal qiymatga erishadigan nuqtani aniqlaydi.

6.8-rasmda chiqarish mexanizmining yuqorida qayd etilgan turlarning uchta turiga nisbatan noravshan mantiqiy chiqarish natijalari keltirilgan.

Shartli qism Konsekvant qism

1-tur 2-tur

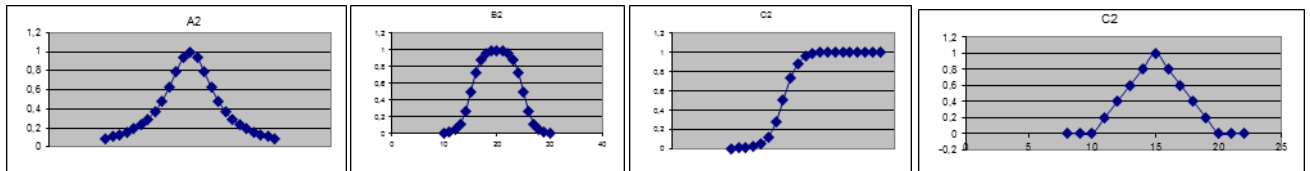


3-tur

$$z_1 = ax + by + c$$

Shartli qism Konsekvent qism

1-tur 2-tur



3-tur

$$z_2 = px + qy + r$$

$$\text{O'lchangan o'rta } z = \frac{w1 \cdot z1 + w2 \cdot z2}{w1 + w2}$$

6.8-rasm. Norvshan chiqarish mexanizmining geometrik tasviri

MO' – strategiya har bir noravshan boshqaruvchi ta'sir tegishlilik funksiyasining maksimal qiymati bo'yicha hisoblanuvchi barcha local boshqaruvchi ta'sirlarning o'rtacha qiymatini ifodalovchi boshqaruv amallarini generatsiyalaydi. Xususan, diskret holda boshqaruvchi ta'sir quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$z_0 = \sum_{j=1}^l \frac{W_j}{l}, \quad (6.31)$$

bu yerda $w_j - \mu_z(w_j)$ tegishlilik funksiyasi maksimal qiymatga erishadigan qiymat tashuvchisi va l - bunday qiymat tashuvchilarining soni.

Keng qamrovli SM strategiyasi natijaviy boshqaruvchi ta'sir imkoniyatlar taqsimotining og'irlik markazini generatsiyalaydi. Diskret universum holida bu usul, ko'pincha, quyidagiga olib keladi:

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_z(W_j)W_j}{\sum_{j=1}^n \mu_z(W_j)}, \quad (6.32)$$

bu yerda n – chiqishlarni kvantorlash bosqichlari soni.

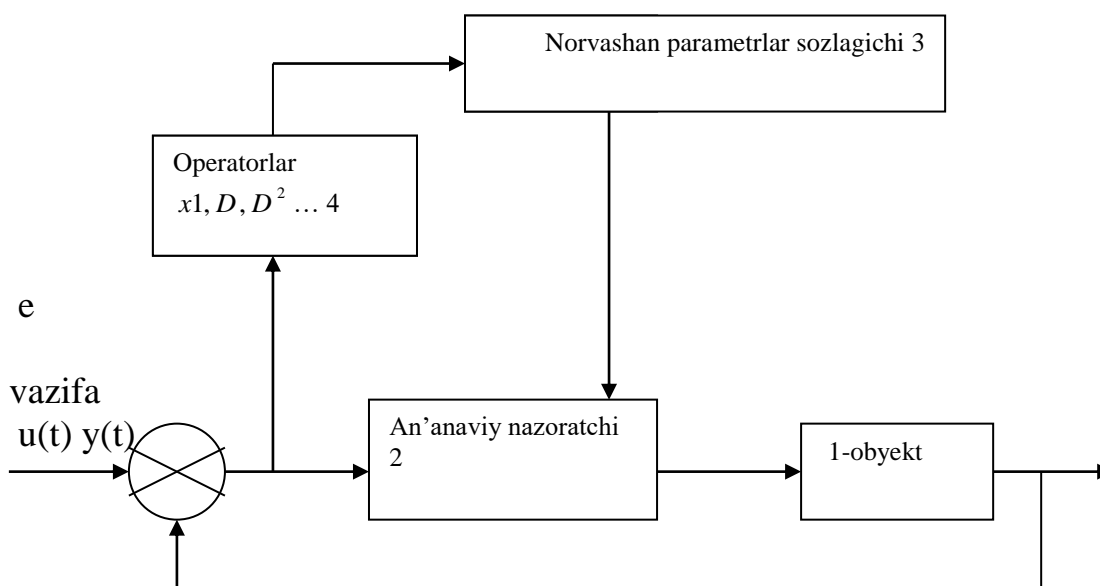
[1] da defazzifikasiyalash usullarining solishtirma bahosi keltiriladi. MO'-usuli afzalroq natijalarni beradi.

Lekin, SM-strategiya eng yaxshi o'tish jarayonini beradi, ayni vaqtda MO'-strategiya eng yaxshi strategic aniqlikka olib keladi.

MO' ga asoslangan NMN SM ga asoslangan NMN ga nisbatam kichikroq o'rtakvadratik xatolikni ko'rsatadi [95]. O'z navbatida SM-strategiya umumiy holda maksimum mezoni strategiyasiga qaraganda yaxshiroq natijalarni beradi.

6.2.2. Noravshan gibril nazoratchi

6.9-rasmda an'anaviy nazoratchilar parametrlarini noravshan sozlash sxemasiga asoslangan gibril boshqaruv tizimining tuzilmasi keltirilgan.



6.9 -rasm. Nazoratchi parametrlarini noravshan sozlash sxemasi

1-obyekt 2-an'anaviy nazoratchi (xususan-PID-nazoratchi) tomonidan boshqariladi, uning parametrlari 3 noravshan sozlagich tomonidan 4 blokdan olinadigan xatolik to'g'risidagi axborot asosida generatsiyalanadi. Noravshan sozlagich ishining mazmuni nazoratchining parametrlarini haqiqiy rejimda, noravshan qoidalar va noravshan xulosa bazasidan foydalangan holda sozlashga asoslanadi. Umumiylikni buzmaganda, PID-nazoratchini o'z ichiga olgan tizimni sintezlash jarayoni ko'rib chiqiladi. PID-nazoratchining diskret algoritmi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$u(k) = K_p e(k) + K_I T_s \sum_{i=1}^n e(i) + \frac{K_d}{T_s} \Delta e(k), \quad (6.33)$$

bu yerda $u(k)$ – boshqaruvchi ta'sir, $e(k)$ – vazifa va obyektning joriy chiqishi o'rtasidagi xatolik, T_s - kvantorlash davri, $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$. K_p, K_I, K_d parametrlar quyidagi turdagi noravshan qoidalar majmui orqali aniqlanadi:

Agar $e(k) A_i$ va $\Delta e(k) B_i$ bo'lsa, u holda $K_p C_i, K_d D_i$

$$\text{va } K_i^i E_i \text{ dir. (6.34)}$$

Bu yerda K_p^i, K_i^i, K_d^i - qidirilayotgan parametrlarning normallashtirilgan qiymatlari.

PID-nazoratchi parametrlarini sozlashning boshqa noravshan qoidalaridan foydalanish mumkin, masalan:

Agar $e(k) A_i$ va $\Delta e(k) B_i$ bo'lsa, u holda

$$u(k) = K_{p0}^i e(k) + K_{i0}^i T_s \sum_j e(j) + \frac{K_{d0}^i}{T_s} \Delta e(k), \quad (6.35)$$

bu yerda $K_{p0}^i, K_{i0}^i, K_{d0}^i$ - o'zgarmaslar.

[1] da sozlashning quyidagi noravshan qoidalaridan foydalaniladi:

Agar $e(k) A_i$ va $\Delta e(k) B_i$ bo'lsa, u holda $K_p^i C_i, K_d^i D_i$

$$\text{va } \alpha = \alpha_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (6.36)$$

bu yerda $\alpha = T_i/T_d, A_i, B_i, C_i$ va D_i - noravshan to'plamlar, α_i - o'zgarmas.

(6.34)-(6.36) noravshan qoidalar tajribaviy bilimlar asosida olinishi mumkin.

Masalan, a_1 atrofida noravshan qoidani quyidagicha bayon etish mumkin:

Agar $e(k) MUSK$ va $\Delta e(k) NOL$ bo'lsa, u holda $K_p^i B, K_d^i M$

va $\alpha = 2$ bo'ladi.

α ni noravshan singleton sifatida qabul qilish mumkin.

b_1 nuqta atrofida shu kabi mulohazalar orqali quyidagilarga ega bo'lish mumkin:

Agar $e(k) NOL$ va $\Delta e(k) MK$ bo'lsa, u holda $K_p^i M, K_d^i B$

va $\alpha = 5$ bo'ladi.

Shu tarzda 6.2.3-6.2.5 jadvallar ko'rinishida tasvirlanuvchi noravshan sozlashlar qoidalari majmui hosil bo'ladi [2].

i-qoidani faollashtirish kuchi μ_i ning chinlik qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_i = \mu_{A_i}[e_k] \wedge \mu_{B_i}[\Delta e_k]. \quad (6.37)$$

μ_i ning hisoblangan qiymatlaridan foydalanib va implikasiya usulini tanlab, har bir qoidaga nisbatan K_p va K_d ni, keyinchalik T_i ni aniqlash mumkin.

Bu yerda MK-manfiy katta, MO'-manfiy o'rta, MKi-manfiy kichkina, MusKi-musbat kichik, MusO'-musbat o'rta, MusK-musbat katta.

6.3-jadval

K_p^i ga nisbatan noravshan ta'limot qoidalari

		$\Delta e(k)$						
		MK	MO'	MKI	NOL	MUSKI	MUSO'	MUSK
e(k)	MK	K	K	K	K	K	K	K
	MO'	Kich	K	K	K	K	K	Kich
	MKI	Kich	Kich	K	K	K	Kich	Kich
	HOJIB	Kich	Kich	Kich	K	Kich	Kich	Kich
	MUSKI	Kich	Kich	K	K	K	Kich	Kich
	MUSO'	Kich	K	K	K	K	K	Kich
	MUSK	K	K	K	K	K	K	K

K'_d ga nisbatan noravshan MK qoidalar

		$\Delta e(k)$							
e(k)		MK	MO'	MKI	NOL	MUSKI	MUSO'	MUSK	
	MK	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich
	MO'	K	K	Kich	Kich	Kich	K	K	
	MKI	K	K	K	K	K	K	K	
	NOL	K	K	K	K	K	K	K	
	MUSKI	K	K	K	Kich	K	K	K	
	MUSO'	K	K	Kich	Kich	Kich	K	K	
	MUSK	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	Kich	

 α ga nisbatan noravshan MK ta'limot qoidalar

		$\Delta e(k)$						
e(k)		MK	MO'	MKI	NOL	MUSKI	MUSO'	MUSK
	MK	2	2	2	2	2	2	2
	MO'	3	3	2	2	2	3	3
	MKI	4	3	3	2	3	3	4
	NOL	5	4	3	3	3	4	5
	MUSKI	4	3	3	2	3	3	4
	MUSO'	3	3	2	2	2	3	3
	MUSK	2	2	2	2	2	2	2

K'_p quyidagi ko'rinishda aniqlanadi [1]:

$$K'_p = \sum_{i=1}^m \mu_i K'_{pi} . \quad (6.38)$$

Huddi shu usulda K'_d va α lar topiladi:

$$K'_d = \sum_{i=1}^n \mu_i K'_{di} ; \sum_{i=1}^m \mu_i \alpha_i . \quad (6.39)$$

Chin normallashtirilmagan K'_p , K'_d va α qiymatlar quyidagicha aniqlanadi:

$$K_p = (K_{p \max} - K_{p \min}) K'_p + K_{p \min} ,$$

$$K_d = (K_{d \max} - K_{d \min}) K'_d + K_{d \min} ,$$

$$K_i = K_p^2 (\alpha K_d) . \quad (6.40)$$

Misol [1]. Boshqaruv obyekti quyidagi uzatiluvchi funksiya yordamida ta'riflansin:

$$G(S) = \frac{4,228}{(S + 0,5)(S^2 + 1,64S + 8,456)} . \quad (6.41)$$

Kompyuterli simulyatsiya quyidagi tarzda o'tkazilgan. Avvalo xatolik va uning birinchi tartibli hosilasining joriy qiymatlari keltiriladi. So'ngra, noravshan

chiqarish jarayonini qo'llagan holda, K'_p , K'_d va α qiymatlar hisoblanadi. Va nihoyat, (6.30) dan foydalangan holda PID-nazoratchining qidiriluvchi parametrlari aniqlanadi.

6.2.3. Noravshan koordinataviy-parametrli moslashuvchi boshqaruv tizimlari

Noravshan to'plamlar nazariyasining paydo bo'lishi boshqaruv nazariyasidagi yangi yo'nalishni aniqlab berdi. Birinchi tadqiqotlar an'anaviy boshqaruv tizimlarda bayon etila olmaydigan noravshan axborotni hisobga olishning real ustuvorliklarini aniqladilar. Bundan tashqari, agar noravshan nazoratchi kiruvchi va chiquvchi interfeyslarga ega bo'lsa, u holda u deyarli ma'lum bir noxiziqli algoritmi amalga oshiruvchi nazoratchiga o'xshash bo'lib qoladi [1-5, 35].

Ushbu paragrafda tizimdagi xatolik hisobiga zaruriy boshqaruvni ta'minlamaydigan, hamda jarayon modelining noto'g'ri bo'lishiga olib keluvchi sabablarni bartaraf qiladigan ixtiyoriy usul bilan koordinataviy teskari bog'lanishli noravshan nazoratchi amaliyotda qo'llanilishi ko'rsatilgan. Shuningdek, bu holda koordinataviy teskari bog'lanishli noravshan nazoratchi parametrli teskari bog'lanishli noravshan nazoratchini o'z ichiga olgan noravshan tizimdan foydalanishi maqsadga muvofiqdir.

Ayni vaqtda o'z-o'zidan sozlanuvchi binar va o'z-o'zi tashkil etiluvchi lingvistik boshqaruv tizimlarini loyihalash bo'yicha ko'pgina muhim tadqiqotlar mavjuddir [1]. Bunday tizimlarni loyihalashtirishning ilmiy va uslubiy tamoyillariga asoslangan holda, noravshan koordinataviy-parametrli boshqaruv tizimlarini sintezlash masalasi yechiladi.

Boshqaruv obyekti xatolik vektori (F) ta'siriga bo'ysungan deb faraz qilinadi, jumladan:

$$\| \bar{F} \| \leq M . \quad (6.42)$$

Bundan kelib chiqqan holda, hamda obyektning analitik model yordamida ta'riflash qiyin ekanligini hisobga olgan holda, boshqaruv obyekti birinchi tartibli lingvistik (noravshan) model, yoki o'rnatilgan atamashunoslikka rioya etgan holda, quyidagi ko'rinishdagi lingvistik qoidalar jadvali (LQJ) orqali ta'riflanadi:

$$\tilde{X} = \varphi(\tilde{X}, \tilde{U}), \quad (6.43)$$

bu yerda \tilde{x} va \tilde{X} - mos ravishda obyektning chiqishi va chiqishning o'zgarish tezligining o'zgaruvchilari, \tilde{U} - kirishning noravshan o'zgaruvchisi, φ - aytib o'tilgan o'zgaruvchilar o'rtasidagi moslikni belgiluvchi nostasionar operator.

Masalan: $X \tilde{x}_i$ dir va agar $\tilde{U} \tilde{U}_j$ bo'lsa, u holda $\tilde{X} \tilde{x}_k$ dir, $i = \overline{1, N_1}$, $j = \overline{1, N_2}$,
 $k = \overline{1, N_3}$.

\tilde{x}_i, \tilde{U}_j va \tilde{x}_k noravshan o'zgaruvchilarning lingvistik termlariga quyidagi eksponensial tegishlilik funksiyalari mos kelsin:

$$\begin{aligned} \mu_i(x(t)) &= \exp(-g_{1i}|x(t) - \bar{x}_i|), \quad i = \overline{1, N_1}, \\ \mu_j(u(t)) &= \exp(-g_{2j}|u(t) - \bar{u}_j|), \quad j = \overline{1, N_2}, \\ \mu_k(\dot{x}(t)) &= \exp(-g_{3k}|\dot{x}(t) - \bar{\dot{x}}_k|), \quad k = \overline{1, N_3}, \end{aligned}$$

bu yerda $\dot{x}(t), u(t)$ va $x(t)$ - mos lingvistik o'zgaruvchilarning bazali o'zgaruvchilari; g_{1i}, g_{2j} va g_{3k} noravshan to'planning ma'lum bir α -darajasini (berilgan holda $\alpha=0,5$) berish orqali aniqlanadi; \bar{x}_i, \bar{u}_j va $\bar{\dot{x}}_k$ - tegishlilik darajasi birga teng bo'lgan mos to'plamlarning elementlari.

Obyektni, birinchidan, yuqori tartibli model yordamida ta'riflash holida, LQJni jadvallar qatoriga dekompozitsiyalash mumkin. (6.43) dagi \tilde{U} quyidagi tarzda ifodalanishi mumkin [1]:

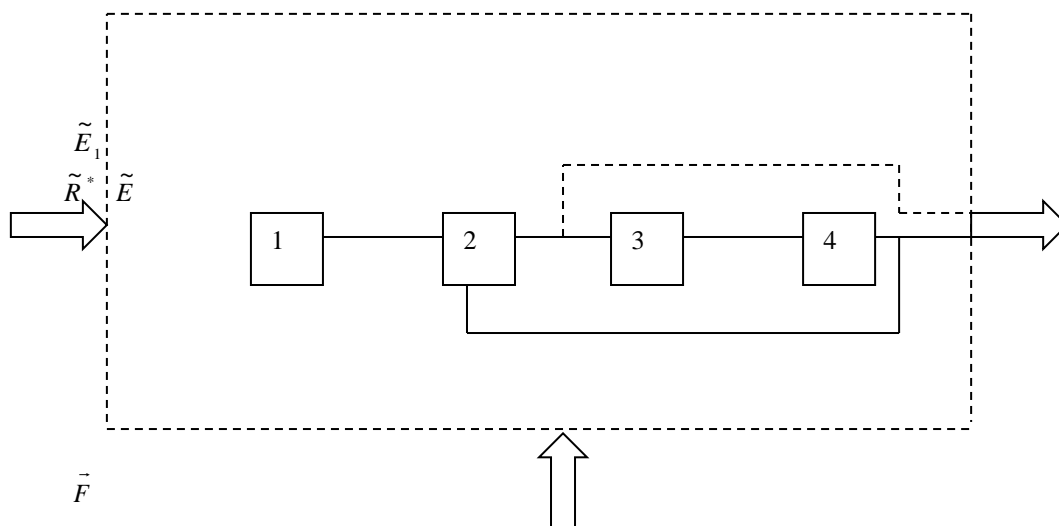
$$\tilde{U} = f(\tilde{U}_0, \tilde{R}),$$

bu yerda \tilde{U}_0 -koordinataviy boshqaruv konturida noravshan sozlagich chiqishining lingvistik o'zgaruvchisi, \tilde{R} - moslashuvning, ya'ni parametric boshqaruv konturining lingvistik o'zgaruvchisi:

$$\tilde{R} = \psi(\tilde{X}, \tilde{X}, \tilde{M}).$$

Masalaning mazmuni zaruriy sifatini ta'minlovchi \tilde{U} ni aniqlashdan iboratdir, xususan $t \rightarrow \infty$ da $\tilde{E} \rightarrow 0$.

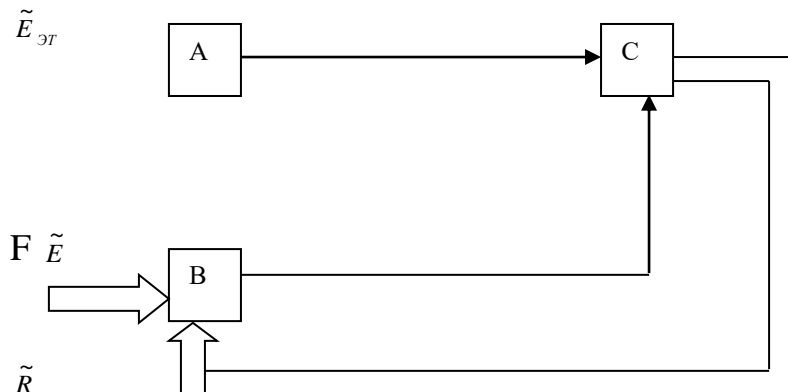
Umumlashgan noravshan sozlanuvchi obyekt tushunchasini kiritamiz, uning ostida koordinataviy boshqaruvning berk tizimini tushunamiz (6.10-rasm). Tizimning tarkibiga quyidagilar kiradi: 1-belgilovchi; 2-solishtirish qurilmasi; 3-noravshan koordinataviy boshqaruv sozlagichi; 4-boshqaruv objekti; \tilde{R} va \tilde{E} - mos ravishda parametrik boshqaruv va xatolik moslashuvlarining noravshan vektorlari.



6.10-rasm. Umumlashgan noravshan sozlanuvchi obyektning tuzilmasi

U holda NBT ning tuzilmaviy sxemasini (6.11-rasm) ko'rinishida tasvirlash mumkin. Bu yerda A - tizim etalon harakatining belgilagichi; B - umumlashgan

noravshan sozlanuvchi obyekt; C –haqiqiy va etalon xatolik signallarini solishtirish qurilmasi va koordinataviy boshqaruv hamda obyekt parametrlarini sozlovchi “parametrli boshqaruv regulyatori” ni o’z ichiga olgan parametrik boshqaruv qurilmasi [2].

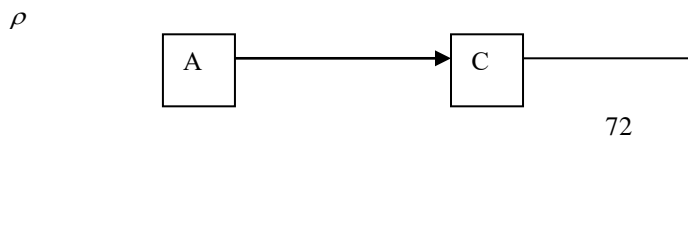


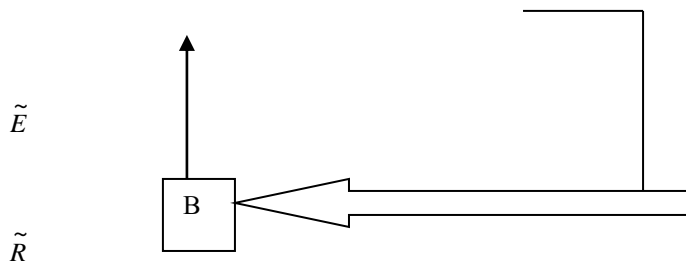
6.11-rasm. Noravshan NBT ning tuzilmaviy sxemasi

[2] dagi kabi koordinataviy va parametrik boshqaruv konturlarini ajratib, yoki boshqa so’z bilan aytganda koordinataviy va operativ teskari bog’lanishlarni aniqlab, 6.11-rasmda keltirilgan tizimni ikki turdagi bog’lanishni amalga oshiruvchi noravshan koordinataviy-parametrik NBT sifatida qabul qilish mumkin. Bunda A qurilma qabul qilingan atamashunoslikka binoan operatorli- koordinataviy qatorni, C esa- koordinataviy- operatorli turdagi qatorni qabul qiladi. Etalonli harakat (A blok) belgilagichining mavjud amalga oshirilishlarini ko’rib chiqamiz. U xatolik vektorining o’zgarish dinamikasini yoki vaqt funksiyasi, yoki differensial kiritish ko’rinishida ifodalashi, funksional bog’lanishlar esa lingvistik shkalalardagi mosliklar ko’rinishida, yoki noravshan munosabatlar ko’rinishida aniqlanishi mumkin. Boshqa yondashuv istalgan sohani fazali fazoda berish bilan bog’liqdir; bunda istalgan sohaning ko’rinishi amaliy mulohazalar asosida aniqlanadi. Bizning tadqiqotlarimizni fazali fazo lingvistik bo’lgan holni ko’rib chiqish bilan chegaralaymiz. Bunday holatda, har bir o’q bo’ylab chekli termlar majmui ajratiladi va fazo chekli sondagi “nuqtalar” dan iborat diskret ko’rinishda bo’ladi, bu fazoning quvvati esa quyidagiga teng bo’ladi:

$$CardG = \prod_{i=1}^n CardG_i,$$

bu yerda G_i - i -o’q bo’ylab termlar to’plami. 6.11-rasmdagi sxema quyidagi (6.2.6-rasm) ko’rinishga o’tadi, bu yerda $\vec{\varepsilon}^*$ - xatolikning lingvistik vektori (tasvirlanuvchi nuqtaning koordinatalari – $(\varepsilon, \varepsilon^*, \dots, \varepsilon^{(n)})$); ρ - operatorli signal, ya’ni tasvirlanuvchi nuqtadan istalgan sohaning chegaralarigacha bo’lgan “masofa” ni baholovchi funksional; C – moslashuv bloki, ya’ni parametrli boshqaruvning “noravshan sozlagichi”.





6.12-rasm. Noravshan koordinataviy- parametrli NBT ning tuzilmasi

Ikki o'lovli hol uchun chegaraviy to'plamlar berilgan belgilagichning lingvistik fazali fazo LQJ ko'rinishida tasvirlanishi mumkin (6.2.6-jadval). O belgi bilan jadvalda tez sodir bo'ladigan o'tish jarayoniga mos nuqtalar belgilangan, * belgi esa - istalgan o'tish jarayonlar ichida eng sekiniga mos keluvchi nuqtalar. Har bir o'qning lingvistik termlari tartiblanganlik xossasiga ega bo'lganligi uchun, ularga natural sonlar ketma-ketligini mos qo'yish mumkin (6.2.6-jadval). Birinchi komponentasi qo'zg'almas deb olingan vektorlar uchun tartib munosabatini aniqlaymiz:

$$(S_i, T_1) < (S_i, T_2) < \dots < (S_i, T_j) < \dots < (S_i, T_k),$$

agar

$$T_1 < T_2 < \dots < T_j < \dots < T_k; \quad i = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, K},$$

bu yerda L va K – mos ravishda term-to'plamlarning quvvati, xatoligi va xatolik o'zgarishining tezligi.

6.6-jadval

		E							
E^*		MK	MO'r	MKich	NOL	MusK	MUSO'r	MusKich	
	MK		O	O					
	MO'r								
	MKich		*	*					
	NOL	*O			*O			*O	
	MusK					*	*		
	MusO'r								
	MusKich					O	O		

Birinchi qo'zg'almas deb olingan holda, eng katta ikkinchi komponentaga ega bo'lgan nuqtalar yuqori chegaraviy nuqtalar, eng kichik ikkinchi komponentali nuqtalar esa - quyi chegaraviy nuqtalar deb ataladi. Agar tasvirlanuvchi nuqta birinchi komponentaga o'xshash c vektorga ega bo'lsa va ikkinchi komponentaning qiymati yuqori chegaraviy nuqtadan katta bo'lsa, u holda o'tish jarayonining sifatini yaxshilash uchun boshqaruv signalini kamaytirish kerak. Huddi shunday, agar tasvirlanuvchi nuqtaning ikkinchi komponentasi mos quyi chegaraviy nuqtadan kichik bo'lsa, boshqaruv signalini oshirish kerak. Va nihoyat, vektorlari yuqori va quyi chegaraviy nuqtalarning vektorlari orasida yotgan, yoki ular bilan

mos tushgan nuqtalar uchun boshqaruvni o'zgartirish kerak emas, chunki tizimning harakati qoniqarlidir.

Funksiyani aniqlaymiz:

$$SAT(\bar{P}_{ab}) = \begin{cases} -1, & \bar{P}_{ab} \in \Omega_2, \\ 0, & \bar{P}_{ab} \in \Omega_3, \\ 1, & \bar{P}_{ab} \in \Omega_1. \end{cases} \quad (6.44)$$

Bu yerda \bar{P}_{ab} - (a,b) vektorli nuqtani ifodalovchi belgilash, Ω_1, Ω_2 va Ω_3 esa – boshqaruv, oshirish, kamaytirish va boshqaruvning barqarorlik rejimlarga mos vektorlar to'plamlari. Bu to'plamlarni musbat, manfiy va nol belgilarning to'plamlari deb nomlash mumkin. Oxirgisini, shuningdek, istalgan to'plam deb atash mumkin. Tasvirlanuvchi nuqtaning istalgan to'plamdan masofasini aniqlash uchun quyidagi ko'rinishdagi funksionalni kiritamiz:

$$\rho(\bar{P}_{ab}, \Omega) = \begin{bmatrix} \min(|a-c| + |b-d|) \\ (c, d) \in \Omega(\bar{P}) \end{bmatrix} SAT(\bar{P}_{ab}), \quad (6.45)$$

bu yerda

$$\Omega(\bar{P}) = \begin{cases} \text{yuqori chegara,} & \text{agar } SAT(\bar{P}) = 1, \\ \text{quyi chegara,} & \text{agar } SAT(\bar{P}) = -1. \end{cases}$$

Bundan

$$\rho = 0, \text{ agar } P_{ab} \in \Omega_3; \rho > 0, \text{ agar } P_{ab} \in \Omega_1; \rho < 0, \text{ agar } P_{ab} \in \Omega_2.$$

Quyidagicha yozib olish mumkin:

$$\rho(\bar{P}_{ab}, \Omega) = 0.$$

Shunday qilib, (6.43), (6.44) va (6.45) ga asoslangan holda parametrli boshqaruvning “noravshan boshqaruvchi” si tomonidan ishlab chiqariluvchi to'g'irlovchi-moslashuvchi signalning termlar to'plamini hosil qilish mumkin:

$$R_{ij} = \{r_{ij}, \mu_{ij}(r(t))\}$$

$$\mu_{ij}(r(t)) = \exp(-g_{4ij} |r(t) - \bar{r}_{ij}|), \quad (6.46)$$

$$r_{ij} = \lambda M \rho(\bar{P}_{ij}, \Omega) \quad i = \overline{1, k}, \quad j = \overline{1, L}.$$

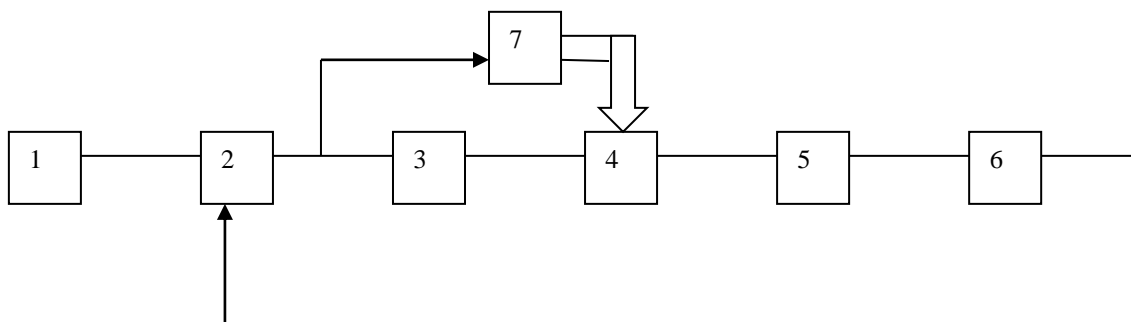
Bu yerda λ - masshtabli koeffitsiyent, K va L – xatolik va xatolik o'zgarish tezliklari term-to'plamlarining quvvatlari. Natijada quyidagi ko'rinishdagi lingvis-tik qoidalar majmuiga ega bo'lamiz:

Agar $E \tilde{E}_i$ va agar $\dot{E} \tilde{E}_j$ bo'lsa, u holda $R \tilde{R}_{ij}$ bo'ladi,

ular parametrli boshqaruvning “noravshan sozlagich” konturining LQJ ini shakllantiradi.

Va nihoyat koordinataviy-parametrik “noravshan sozlagichli” NBT ning tuzilmasi 6.13-rasmdagi kabi ko'rinishni qabul qiladi, bu yerda 1- tasdiqlarning

belgilagichi; 2 – solishtiruvchi qurilma va mavzuning chiquvchi interfeysi; 3-koordinataviy boshqaruv asosiy konturining noravshan sozlagichi; 4 – lingvistik summator; 5 – tizimning chiquvchi interfeysi; 6 – boshqaruv obyekti; 7 – moslashuv konturi, ya’ni parametrli boshqaruvning “noravshan sozlagich” i.



6.13-rasm. Koordinataviy- parametrik noravshan sozlagichli NBT ning yakuniy tuzilmasi

Natijaviy boshqaruv o’zgaruvchisi u^* quyidagi munosabat orqali aniqlanadi:

$$\tilde{U} = \tilde{U}_0 \oplus \tilde{R},$$

bu yerda \oplus - lingvistik summator orqali bajariladigan amal belgisi.

Koordinataviy- parametrli boshqaruvli noravshan moslashuvchi NBT paxta xom ashyosini (PXA) qayta ishlashda qo’llanilishi mumkin (6.7-6.9 jadvallar). Eslatib o’tilgan NBT ining sintezini belgilab bergan ushbu jarayonning ikkita afzalligini aytib o’tamiz.

1.O’rnatishni normal ekspluatasiya qilish sharoitida jarayonga qayta ishlanadigan hom-ashyoning har xil turda bo’lishi hosdir. Bunda, hom-ashyoni o’rnatishga uzatishdan avval, PXA har xil tovarli parkning zahiralarda aralastiriladi, ya’ni bir xil hom-ashyo har xil sifatli tarkibga ega bo’lishi mumkin. Bu holda, o’rnatish operatorlarining boshqaruvchi strategiyasi, ko’p jihatdan, tarkibni, yetkaziladigan hom-ashyoni, uning xossalarini bilishga qarab aniqlanadi. Bu mulohazalar obyektni lingvistik modellar bilan ta’riflash harakatini aniqlab berdi. Masalan, 6.10-jadvalda “sug’orishdagi harajatlar - kolonna uchining temperaturasi” bo’yicha obyekt dinamikasining lingvistik modeli keltirilgan. Bu jadval asosida ishlab chiqarilgan jarayon bo’yicha LQJ si 6.11-jadvalda keltirilgan noravshan sozlagich yordamida sintezlangan.

6.7-jadval

Oziqlanish foniga ko’ra paxta tolasining koeffitsientining bikirlik tegishlilik funksiyasi

O’g’it dozasi	Nav			
	C-4727	Toshkent-1	108-F	159-F
Sug’oriladigan bo’z tuproq				
JP	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
P	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
O’rP	$\exp[-0.4(x-4.7)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.7)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.8)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$

O'r	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
O'rYu	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.7)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
Yu	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$
JYu	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$
Sug'oriladigan bo'z –yaylovli tuproq				
JP	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
P	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
O'rP	$\exp[-0.4(x-4.9)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.7)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$
O'r	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$
O'rYu	$\exp[-0.4(x-4.7)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.7)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
Yu	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$
JYu	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$
Yangi sug'orilayotgan bo'z tuproq				
JP	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
P	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$
O'rP	$\exp[-0.4(x-4.7)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$
O'r	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
O'rYu	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.6)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$
Yu	$\exp[-0.4(x-4.3)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.5)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$
JYu	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$	$\exp[-0.4(x-4.4)^2]$

6.8-jadval

Oziqlanish foniga ko'ra chigit massasining tegishlilik funksiyasi

O'g'it dozasi	Nav			
	C-4727	Toshkent-1	108-F	159-F
Sug'oriladigan bo'z tuproq				
JP	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$	$\exp[-45(x-124)^2]$	$\exp[-45(x-124)^2]$
P	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$	$\exp[-45(x-125)^2]$
O'rP	$\exp[-45(x-121)^2]$	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-124)^2]$	$\exp[-45(x-123)^2]$
O'r	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-118)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$	$\exp[-45(x-124)^2]$
O'rYu	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-123)^2]$	$\exp[-45(x-122)^2]$
Yu	$\exp[-45(x-118)^2]$	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-125)^2]$	$\exp[-45(x-123)^2]$
JYu	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-122)^2]$	$\exp[-45(x-112)^2]$
Sug'oriladigan bo'z –yaylovli tuproq				
JP	$\exp[-45(x-125)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$	$\exp[-45(x-123)^2]$	$\exp[-45(x-121)^2]$
P	$\exp[-45(x-128)^2]$	$\exp[-45(x-121)^2]$	$\exp[-45(x-127)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$
O'rP	$\exp[-45(x-129)^2]$	$\exp[-45(x-122)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$
O'r	$\exp[-45(x-128)^2]$	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-127)^2]$	$\exp[-45(x-127)^2]$
O'rYu	$\exp[-45(x-129)^2]$	$\exp[-45(x-122)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$
Yu	$\exp[-45(x-126)^2]$	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$
JYu	$\exp[-45(x-128)^2]$	$\exp[-45(x-121)^2]$	$\exp[-45(x-125)^2]$	$\exp[-45(x-126)^2]$
Yangi sug'orilayotgan bo'z tuproq				
JP	$\exp[-45(x-108)^2]$	$\exp[-45(x-114)^2]$	$\exp[-45(x-111)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$
P	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-118)^2]$	$\exp[-45(x-121)^2]$	$\exp[-45(x-119)^2]$

O'rP	$\exp[-45(x-121)^2]$	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$	$\exp[-45(x-116)^2]$
O'r	$\exp[-45(x-117)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$
O'rYu	$\exp[-45(x-118)^2]$	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$	$\exp[-45(x-116)^2]$
Yu	$\exp[-45(x-116)^2]$	$\exp[-45(x-116)^2]$	$\exp[-45(x-119)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$
JYu	$\exp[-45(x-118)^2]$	$\exp[-45(x-117)^2]$	$\exp[-45(x-120)^2]$	$\exp[-45(x-115)^2]$

6.9-jadval

Oziqlanish foniga ko'ra chigit yog'lilik daragasining tegishlilik funksiyasi

O'g'it dozasi	Nav			
	C-4727	Toshkent-1	108-F	159-F
Sug'oriladigan bo'z tuproq				
JP	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
P	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
O'rP	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
O'r	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
O'rYu	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
Yu	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
JYu	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
Sug'oriladigan bo'z –yaylovli tuproq				
JP	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
P	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
O'rP	$\exp[-4.5(x-22)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$
O'r	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
O'rYu	$\exp[-4.5(x-22)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
Yu	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
JYu	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
Yangi sug'orilayotgan bo'z tuproq				
JP	$\exp[-4.5(x-18)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-18)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
P	$\exp[-4.5(x-18)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$
O'rP	$\exp[-4.5(x-18)^2]$	$\exp[-4.5(x-21)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$
O'r	$\exp[-4.5(x-17)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$
O'rYu	$\exp[-4.5(x-17)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-20)^2]$
Yu	$\exp[-4.5(x-17)^2]$	$\exp[-4.5(x-18)^2]$	$\exp[-4.5(x-18)^2]$	$\exp[-4.5(x-18)^2]$
JYu	$\exp[-4.5(x-17)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$	$\exp[-4.5(x-18)^2]$	$\exp[-4.5(x-19)^2]$

		\tilde{x}							
\tilde{u}		MK	MO'R	MKICH	NOL	MUSKI	MUSO'R	MUSK	
	MK	NOL	MKICH	MO'R	MK				
	MO'R	MUSKI	NOL	MKICH	MO'R				
	MKICH	MUSO'R	MUSKI	NOL	MKICH				
	NOL	MUSK	MUSO'R	MUSKI	NOL	MKICH	MO'R	MK	
	MUSKI				MUSKI	NOL	MKICH	MO'R	
MUSO'R				MUSO'R	MUSKI	NOL	MKICH		

	MUSK				MUSK	MUSO'R	MUSKI	NOL
	\tilde{X}							

6.10-jadval

6.11-jadval

\tilde{E}								
\tilde{E}		MK	MO'R	MKICH	NOL	MUSKI	MUSO'R	MUSK
	MK	MK	MK		MUSK			NOL
	MO'R		MK	MUSK	MUSO'R		NOL	MKICH
	MKICH		MUSK	MUSO'R	MUSKI	NOL	MKICH	MO'R
	NOL	MUSK	MUSO'R	MUSKI	NOL	MKICH	MO'R	MK
	MUSKI	MUSO'R	MUSKI	NOL	MKICH	MO'R	MK	
	MUSO'R	MUSKI	NOL		MO'R	MK		
	MUSK	NOL			MK		MK	MK
\tilde{U}_0								

(LQJ da quyidagi termlardan foydalangan: MK-manfiy katta, MO'r-manfiy o'rta, MKich-manfiy kichik, NOL-nol. Huddi shunday musbat oraliq uchun ham).

2. Texnologik jarayonning sodir bo'lishiga aslida xatolik bo'lgan bir qator omillar o'z ta'sirini ko'rsatadi. Bayon etilganlardan kelib chiqqan holda, parametrlar boshqaruv konturi taklif etilgan usul bo'yicha sintezlandi. Sintezlangan LQJ 6.2.12-jadvalda keltirilgan. Ko'rib turilganidek, LQJ ni uchta zonaga bo'lish mumkin: SAT(P) funskiyasi orqali aniqlangan musbat to'g'irlovchi signal zonasi (Π_i , $i = \overline{1,9}$), manfiy LQJ ning elemntlari (to'g'irlovchi signalning termi) quyidagi tarzda qurilgan:

$$O_i : \mu(r(t)) = \exp(-g|r(t) + r_i|); \text{SAT}(\bar{P}) = -1; i = \overline{1,9};$$

$$\Pi_i : \mu(r(t)) = \exp(-g|r(t) - \bar{r}_i|); \text{SAT}(\bar{P}) = 1; i = \overline{1,9};$$

$$\text{НОЛЬ} : \mu(r(t)) = \exp(-g|r(t)|); \text{SAT}(\bar{P}) = 0.$$

6.12-jadval

	$\varepsilon 1$	$\varepsilon 2$	$\varepsilon 3$	$\varepsilon 4$	$\varepsilon 5$	$\varepsilon 6$	$\varepsilon 7$	$\varepsilon 8$	$\varepsilon 9$	$\varepsilon 10$	$\varepsilon 11$	$\varepsilon 12$	$\varepsilon 13$	$\varepsilon 14$	$\varepsilon 15$
$\dot{\varepsilon} 1$	O4	O3	O2	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O8	O7	O8
$\dot{\varepsilon} 2$	O3	O2	O1	HO	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O7	O6	O5
$\dot{\varepsilon} 3$	O2	O1	HO	HO	HO	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O6	O5	O4
$\dot{\varepsilon} 4$	O1	HO	HO	HO	HO	HO	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O5	O4	O3
$\dot{\varepsilon} 5$	HO	HO	HO	$\Pi 1$	HO	HO	HO	O1	O2	O3	O4	O5	O4	O3	O2
$\dot{\varepsilon} 6$	HO	HO	$\Pi 1$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	HO	HO	HO	O1	O2	O3	O4	O3	O2	O1
$\dot{\varepsilon} 7$	HO	$\Pi 1$	$\Pi 2$	$\Pi 3$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	HO	HO	HO	O1	O2	O3	O2	O1	HO
$\dot{\varepsilon} 8$	$\Pi 1$	$\Pi 2$	$\Pi 3$	$\Pi 4$	$\Pi 3$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	HO	HO	HO	O1	O2	O1	HO	HO
$\dot{\varepsilon} 9$	$\Pi 2$	$\Pi 3$	$\Pi 4$	$\Pi 5$	$\Pi 4$	$\Pi 3$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	HO	HO	HO	O1	HO	HO	HO
$\dot{\varepsilon} 10$	$\Pi 3$	$\Pi 4$	$\Pi 5$	$\Pi 6$	$\Pi 5$	$\Pi 4$	$\Pi 3$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	HO	HO	HO	HO	HO	$\Pi 1$
$\dot{\varepsilon} 11$	$\Pi 4$	$\Pi 5$	$\Pi 6$	$\Pi 7$	$\Pi 6$	$\Pi 5$	$\Pi 4$	$\Pi 3$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	HO	HO	HO	$\Pi 1$	$\Pi 2$
$\dot{\varepsilon} 12$	$\Pi 5$	$\Pi 6$	$\Pi 7$	$\Pi 8$	$\Pi 7$	$\Pi 6$	$\Pi 5$	$\Pi 4$	$\Pi 3$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	HO	$\Pi 1$	$\Pi 2$	$\Pi 3$
$\dot{\varepsilon} 13$	$\Pi 6$	$\Pi 7$	$\Pi 8$	$\Pi 9$	$\Pi 8$	$\Pi 7$	$\Pi 6$	$\Pi 5$	$\Pi 4$	$\Pi 3$	$\Pi 2$	$\Pi 1$	$\Pi 2$	$\Pi 3$	$\Pi 4$

Hisoblash natijalari \bar{r}_i , $i = \overline{1,9}$ 6.2.13-jadvalda keltirilgan, $g=107,3$.

6.2.13-jadval

$\bar{r} 1$	$\bar{r} 2$	$\bar{r} 3$	$\bar{r} 4$	$\bar{r} 5$	$\bar{r} 6$	$\bar{r} 7$	$\bar{r} 8$	$\bar{r} 9$
0,045	0,075	0,105	0,135	0,165	0,195	0,225	0,255	0,285

Parametrli boshqaruv konturini qo'llash NBT ning dinamik tavsiflarini takomillashtirishga imkon beradi, bunga taklif etilgan tizimni tajribaviy-sanoatli qo'llash natijasida amin bo'lish mumkin.

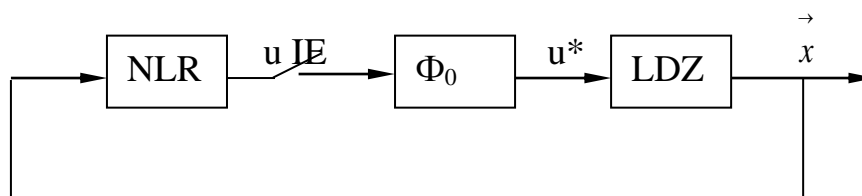
7. BOSHQARISHNING INTELLEKTUAL TIZIMLARIDA BOSHQARUVCHI QURILMALAR

7.1. Noaniq mintaq asosida boshqarish

Noravshan chiqarishni amalga oshiruvchi bloklardan foydalanuvchi boshqaruv tizimlarini analitik jihatdan o'rganib chiqishning asosiy qiyinchiligi chiziqshastirib bo'lmaydigan bloklarning noxizizqligidir. Barqarorlikni o'rganishning mashhur analitik usullari, xususan, Lyapunovning ikkinchi usulini noravshan mantiq tizimlariga nisbatan qo'llash ulkan natijalarga olib keladi. Quyida tizimning parametrlari bilan sodda ravishda bog'langan, "qo'pol" barqarorlik baholarni olishga imkon beruvchi yondashuv bayon qilingan.

1. Masalaning qo'yilishi. 7.1-rasmda keltirilgan avtomatik boshqaruvning avtonom chiziqli bo'lmagan impulsli tizimini ko'rib chiqamiz.

Tizim uzuluksiz stasionar dinamik zveno (SDZ), nolnlnchi tartibni fiksilovchi (Φ_0) impulsli element (IE), impulsli element hamda o'zining kiruvchi x signali hamda chiquvchi signallar o'rtasidagi statistic noxizizqli bog'liqlikni amalga oshiruvchi noravshan mantiqiy sozlagich (NMS) dan tashkil topgan.



7.1.-rasm. Noravshan mantiqiy sozlagichni boshqarish tizimi

u^* signal Φ_0 nolnlnchi tartibli fiksatorning chiqishida $t_k (k=1, 2, \dots)$ impulsli element IE ning ishga tushish momentlari o'rtasida o'zgarmaydi va IE ning kirishida ishga tushish paytidagi signaliga teng bo'ladi:

$$u^*(t) = e(t_k), \quad t \in [t_k, t_{k+1}]. \quad (7.1)$$

NMS ning tavsifi noravshan chiqish qoidalarining to'plami orqali aniqlanadi:

Π_1 : agar $x^1 A_{11}$ va $x^2 A_{12}$, va ... $x^n A_{1n}$ bo'lsa, u holda $u=a_1$;

Π_2 : agar $x^1 A_{21}$ va $x^2 A_{22}$, va ... $x^n A_{2n}$ bo'lsa, u holda $u=a_2$;

.....
 Π_{1m} : agar $x^1 A_{m1}$ va $x^2 A_{m2}$, va ... $x^n A_{mn}$ bo'lsa, u holda $u=a_m$,

Bu yerda x^1, x^2, \dots, x^n - x ning komponenta laridir ; A_{ij} - R haqiqiy sonlar to'plamida aniqlangan va mos ravishda $\mu_{ij}(x^j)$ tegishlilik funksiyalariga ega bo'lgan to'plamlardir ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, n$); a_1, a_2, \dots, a_m - haqiqiy sonlar.

Keltirilgan noravshan chiqish qoidalarini quyidagi ko'rinishda ifodalash qulaydir:

Π_1 : agar $\vec{x} A_1$ bo'lsa, u holda $u=a_1$,

Π_2 : agar $\vec{x} A_2$ bo'lsa, u holda $u=a_2$,

.....

Π_m : agar $\vec{x} A_m$ bo'lsa, u holda $u=a_m$.

Bu yerda A_i –n-o'lchovli R^n haqiqiy sonlar to'plamida aniqlangan hamda $\mu_i(x) = \min(\mu_{i1}(x^1), \mu_{i2}(x^2), \dots, \mu_{in}(x^n))$ tegishlilik funksiyalariga ega bo'lgan noravshan to'plamdir.

Nolinchi tartibdagi Sugeno noravshan chiqarishning chiquvchi NLR signali u quyidagi algoritmgga ko'ra hisoblanadi:

$$u(x) = \frac{\sum_{i=1}^m a_i \mu_i(x)}{\sum_{i=1}^m \mu_i(x)}. \quad (7.2)$$

4.31-rasmdagi tizimga nisbatan barqarorlikning yetarli shartini aniqlash talab qilinadi.

2. Noravshan mantiqiy chiqarishning tavsifi. (7.2) bog'lanish barqarorlik mezonini bevosita qurish uchun anchagina qiyindir, shuning uchun uni hosil qilishda quyida bayon qilingan uslubiyatdan foydalanamiz.

Faraz qilaylik, qayd etilgan bog'lanish, ya'ni $u = u(x)$ (ko'pgina hollarda qayd etilgan xossa fazali koordinatalarni chiziqli almashtirish natijasida bajariladi) $u(0)=0$ xossaga ega bo'lsin.

Quyida (7.2) formulani

$$u(x) = k^T(x) x \quad (7.3)$$

kabi ko'rinishda ifodalaymiz, bu yerda $k^T(x)$ – (x) kiruvchi signalga bog'liq bo'lgan NLR ni uzatish koeffitsiyentidir.

Vector normaning xossasidan foydalanib[72], quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\left| u(x) \right| = \left\| k^T(x) \right\| \cdot \left\| x \right\|. \quad (7.4)$$

Vektor norma deganda l_∞ -norma $\left\| x \right\| = \max\{|x^1|, |x^2|, \dots, |x^n|\}$, bu yerda n – (x) vektorning o'lchami, matrisaviy norma deganda esa - maksimal satr norma

$$\left\| A \right\| = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|$$

tushuniladi, bu yerda a_{ij} – A matrisaning i-satru va j-ustunida joylashgan elementidir, bundan

$$\frac{\left| u(x) \right|}{\left\| x \right\|} \leq \left\| k^T(x) \right\|, \quad (7.5)$$

bu esa

$$\max_{\forall \vec{x} \in R^n} \frac{\left| \vec{u}(\vec{x}) \right|}{\left\| \vec{x} \right\|} \leq \max_{\forall \vec{x} \in R^n} \left\| \vec{k}(\vec{x}) \right\| \quad (7.6)$$

deb yozishga imkon beradi.

(7.6) ifoda asosida NLR ning nochiqli bog'liqligi sifatida

$$K_H = \max_{\forall \vec{x} \in R^n} \left\| \vec{k}(\vec{x}) \right\| \quad (7.7)$$

parametrlarni tanlaymiz, bunda ixtiyoriy NLR holida K_H ning sonli qiymatini aniqlash juda qiyin bo'lgani uchun, uning bahosidan foydalanamiz.

Buning uchun, boshida (7.2), (7.3) va (7.7) ni birgalikda yechib, quyidagi munosabatga ega bo'lamiz:

$$K_H = \max_{\vec{x} \in R^n} \frac{\left| \sum_{i=1}^m a_i \mu_i(\vec{x}) \right|}{\left\| \vec{x} \right\| \left\| \sum_{i=1}^m \mu_i(\vec{x}) \right\|}. \quad (7.8)$$

Modulning xossasidan foydalanib, oldingi ifodadan

$$K_H \leq \max_{\vec{x} \in R^n} \frac{\sum_{i=1}^m |a_i| \mu_i(\vec{x})}{\left\| \vec{x} \right\| \left\| \sum_{i=1}^m \mu_i(\vec{x}) \right\|} \quad (7.9)$$

munosabatga ega bo'lamiz.

Quyidagi

$$\frac{\sum_{i=1}^m |a_i| \mu_i(\vec{x})}{\left\| \vec{x} \right\| \left\| \sum_{i=1}^m \mu_i(\vec{x}) \right\|} = X_c, \quad (7.10)$$

ko'paytuvchi $|a_i|$, $i=1,2,\dots,m$ koordinatali nuqtalarda $\mu_i(\vec{x})$ massalar markazi X_c ning koordinatalarini aniqlaymiz.

X_c massalar markazi nuqtasining koordinatalari 0 dan farqli mas-saga ega bo'lgan o'ng tomondagi eng chetki yukning koordinatasidan oshishi mumkin emas. Shunday qilib,

$$X_c \leq \max[|a_1|1_0(\mu_1(\vec{x})), |a_2|1_0(\mu_2(\vec{x})), \dots, |a_m|1_0(\mu_m(\vec{x}))], \quad (7.11)$$

bu yerda

$$1_0(t) = \begin{cases} 1, & t > 0, \\ 0, & t = 0. \end{cases}$$

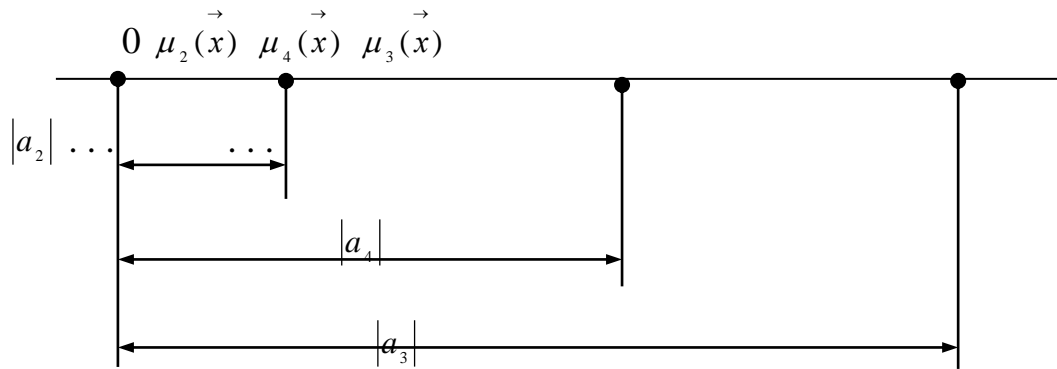
(7.9)-(7.11) munosabatlarni solishtirish natijasida

$$K_H \leq \max_{\vec{x} \in R^n} \frac{1}{\|\vec{x}\|} \max[|a_1|1_0(\mu_1(\vec{x})), |a_2|1_0(\mu_2(\vec{x})), \dots, |a_m|1_0(\mu_m(\vec{x}))] \quad (7.12)$$

ekanligi kelib chiqadi, bu esa izlanayotgan bahoga nisbatan quyidagi ifodani yozib olish imkoni beradi:

$$K_H \leq \hat{K}_H = \max \left\{ \max_{\vec{x} \in B_1} \frac{|a_1|}{\|\vec{x}\|}, \max_{\vec{x} \in B_2} \frac{|a_2|}{\|\vec{x}\|}, \dots, \max_{\vec{x} \in B_m} \frac{|a_m|}{\|\vec{x}\|} \right\}, \quad (7.13)$$

bu yerda B_1, B_2, \dots, B_m – mos ravishda A_1, A_2, \dots, A_m noravshan to'plamlarning tashuvchilaridir (7.2-rasm).



7.2-rasm. (7.13) formula natijasining tasviri

(7.13) munosabatdan foydalanish uslubiyatini misolda tushuntirib o'tamiz.

Quyidagi qoidalar juftligi bilan ta'riflanuvchi NLR ni qaraylik:

Π_1 : agar $x^1 \in P$ va x^2 – ixtiyoriy bo'lsa, u holda $u=1$,

Π_2 : agar $x^1 \in N$ va x^2 – ixtiyoriy bo'lsa, u holda $u=-1$,

Π_3 : agar x^1 – ixtiyoriy va $x^2 \in P$ bo'lsa, u holda $u=1$,

Π_4 : agar x^1 – ixtiyoriy va $x^2 \in N$ bo'lsa, u holda $u=-1$,

Π_5 : agar $x^1 \in Z$ va $x^2 \in Z$ bo'lsa, u holda $u=0$,

bu yerda x^1 va x^2 – vektorning 1- va 2-komponentalaridir.

7.3-rasmda Z, P va N noravshan to'plamlarning tegishlilik funksiyalari keltirilgan.

Π_1 qoidaga nisbatan A_1 noravshan to'plamning tashuvchisi – $x^1 \in [1, +\infty]$, $x^2 \in [-\infty, +\infty]$, $a_1=1$, demak:

$$\max_{x^1 \in [1, +\infty], x^2 \in [-\infty, +\infty]} \frac{|1|}{\|\vec{x}\|} = 1.$$

Π_2 qoida uchun A_2 noravshan to'plamning tashuvchisi – $x^1 \in [-\infty, -1]$, $x^2 \in [-\infty, +\infty]$, $a_2=-1$, demak:

$$\max_{x^1 \in [-\infty, -1], x^2 \in [-\infty, +\infty]} \frac{|-1|}{\|\vec{x}\|} = 1.$$

Π_3 qoida uchun A_3 noravshan to'plamning tashuvchisi – $x^2 \in [1, +\infty]$, $x^1 \in [-\infty, +\infty]$, $a_3=1$, bundan:

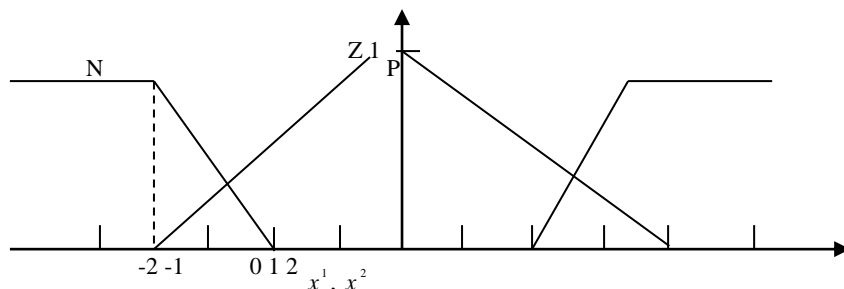
$$\max_{x^2 \in [1, +\infty], x^1 \in [-\infty, +\infty]} \frac{|1|}{\left\| \begin{matrix} \rightarrow \\ x \end{matrix} \right\|} = 1.$$

Π_4 qoida uchun A_4 noravshan to'plamning tashuvchisi – $x^2 \in [-\infty, -1]$, $x^1 \in [-\infty, +\infty]$, $a_4=-1$, bundan:

$$\max_{x^2 \in [-\infty, -1], x^1 \in [-\infty, +\infty]} \frac{|-1|}{\left\| \begin{matrix} \rightarrow \\ x \end{matrix} \right\|} = 1.$$

Π_5 qoida uchun A_5 noravshan to'plamning tashuvchisi – $x^1 \in [-2, -2]$, $x^2 \in [-2, +2]$, $a_5=0$, demak:

$$\max_{x^1 \in [-2, -2], x^2 \in [-2, +2]} \frac{|0|}{\left\| \begin{matrix} \rightarrow \\ x \end{matrix} \right\|} = 0.$$



7.3-rasm. Noravshan to'plamlarning tegishlilik funksiyasi

Berilgan xususiy natijalarni (7.3)-ifodaga qo'yib, $\hat{K}_H = \max(1, 1, 1, 1, 1, 0) = 1$ munosabatga ega bo'lamiz. $K_H=0.642$ ekanligini ko'rsatib o'tamiz.

3. Barqarorlikning yetarli sharti. Ixityoriy NLR ga nisbatan \hat{K}_H kattalikning sonli qiymatini aniqlash uslubiyatidan foydalanib, 7.1-rasmdagi tizimning asimptotik barqarorlik mezoniga ega bo'lish mumkin. Faraz qilaylik, LDZ (7.1-rasm) vector- matrisali differensial tenglama orqali ta'riflansin.

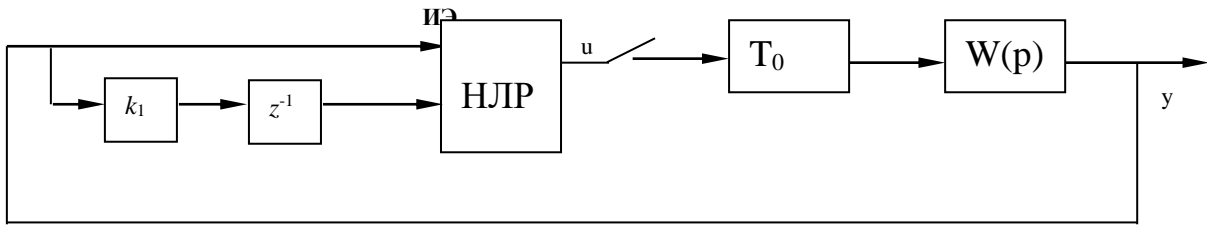
$$\frac{d \vec{x}}{dt} = A \vec{x} + b u, \quad (7.14)$$

bu yerda A va b - mos ravishda o'zgarmas matrisa va vektordir.

Impulsi elementni nolinch tartibli fiksator va chiziqli dinamik zveno bilan ketma-ket ulash chekli ayirmali tenglama orqali ta'riflanadi :

$$\vec{x}_{k+1} = A_0 \vec{x}_k + b_0 u(x_k), \quad (7.15)$$

bu yerda $A_0 = e^{AT_0}$, $b_0 = A^{-1}(e^{AT_0} - I)b$, T_0 - impulsi elementning ishlash davri, I - birlik matrisa, $u(x_k)$ - NLR orqali amalga oshiriluvchi nochiziqli almashtirish, $k=0,1,2,\dots$



7.4-rasm. NLR li tizimga misol

Ko'rilayotgan tizimning barqarorlik mezonini aniqlash uchun A.M.Lyapunovning ikkinchi usulidan foydalanamiz. A.M.Lyapunovning funksiyasi sifatida uning eng sodda ko'rinishini tanlaymiz.

A.M.Lyapunov funksiyasi sifatida tizimning holatiga bog'liq o'zgaruvchilar matrisasini $\vec{x}^T A \vec{x}$ tanlash (bu yerda A – musbat aniqlangan matrisa) barqarorlikning keng doirasini olishga imkon bersada, bunda matematik amallar anchalik murakkablashadi [100].

(7.3) va (7.15) larni birgalikda yechib

$$\vec{x}_{k+1} = A_0 \vec{x}_k + \vec{b}_0 \vec{k}^T (\vec{x}_k) \vec{x}_k \quad (7.16)$$

munosabatga ega bo'lamiz.

Siqiluvchi akslantirishlar tamoyiliga ko'ra, (7.16) tizimdagi muvozanat holatning asimptotik barqarorligining yetarli sharti (7.17) tengsizlikning bajarilishidir, ya'ni ilxtiyoriy \vec{x}_k da

$$\|A_0 + \vec{b}_0 \vec{k}^T (\vec{x}_k)\| < 1. \quad (7.17)$$

(7.7) va (7.13) ifodalarni hisobga olgan holda (7.17) tengsizlikni tizimning parametrlariga nisbatan yechib olish mumkin.

7.4-rasmda keltirilgan avtonom tizimni qaraylik (k_1 – proporsional zveno, z^{-1} - bitta taktga to'xtab qolish zvenosi).

Boshqaruv obyektini quyidagi funksiya orqali ifodalaymiz:

$$W(p) = -\frac{k_0}{1 + pT}.$$

Nolinchi tartibli fiksatorga ega bo'lgan impulsli element T_0 kvantorlash davriga ega.

7.4-rasmdagi tizim uchun quyidagi chekli ayirmali tenglama o'rinishidir:

$$\begin{bmatrix} x_{k+1}^1 \\ x_{k+1}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-\frac{T_0}{T}} & 0 \\ -k_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k^1 \\ x_k^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(1 - e^{-\frac{T_0}{T}}\right) k_0 \\ 0 \end{bmatrix} u(-x_k^1, x_k^2),$$

$$u(-x_k^1, x_k^2) = \vec{k}^T (-x_k^1, x_k^2) \begin{bmatrix} -x_k^1 \\ x_k^2 \end{bmatrix},$$

bu yerda $x_k^1 = -y_k$, $x_k^2 = k_1 y_{k-1}$.

Ko'rilayotgan holda (7.17) barqarorlik sharti quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\left\| \begin{bmatrix} e^{-\frac{T_0}{T}} & 0 \\ -k_1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(1 - e^{-\frac{T_0}{T}}\right) k_0 \\ 0 \end{bmatrix} \right\| \bar{k}^T (-x_k^1, x_k^2) \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} < 1.$$

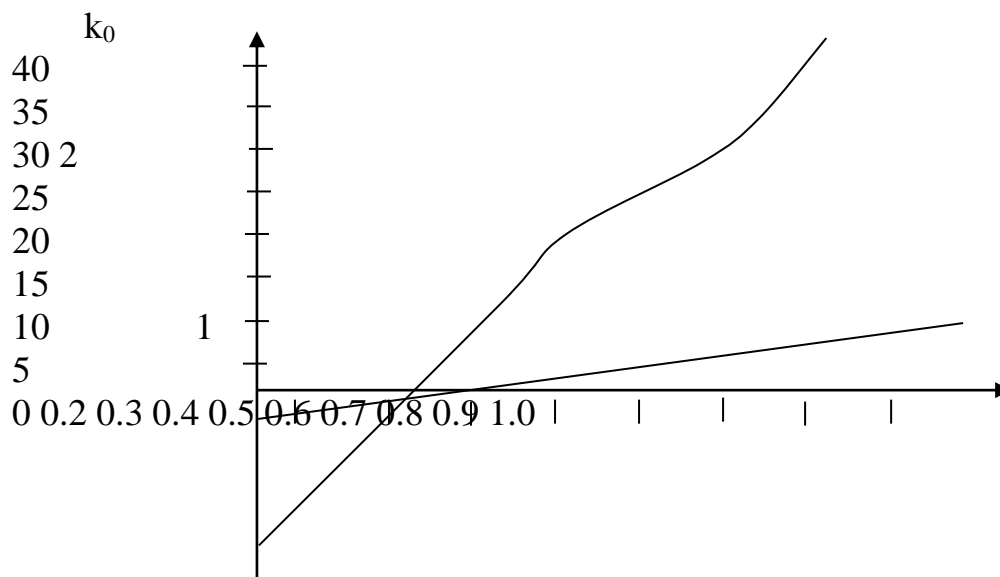
(7.7), (7.13) ifodalardagi matrisaviy normaning xossalari ko'ra, mazkur tengsizlik bajarilishi uchun yetarli shart:

$$\left| \begin{matrix} k_1 < 1 \\ e^{-\frac{T_0}{T}} - 2\hat{K}_H k_0 \left(e^{-\frac{T_0}{T}} - 1 \right) \end{matrix} \right| < 1.$$

Bu yerdan muvozanat holatining asimptotik barqarorligining yetarli sharti quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$k_1 < 1 \\ k_0 < \frac{1 + e^{-\frac{T_0}{T}}}{2 \left(1 - e^{-\frac{T_0}{T}} \right) \hat{K}_H}.$$

$\hat{K}_H = 1$, $k_1 = 0.1$ va $T_0 = 0.1$ deb olgan holda, 7.5-rasmda tasvirlangan tizimning sohasini aniqlaymiz (1 chiziqdan quyida).



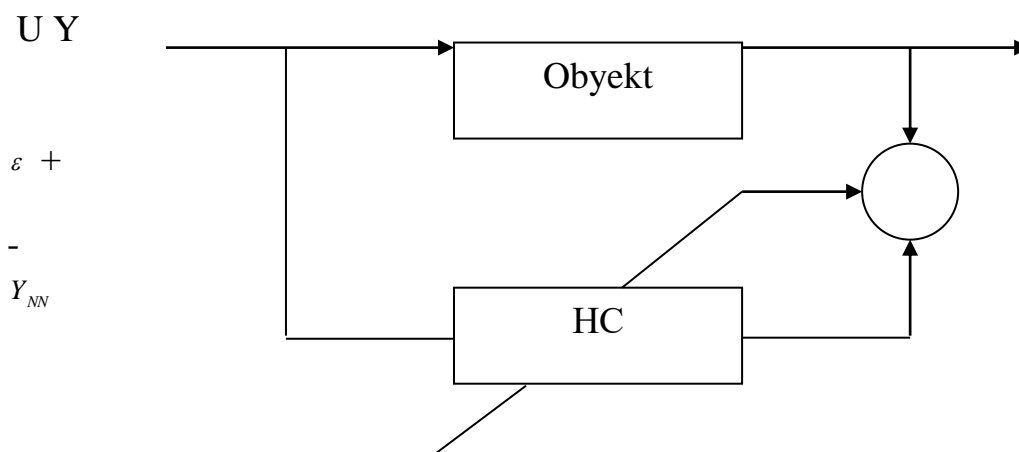
7.5-rasm. Tizim barqarorligining sohasi

Solishtirish uchun mazkur rasmda imitasion modellashtirish yo'li bilan hosil qilingan tizim barqarorligining haqiqiy sohasi ko'rsatilgan (2 chiziqdan pastdagi soha).

7.2. Neyron rostlagichlar. Neyron noaniq rostlagichlar

Neyron to'rlari yordamida identifikatsiyalash. Neyron to'rlari funksiyalaridan murakkab nohiziqli noma'lum obyekt va tizimlarni identifikatsiyalash uchun universal approksimatorlar sifatida keng foydalaniladi [1-5]. 7.6-rasmda

obyektning to'g'ri modelini neyron to'rlari yordamida identifikatsiyalash sxemasi keltirilgan.



7.6-rasm. Obyektning to'g'ri modelini identifikatsiyalash sxemasi

Bunday holatda izlanayotgan modelni ifodalovchi Y_{NN} kattalik modelning chiqishi va noma'lum obyektning joriy chiqishi o'rtasidagi o'rta kvadratik xatolikning minimal qiymatini ta'minlaydi. Identifikatorning bunday turida (ya'ni obyekt modeli identifikatorida) obyektning chiqishi neyron identifikatorning chiqishi bilan solishtiriladi.

Obyektning inversiyali modelini aniqlashda oxirgisining kirishi (u) neyron identifikatorning chiqishi (Y_{NN}) bilan solishtiriladi. ε_{ck}^2 o'rta kvadratik xatolikning minimal qiymatini ta'minlab beruvchi obyektning izlanayotgan modeli identifikatsiyalash masalasini yechish davomida aniqlanadi va amaliyotga tadbiiq etiladi (7.2.2-rasm). Neyron identifikatorning 2 ta turi: moslashuvchi va o'qituvchilar farqlanadi [1]. Birinchi holatda neyron to'rning chiqishi o'qitish signaliga bitta tajriba doirasida yaqinlashadi.

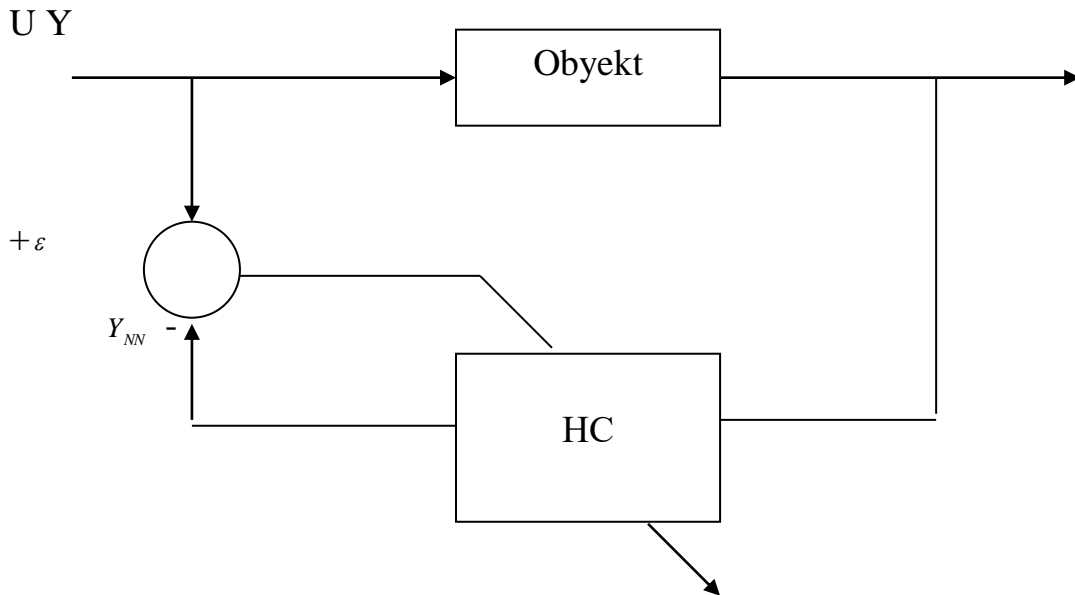
Soddalik uchun, avvalambor, quyidagi uzatma funksiya orqali ta'riflanuvchi boshqaruv obyektlarining sinfini qaraymiz:

$$A(Z^{-1})Y(k) = Z^{-d} G_0 B(Z^{-1})U(k),$$

$$A(Z^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^n a_i Z^{-i}, \quad (7.18)$$

$$B(Z^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^m b_i Z^{-i},$$

bu yerda a_i, b_i -obyektning noma'lum parametrlari, d – sof kech qolish vaqti. n va m tartiblar va d - sof kech qolish vaqti ma'lum deb faraz qilinadi.



7.7-rasm. Obyektning teskari modelini aniqlash sxemasi

(7.18) obyektning chiqishi quyidagi ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$Y(k) = -\sum_{i=1}^n a_i Y(k-i) + G_0 \left\{ U(k-d) + \sum_{i=1}^m b_i u(k-i-d) \right\}. \quad (7.19)$$

1.4-bo'limda qaralgan o'qitish usullaridan foydalanib, neyron to'rlari yordamida qurilgan modelning vaznli matrisalarini $\varepsilon_{ek}^2 = [Y(k) - Y_{NN}(k)]^2$ minimal bo'ladigan qilib tanlash mumkin. To'g'ri modelni aniqlashda $Y(k)$ obyektning chiqishi o'qitish signaliga aylanadi. (7.19) tenglamadan foydalanib neyron identifikatorning kirishi $i(k)$ va α parametrlarning noma'lum vektori quyidagi tenglamalar yordamida aniqlanishi mumkin [1]:

$$I^T(k) = [U(k-d), Y(k-1), \dots, Y(k-n), U(k-d-1), \dots, U(k-m-d)], \quad (7.20)$$

$$\alpha^T = [G_0, a_1, \dots, a_n, G_0 b_1, \dots, G_0 b_m]. \quad (7.21)$$

O'z navbatida neyron to'rning chiqishi (agar u chiziqli bo'lsa) quyidagi ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$Y_{NN}(k) = w^T(k)W(k)I(k), \quad (7.22)$$

bu yerda $w^T(k)$, $w(k)$ - vaznlar vektori va matrisasi.

Agar o'qitish signalini

$$Y(k) = \alpha^T I(k)$$

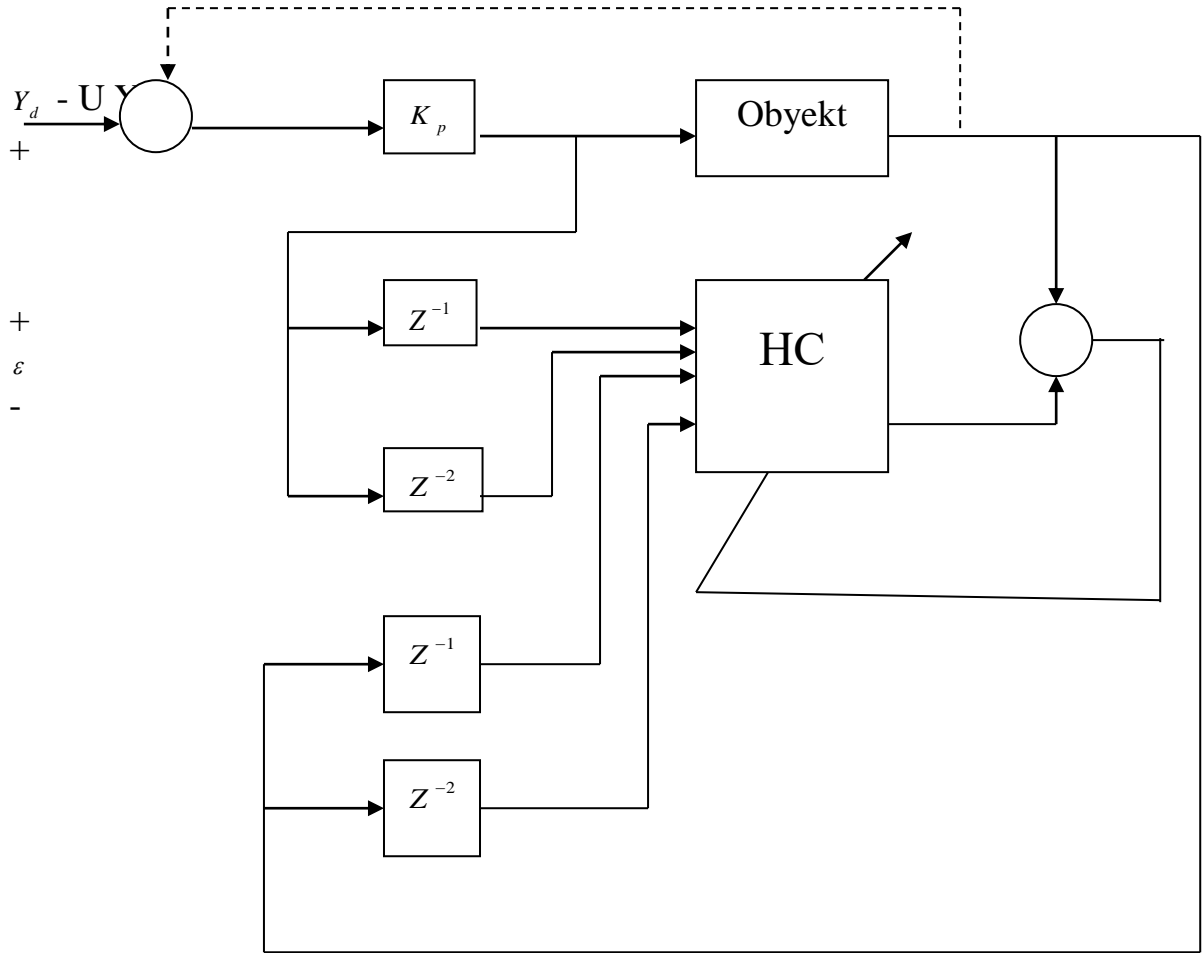
ko'rinishda ifodalasak, u holda

$$\varepsilon(k) = [\alpha^T - w^T(k)W(k)]I(k) \quad (7.23)$$

munosabatga ega bo'lish mumkin.

(7.23) dan kelib chiqqan holda, $\varepsilon = 0$ munosabat bajariladigan shart bo'lib $\alpha^T = w^T(k)W(k)$ xizmat qiladi, bu esa $w^T(k)$, $W(k)$ vazn matrisalari va izlanayotgan α^T parametrlar o'rtasidagi to'g'ri muvofiqlikni ko'rsatadi. 7.8-rasmda $n=2$, $m=1$, $d=5$ holi uchun obyektning to'g'ri uzatma funksiyasi identifikatorning tuzilmasi keltirilgan. 7.8-rasmdan ko'rinib turganidek, neyron to'r (identifikatorning) kirish-

lari obyektning kiruvchi va chiquvchi signallari bo'ladi. O'qitish paytida neyron to'ring kirishida har doim chegaralangan signal bo'lishi uchun obyekt manfiy teskari aloqa bilan qamrab olinishi kerak. Agarda obyektning chiqishi har doim chegaralangan bo'lsa, bunday teskari aloqaga ehtiyoj qolmaydi.



7.8-rasm. To'g'ri model identifikatorining blok-sxemasi

Yuqorida qayd etilganidek, no'malum obyektning inversli uzatma funksiyasini hosil qilishda oxirgisining chiquvchi signali o'qitish signali sifatida qo'llaniladi, u esa o'z navbatida quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$U(k-d) = (1/G_0)Y(k) + \sum_{i=1}^n a_i Y(k-i) + G_0 \left\{ U(k-d) - G_0 \sum_{i=1}^m b_i U(k-i-d) \right\}.$$

Neyron to'ring kiruvchi vektori va noma'lum α parametrlar vektori to'g'ri modelning identifikatori singari o'xshash usulda aniqlanadi:

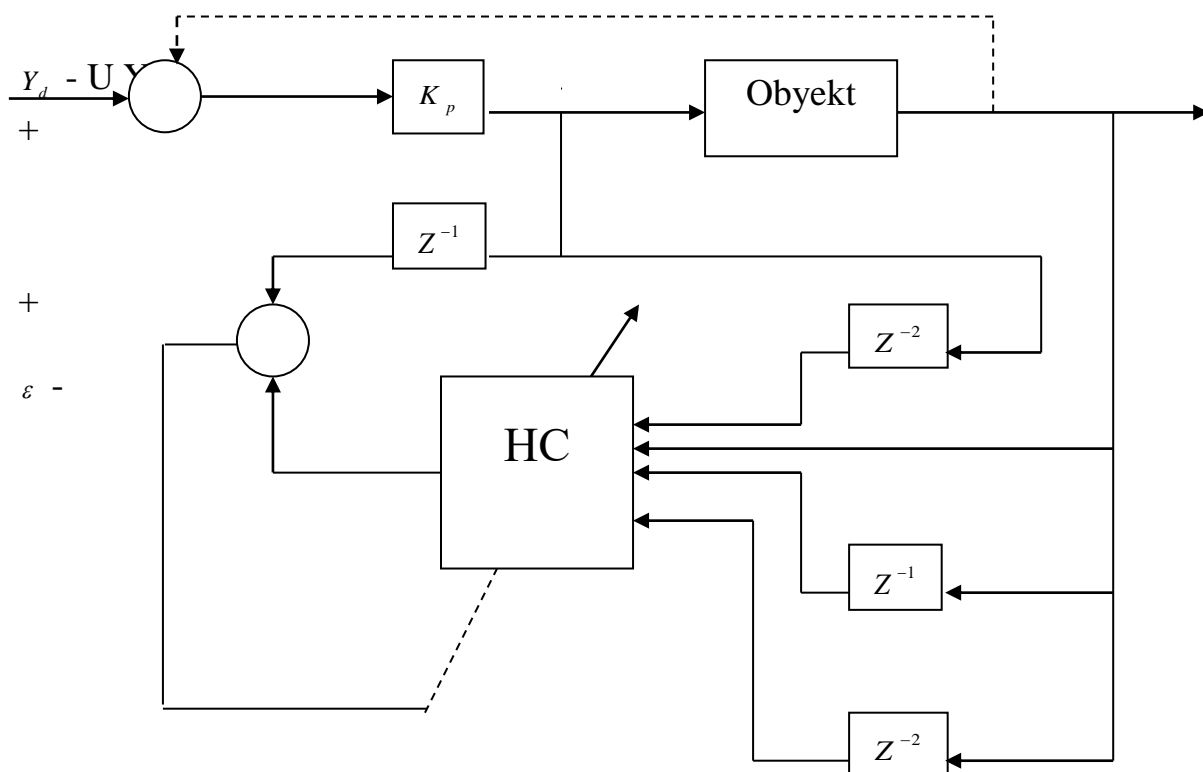
$$I^T(k) = [Y(k), Y(k-1), \dots, Y(k-n), U(k-1-d), \dots, U(k-m-d)], \quad (7.24)$$

$$\alpha^T = 1/G_0 [1, a_1, \dots, a_n, G_0 b_1, \dots, G_0 b_m]. \quad (7.25)$$

$$\varepsilon(k) = U(k-d) - U_{NN}(k)$$

shartdan $\alpha^T = w^T(k)W(k)$ da ε nolga aylanadi degan xulosaga kelish mumkin. Bu shart, mos o'qitish algoritmidan foydalangan holda, obyektning noma'lum parametrlarini topishga imkon beradi.

$n=2, m=1, d=1$ holatdagi obyekt uchun inversiyali neyron identifikatorning tuzilmasi 7.9-rasmda keltirilgan.



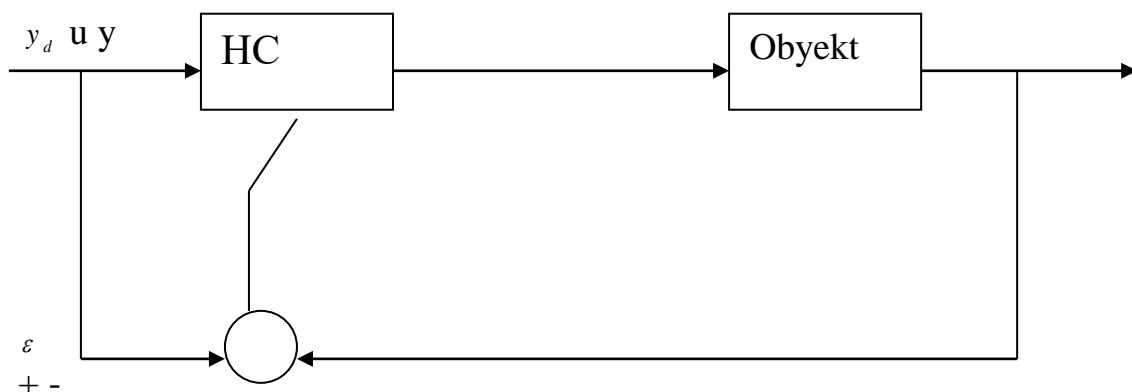
7.9-rasm. Teskari model identifikatorining blok-sxemasi

Shu paytgacha biz chiziqli obyektning chiziqli neyron to'rlar orqali identifikatsiyasini ko'zdan kechirdik. Neyron to'rlari yordamida qurilgan modelda mos nochiziqli faollashtirish funksiyalari, xususan, sigmoid funksiyani tanlash va ularni ko'rilayotgan neyron to'rlarga qo'shish orqali ixtiyoriy nochiziqli obyektning aniqlash mumkin.

Neyron boshqaruv. Neyron to'rlar har xil boshqaruv tizimlarida nazoratchilar sifatida keng foydalaniladi [3]. Bu, birinchi navbatda, neyron to'rlar tuzilmasining egiluvchanligi, sozlashning keng qamrovli qoidalarni amaliyotga tadbiq etishga imkon berishi bilan bog'liqdir. Ikkinchidan, o'qitishga moyillik neyron to'rlarga boshqaruv tizimining har xil sxemalarini amaliyotga tadbiq etish imkonini beradi.

7.10-rasmda to'g'ri nazoratchili neyron boshqaruv tizimining tuzilmasi keltirilgan. Bu tizimda neyron nazoratchi obyektning inversli modelini amaliyotga tadbiq etadi. Obyektning jismoniy jihatdan amaliyotga tadbiq etiluvchi teskari modelini har doim ham hosil qilib bo'lmasligi sababli, neyron boshqaruv tizimining bunday tuzilmasini har doim ham amaliyotga tadbiq etib bo'lmaydi.





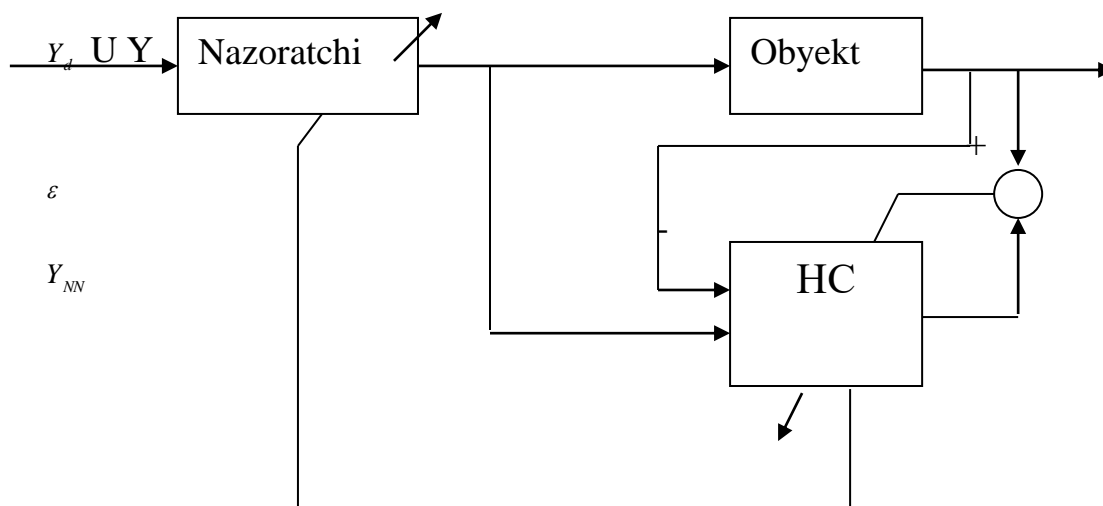
7.10-rasm. To'g'ri nazoratli neyron boshqaruv tizimining tuzilmasi

7.11-rasmda identifikatorli neyron tizimining tuzilmasi keltirilgan. Tizimlarning bunday sinfi noma'lum tavsifli obyektlarni boshqarish uchun qulaydir. Obyektning aniqlashtiriluvchi modeli tizimning neyron nazoratchisini sozlash uchun qo'llaniladi. Neyron identifikatorning bunday tuzilmasi yuqorida batafsil ko'rib chiqilgan edi. Quyida neyron nazoratchilarning kengaytirilgan tuzilmasini qaraymiz.

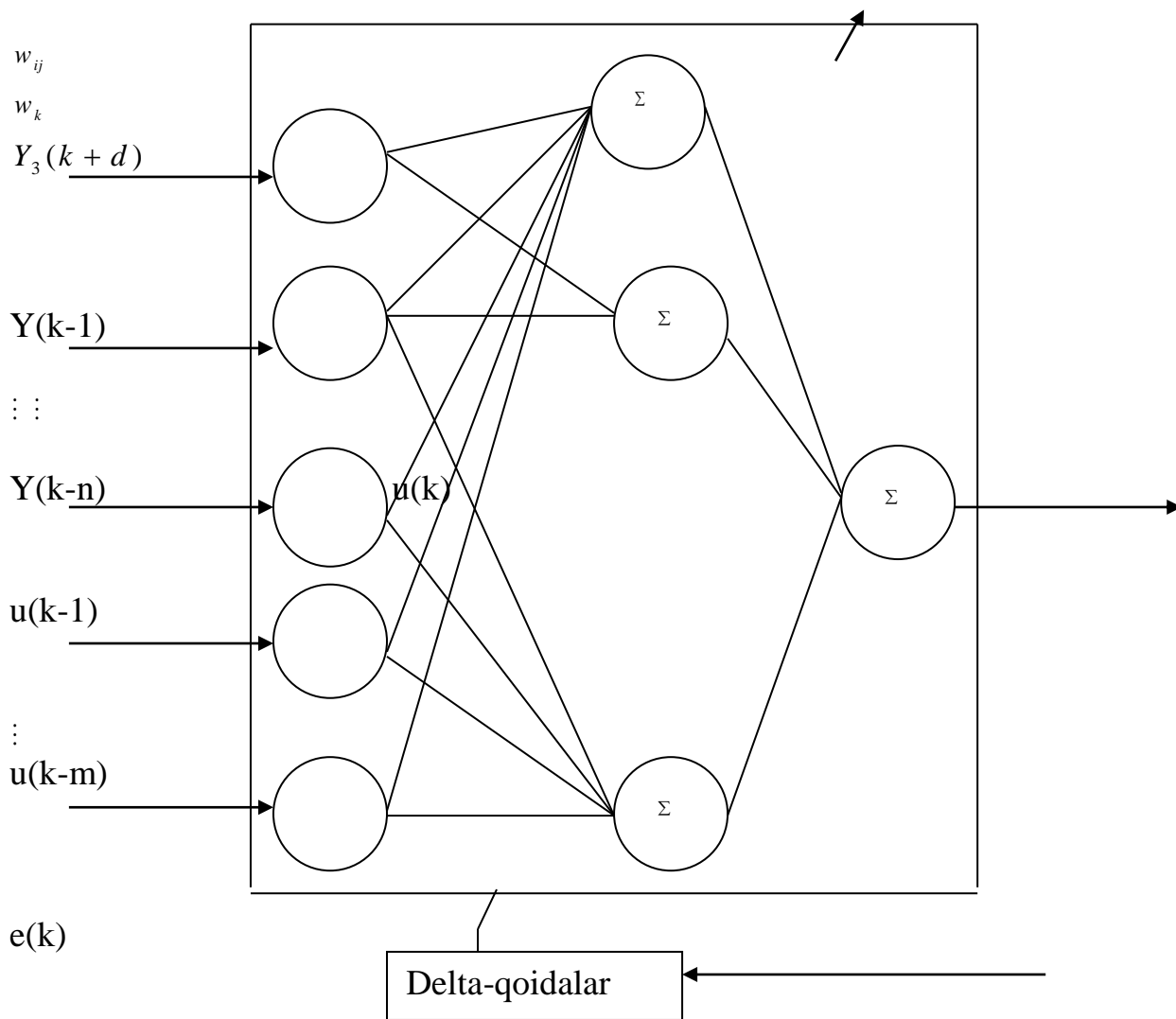
7.12-rasmda uch qatlamli neyron to'rga nisbatan ishlab chiqilgan chiziqli neyron nazoratchining tuzilmasi keltirilgan.

7.13-rasmda nochiziqli sozlash tizimlarida nazoratni amalga oshiruvchi uch qatlamli neyron to'r ko'rsatilgan.

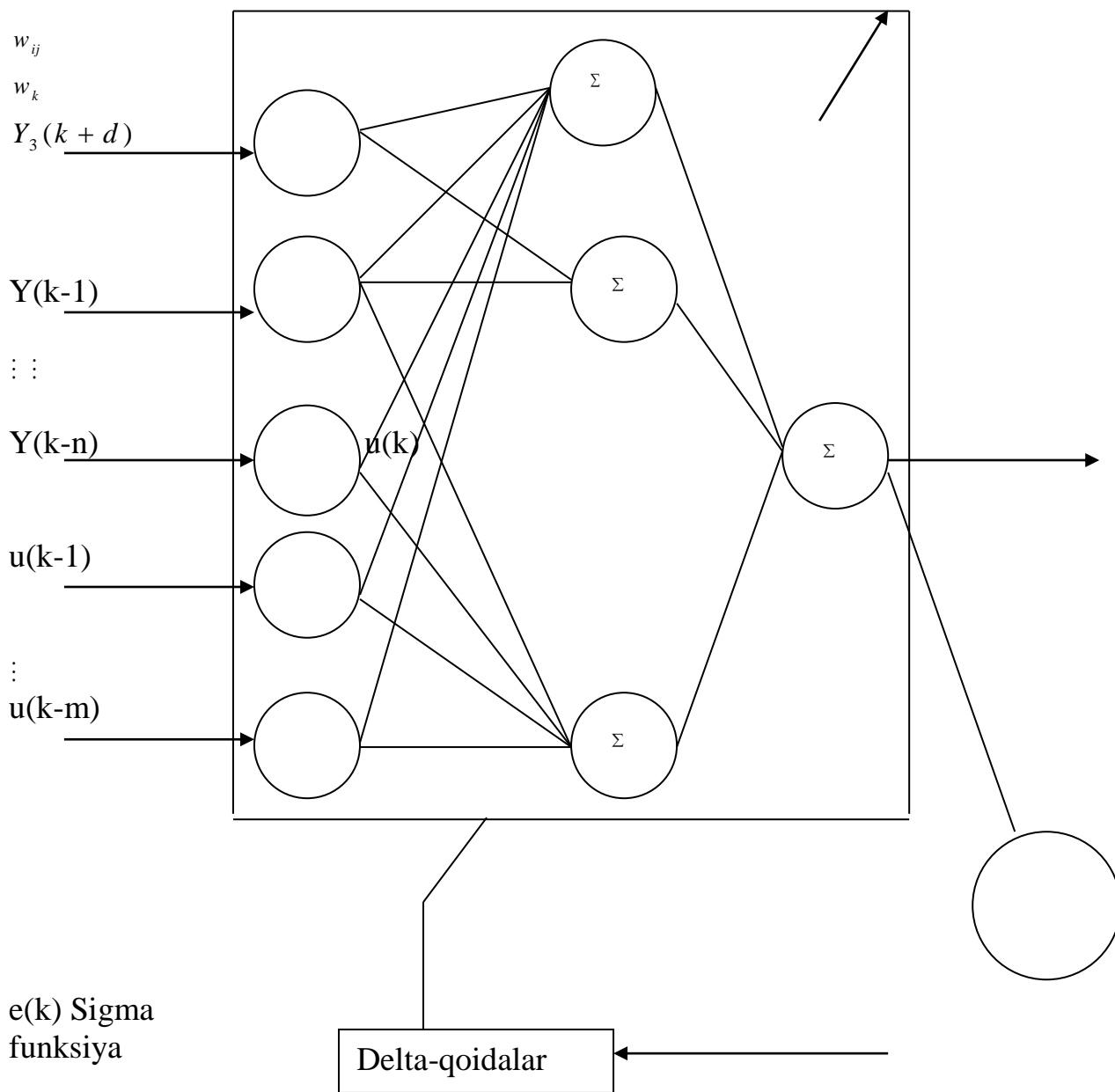
7.14-rasmda jarayonni boshqarishning neyron tizimi keltirilgandir.



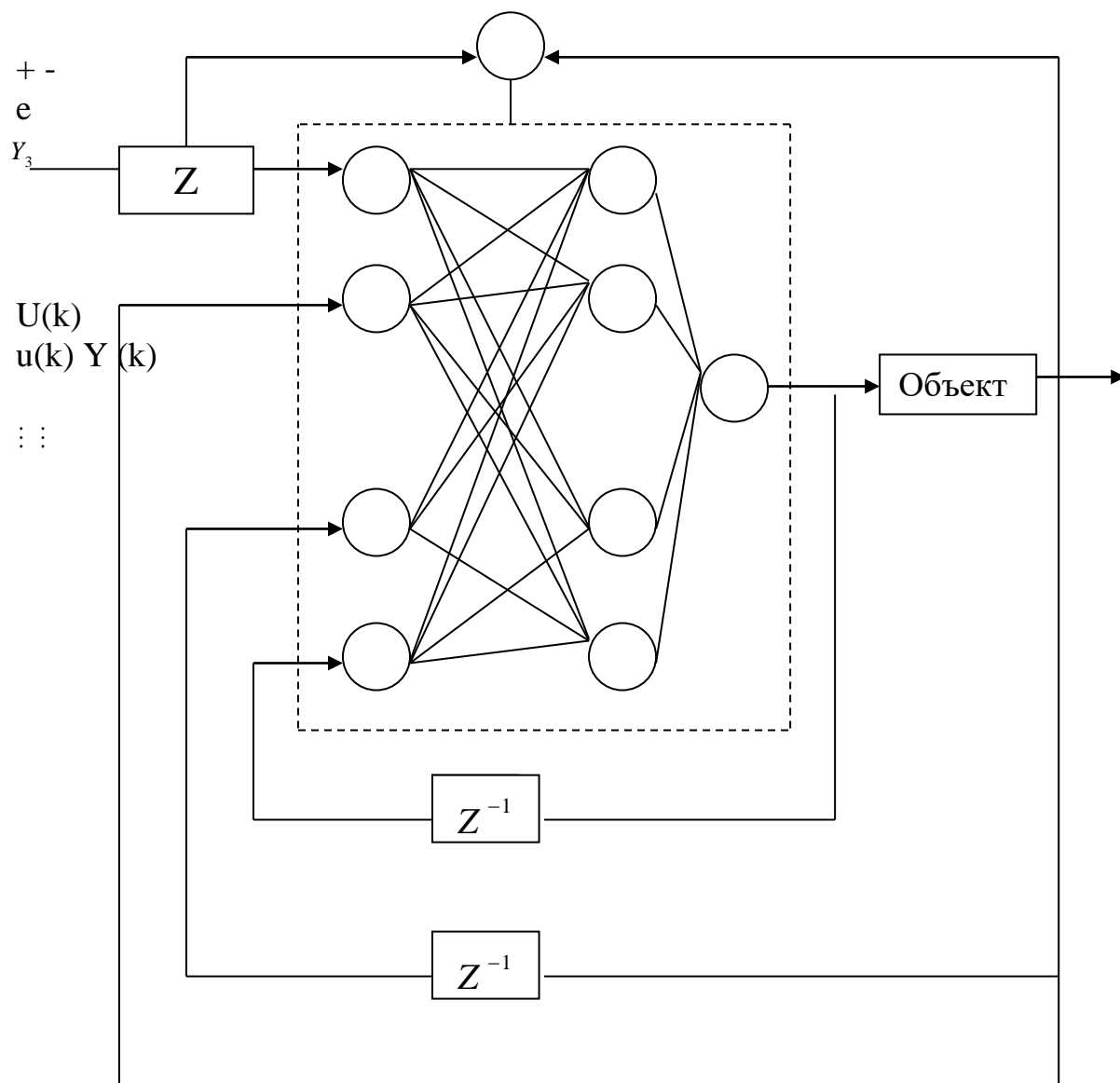
7.11-rasm. Identifikatorli tizimning tuzilmasi



7.12-rasm. Chiziqli uch qatlamli neyron to'r



7.13-rasm. Nochiziqli uch qatlamli neyron to'r



7.14-rasm. Dinamik neyron boshqaruv tizimining tuzilmasi

Quyida neyron boshqaruv tizimlarining barqarorlik muammosi qarab chiqiladi [1]. To'g'ri nazoratchili neyron tizimning barqarorligi o'rganib chiqiladi. Obyektning dinamikasini hisobga olgan holda, neyron to'r o'qitiladi. Kvadratik xatolik

$$E = e^t e / 2 \quad (7.26)$$

ko'rinishda beriladi, bu yerda $e = Y - Y_d$.

Quyida (7.26) ga asoslangan backpropagation usuldan foydalanadi:

$$\Delta W = \nabla_w E = -e^t (\partial Y / \partial U, \partial U / \partial W). \quad (7.27)$$

$\partial Y / \partial U$ matrisa tizimning barqarorligini o'rganishda zarur bo'lgan obyekt dinamikasini hisobga oladi.

Tizimning tuzilmasiga ko'ra, neyron nazoratchining U chiqishi

$$U = N(W, I)$$

kabi aniqlanadi.

Agar hamma neyronlar bitta umumiy sigmoid funksiya f ga ega bo'lsa, u holda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$N(W, I) = f(W_1 f(W_2 I)),$$

bu yerda w_1 - kiruvchi va o'rta qatlam orasidagi vazn matrisasi, w_2 - o'rta va chiquvchi qatlamlar orasidagi vazn matrisa,

$$f(x) = 1/(1 + e^{-x}).$$

w_1 va w_2 vazn matrisalari va vaznlar vektori W o'rtasidagi munosabat Lyapunov usulidan foydalangan holda

$$W_1 = \begin{bmatrix} W_1'1 \\ \vdots \\ W_1'j \\ \vdots \\ W_1'n \end{bmatrix}, W_2 = \begin{bmatrix} W_2'1 \\ \vdots \\ W_2'j \\ \vdots \\ W_2'n \end{bmatrix}, W' = (\dots, W_1'j, \dots, W_2', i)$$

ko'rinishda beriladi. Obyekt va parametrlar xatolarining kvadratik formasidan foydalanib, Lyapunov funksiyasi

$$V(e, w) = e^t P e / 2 + W^t U^{-1} w / 2$$

ko'rinishda qabul qilinadi [3].

$$e(t) = Y(t) - Y_d(t) \text{ (xatolikning chiqishi); } w = W = W_0 \text{ (parametrlarning xatosi);}$$

$$u(t) = U(t) - U_0(t) \text{ (boshqaruv kirishining xatosi),}$$

bu yerda Y_d - chiqishning kutilayotgan qiymati, W_0 - izlanayotgan vektor yaqinlashadigan vaznli vektor, $U_0(t) - U_0 = N(W_0, I_0)$ ko'rinishda aniqlanuvchi muvozanat nuqtasida neyron to'r orqali amalga oshirilgan boshqaruv kirishi, I_0 - neyron to'rning muvozanat nuqtasidagi kirishi.

Obyektni birlik kirishga ega bo'lgan musbat haqiqiy tizim deb faraz qilganda, quyidagi munosabat hosil bo'ladi:

$$\dot{e}(t) = F e(t) + g u(t), \quad (7.28)$$

$$\varepsilon(t) = c^t e(t), \quad (7.29)$$

$$PF + F^t P = -Q, \quad (7.30)$$

$$Pg = c, \quad (7.31)$$

bu yerda $\dot{e}(t) = d(e(t))/dt$, F - $R^{n \times m}$ dagi o'zgarmas matrisa, c va g - R^n dagi o'zgarmas vektorlardir. Agarda obyekt musbat haqiqiy tizim bo'lsa, u holda musbat aniqlangan Q matrisa mavjud bo'ladi.

$(dV/dt) < 0$ shartda dinamik tizimning barqarorligi, NS ning yaqinlashishi kafolatlanadi, chunki Lyapunov funksiyasi rolini musbat-aniqlangan funksiya o'ynaydi. Bu shart (7.28)-(7.31) dan foydalangan holda o'rganiladi:

$$\begin{aligned} dV/dt &= e^t (PF + F^t P)e / 2 + (e^t Pg + g^t Pe)u / 2 + \\ &+ d(w^t U^{-1} w / 2) / dt = -e^t Q e / 2 + \varepsilon u + \dot{w}^t U^{-1} w. \end{aligned} \quad (7.32)$$

(7.32) dagi birinchi had manfiy bo'lgani uchun $dV/dt < 0$.

$$\varepsilon u + \dot{w}^t U^{-1} w \leq 0 \quad (7.33)$$

shart qanoatlanganida, bu yerda $\dot{w}^t = dw / dt = \Delta w$, u o'qitishga nisbatan korrelasiya qiymatini ifodalaydi. (7.33) tengsizlik shartini ko'rib chiqish natijasida quyidagi o'qitish qoidasi hosil bo'ladi:

$$\dot{w}^t = -\varepsilon u + w^{-t} U (w = -U^{-t} \varepsilon u w^{-1}), \quad (7.34)$$

bu yerda $w^{-t} - w^{-t} w = w^t w^{-t} = 1$ shartni qanoatlantiruvchi vektor sifatida aniqlanadi.

Backpropagation usuli orqali o'qitiluvchi to'g'ri nazoratchili tizimning barqarorligini tekshirish quyidagiga olib kelinadi. Model uchun ham, parametrning xatosi uchun ham kvadratik forma Lyapunov funksiyasi sifatida tanlanadi. Lekin, bunday holatda, backpropagation usul (7.26) orqali aniqlangan E kvadratik xatolikdan keltirib chiqarilgani uchun, $v(e)$ kvadratik xatolik Lyapunov funksiyasi sifatida tanlanadi. (7.26) tenglama (7.35) ning $P=1$ (birlik matrisa) dagi xususiy holli sifatida beriladi. Lyapunov funksiyasi xatolik vektorining yaqinlashishini e'tiborga olmaydi:

$$v(e) = E = e^t P e / 2. \quad (7.35)$$

(7.28)-(7.31) dan foydalanganda obyektning haqiqiy musbat tizim deb qabul qilamiz va birlik kirishga ega bo'lamiz. U holda dV/dt quyidagiga teng bo'ladi:

$$\begin{aligned} dV / dt &= e^t (P F + F^t P) e / 2 + (e^t P g + g^t P e) u / 2 = \\ &= -e^t Q e / 2 + \varepsilon u = -e^t Q e / 2 + \varepsilon N (W, I). \end{aligned} \quad (7.36)$$

Backpropagation usul

$$\begin{aligned} \Delta W &= -\eta e^t P (\partial e / \partial u) (\partial u / \partial W) = \\ &= -\eta e^t P g (\partial N / \partial W) = -\eta \varepsilon (\partial N / \partial W) \end{aligned} \quad (7.37)$$

kabi ko'rinishda beriladi, bu yerda η - o'qitish koeffitsiyentini sozlovchi musbat parametr. (7.37) bo'yicha aniqlangan backpropagation usul (7.36) bilan almashtirila olmaganligi sababli, biz muvozanat nuqtasidan kichik chetlanishni hisobga olamiz, bu esa local barqarorlikni tahlil qilish zarurati bilan bog'liqdir.

Boshqaruv kirishi

$$\Delta u = (\partial N / \partial W)^t \Delta W (\partial N / \partial I) \Delta I \quad (7.38)$$

kabi ko'rinishda beriladi.

(7.38) shartning farazida (7.36) bilan almashtiriladi:

$$\begin{aligned} dV / dt &= -e^t Q e / 2 + \varepsilon \{ (\partial N / \partial W)^t \Delta W + (\partial N / \partial I)^t \Delta I \} = \\ &= -e^t Q e / 2 - \eta \varepsilon^2 (\partial N / \partial W)^t (\partial N / \partial W) + (\partial N / \partial I)^t \Delta I, \end{aligned} \quad (7.39)$$

bu yerda teskari aloqa axboroti quyidagi ko'rinishda aniqlanadi:

$$\Delta I^t = (e, u)^t, \quad u = (g | g) u.$$

(7.39) tenglama quyidagi ko'rinishda qaytadan yozib olinadi:

$$dV / dt = -e^t Q e / 2 - \eta \varepsilon^2 (\partial N / \partial W)^t (\partial N / \partial W) + \varepsilon (\partial N / \partial e)^t e + \varepsilon (\partial N / \partial u)^t u = -e^t (Q / 2 + R - S) e + e^t T u, \quad (7.40)$$

bu yerda:

$$\begin{aligned} R &= \eta P g (\partial N / \partial W)^t (\partial N / \partial W) (P g)^t, \\ S &= P g (\partial N / \partial e)^t, \\ T &= P g (\partial N / \partial u)^t. \end{aligned} \quad (7.41)$$

Barqarorlik $dV / dt \leq 0$ bo'lgandagina kafolatlanganligi uchun, biz (7.40) dagi har bir hadning ishorasini o'rganib chiqamiz. Lekin, ikkinchi had ($e^t T u$) ning ishorasi aniqlanmagan. Agarda ma'lum bir vaqt oralig'ini olsak, $\int (dV / dt) \delta t$ integralni baholash mumkin. Obyekt - musbat haqiqiy tizim [1]

$$\int_{-\infty}^T (e^t u) dt \geq 0 \quad (7.42)$$

bo'lsa passiv tizimga olib kelinadi. Ikkinchi hadning ishorasi $T < 0$ da manfiy bo'ladi. $R > 0$ shart umumiy holda qanoatlangani uchun, $\int (dV / dt) \delta t$ ishora $S, T < 0$ da manfiy bo'ladi. Natijada tizimning barqarorligi ta'minlanadi. S va T ning manfiy aniqlanganligi

$$\partial N / \partial I = f'(net^0) W_1 f'(net^1) W_2 \quad (7.43)$$

kabi aniqlanuvchi ($\partial N / \partial I$) qiymatga bog'liq bo'lmaydi, bu yerda:

$$f'(net^0) = d(f(W_1 f(W_2 I))) / d(W_1 f(W_2 I)),$$

$$f'(net^1) = d(f(W_2 f)) / d(W_2 I).$$

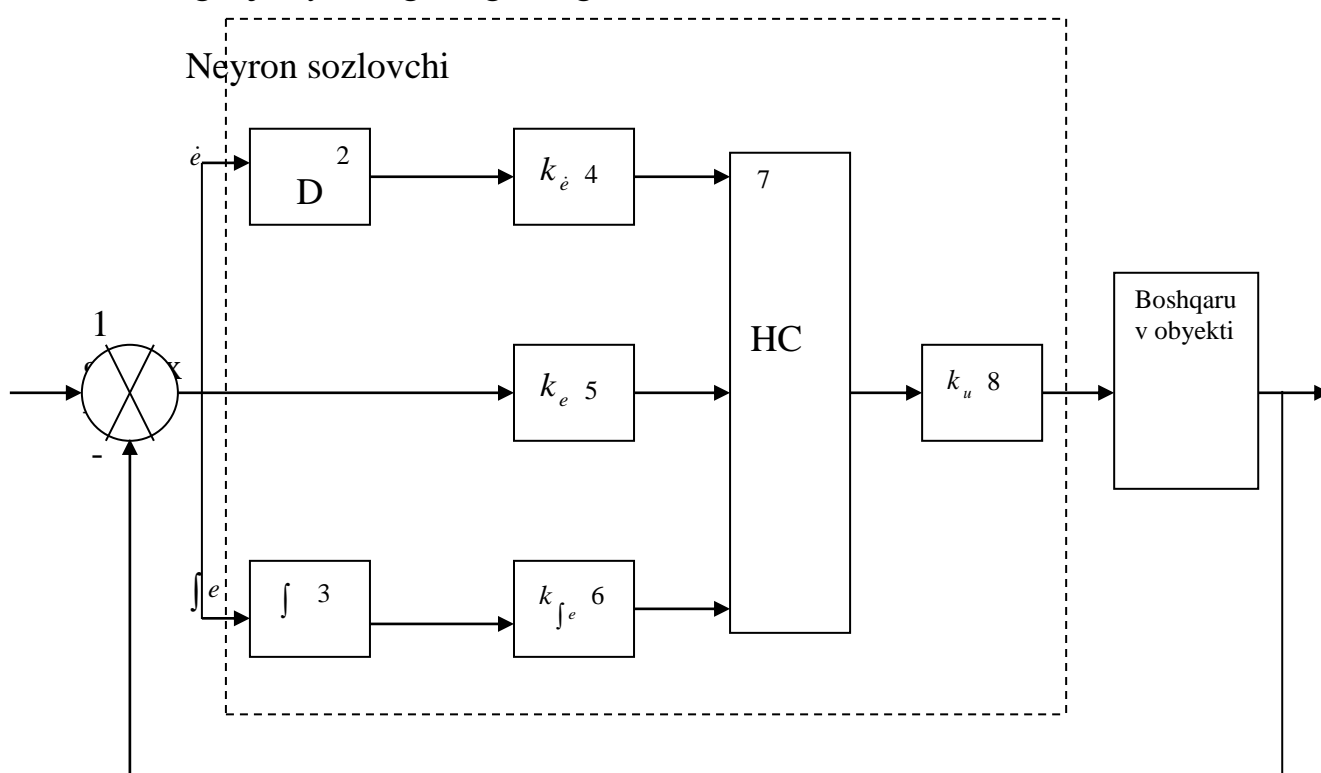
(7.43) da ko'rsatilishicha, S va T ning manfiy aniqlanganligi boshlang'ich qiymat va vaznli vektorning yaqinlashish trayektoriyasi bilan qat'iy bog'langan vaznli vektorga bog'liq bo'ladi.

Bu natijalar tizim S va T ning manfiy aniqlanganligiga erishilganda barqaror bo'lishini ko'rsatadi. Lekin, manfiy aniqlanganlik shartlari ham qanoatlantirilmasa, tizim musbat aniqlangan Q va R matrisalarning normalari katta qiymatlarni qabul qilganda barqaror bo'lishi mumkin. Q ning musbat aniqlanganligi musbat haqiqiy obyektga bog'liq bo'ladi. Musbat aniqlangan R matrisaning normasini sozlash parametri η , hamda vaznli matrisaning normasiga qat'iy bog'liq bo'ladi. Shuning uchun, η ga nisbatan katta qiymatni va katta $(\partial N / \partial W)$ normani tanlash mumkin bo'lganida, tizim barqaror bo'lish ehtimoliga egadir. Lekin, backpropagation usulning diskret turidan foydalanganda, $\|\Delta W\|$ ga nisbatan yuqori cheklanish mavjud bo'ladi, bu esa ΔW katta bo'lganida nobarqarorlikka olib keladi.

W vaznli vektorning xatti-harakat trayektoriyasini kuzatish mumkin bo'lsa, biz barqarorlik shartini miqdoriy jihatdan baholashimiz mumkin edi. Keltirilgan tahlil barqarorlik tavsifini faqatgina sifatli baholaydi va backpropagation usulidan foydalangan holda, barqarorlik ham boshlang'ich vaznli parametr, ham η parametr ga bog'liq bo'ladi. η ni sozlash yordamida parametrik va vaznli vektorning boshlang'ich qiymatini o'zgartirgan holda, barqarorlik shartini sinov va xatoliklar usuli bilan topish kerak.

Rektifikasion ustunning temperaturasini avtomatik ravishda tartibga solish uchun neyron nazoratchini sinetlash masalasini qaraymiz. Texnologik jarayonni avtomatik ravishda boshqarishning bir o'lchovli tizimi tuzilmasi 7.15-rasmda keltirilgan. 1-solishtiruvchi qurilmadagi sozlanuvchi x koordinata g funksiya bilan solishtiriladi va $e=g-x$ xatolik signali 2 differensiator va 3 integratorga kelib tushadi.

Differensiator (\dot{e}), integrator ($\int e$) ning chiquvchi signallari va e - xatolik signali 4-6 elementlardagi $k_{\dot{e}}, k_{\int e}, k_e$ masshtabli koeffitsiyentlarga ko'paytiriladi, so'ngra 7 bilimlar bazasiga kelib tushadi, bu yerda u boshqaruv signali shakllantiriladi, u 8 element tomonidan masshtablanganidan so'ng, 9 obyektning ijro etiluvchi mexanizmiga kelib tushadi. 4-6 va 8 masshtabli elementlar sozlagichni aniq bir texnologik jarayonlarga bog'lashga imkon beradi.



7.15-rasm. Neyron sozlagichning tuzilmasi

Neyron sozlagichning avtomatik boshqaruvini sintezlash masalasi 9-obyektli tizimda istalgan koeffitsiyentlar bilan qoniqarli darajada ustma-ust tushuvchi o'tar tavsif hosil bo'ladigan $k_{\dot{e}}, k_{\int e}, k_e, k_u$ vaznli koeffitsiyentlarni aniqlashdan iboratdir (7.15-rasm). Sozlagichning bilimlar bazasi neyron to'r asosida amaliyotga tadbiiq etilgan, bu borada istalgan bilimlar bazasini qurish sintezlanuvchi neyron to'r vazn koeffitsiyentlarining ta'rifiga ekvivalentdir.

Ishlab chiqiluvchi neyron to'rning arxitekturasi uch qatlamli "feedforward" tuzilmaga egadir. Birinchi qatlam kiruvchi neyronlardan, o'rta qatlam berk, oxirgisi esa chiquvchi tugunlardan tashkil topgandir.

Sozlagichning avtomatik boshqaruvini neyron to'r asosida sintezlash masalasining mazmuni quyidagidan iboratdir. Faraz qilaylik, bizga quriluvchi boshqaruv tizimining istalgan hatti-xarakatini akslantiruvchi qoidalarning majmui berilgan bo'lsin:

$$\left. \begin{array}{l} \text{IF } g = g_1 \text{ and } x = x_1 \text{ THEN } \dot{x} = \dot{x}_1 \\ \text{IF } g = g_2 \text{ and } x = x_2 \text{ THEN } \dot{x} = \dot{x}_2 \\ \dots\dots\dots \\ \text{IF } g = g_n \text{ and } x = x_n \text{ THEN } \dot{x} = \dot{x}_n \end{array} \right\} \dots\dots\dots (7.44)$$

Bilimlarni loyihalashtiriluvchi sozlagichning avtomatik boshqaruvini bilimlar bazasida ifodalash neyron tizimini o'qitishdan, ya'ni w_{ij} vaznli koeffitsiyentlar va p_j neyronlarning boshlang'ich qiymatini, har bir joriy (g_i, x_i) vaziyat kirishda paydo bo'lganida, chiqishda unga mos keluvchi \dot{x}_i javob hosil bo'ladigan qilib tanlashdan iboratdir. Bunda identifikasiya masalalaridan sezilarli farq - neyron tarmog'ini berk boshqaruv tizimi doirasida o'qitishdir, ya'ni neyron tizimini o'qitish uchun sozlagich va etalonning chiqishlari o'rtasidagi xatolik emas, boshqaruv tizimining tavsifi bilan loyihalashtiruvchi tizimning chiqishidagi joriy qiymati o'rtasidagi xatolikdan foydalaniladi.

Neyron to'r «backpropagation» algoritmi yordamida o'qitilgan. 7.2.10-rasmga ko'ra, sozlash xatoligi va uning o'zgarish tezligining signallari mos koeffitsiyentlar $k_e, k_{\dot{e}}$ bilan masshtablagandan so'ng, neyron to'rning kirishiga, ya'ni sensorli neyronlarning kirishiga uzatiladi. Mos w_{ij} vektorlar bilan almashtirgandan so'ng olingan signallar p_j neyronlarning boshlang'ich qiymatlari bilan ikkinchi qatlamda solishtiriladi hamda u_j^2 faollashtirish funksiyalari hisoblanadi:

$$u_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} y_i w_{ij} - p_j}{1 + \left| \sum_{i=1}^{n_1} y_i w_{ij} - p_j \right|}, \quad j = \overline{n_1 + 1, n_2},$$

bu yerda n_1, n_2 -mos ravishda birinchi va ikkinchi qatlamdagi neyronlar soni.

Berilgan signallar - uchinchi qatlamdagi kiruvchi signallardir. Huddi shu usul bilan $u_j^3, j = \overline{n_2 + 1, n_3}$ chiquvchi signallar hisoblanadi, bu yerda n_3 - uchinchi qatlamdagi neyronlar soni.

Boshqaruv tizimining joriy va istalgan o'zgaruvchilari o'rtasidagi umumiy chetlanish hisoblanadi:

$$\Delta(x, \dot{x}, t) = k_{\dot{e}}(\dot{x}d(t) - \dot{x}(t)) + k_e(xd(t) - x(t)), \quad (7.45)$$

bu yerda xd va $\dot{x}d$ – neyron tizimining o'qitiluvchi ma'lumotlari. U holda neyron tizimining chiquvchi qatlamida xatolik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$G_i^2 = \Delta \left(1 - |u_i^3| \right)^2, \quad i = \overline{n_2 + 1, n_3}. \quad (7.46)$$

Neyron tizimining berk qatlamida xatolik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$G_i^1 = \Delta \left(1 - |u_i^2| \right)^2 \sum_{j=n_2+1}^{n_3} G_j w_{ij}, \quad i = \overline{n_1 + 1, n_2}. \quad (7.47)$$

Sinaptik aloqa va neyronlarning boshlang'ich qiymatlari quyidagi ravishda to'g'rilanadi:

$$S_{ij} = G_i^2 u_j + G_i^1 y_j; \quad w_{ij}^n = w_{ij}^c + \alpha S_{ij}; \quad p_i^n = p_i^c + \beta G_i \dots \quad (7.48)$$

Bu yerda $w_{ij}^n, w_{ij}^c, p_i^n, p_i^c$ - aloqa vaznlari va neyronning boshlang'ich qiymatlarining mos ravishda yangi va eski qiymatlari, α va β - to'g'rilash qadamlari.

Neyron sozlagichini avtomatik boshqaruvini modellashtirish uchun dasturiy vositalar ishlab chiqilgan. Boshlang'ich ma'lumotlarga quyidagilar kiradi: kiruvchi va chiquvchi parametrlarning soni, neyronning aloqa va boshlang'ich qiymatlari arxitekturasi, boshqaruv obyektining modeli, hamda loyihalashtiriluvchi tizimning istalgan tavsifi.

AMALIY MASHG'ULOT MAZMUNI

1-amaliy mashg'ulot. Intellektual boshqaruv tizimlarri haqida umumiy ma'lumot

Intellektual boshqaruv tizimlarning bilimlar bazasini va ularni yaratish usullari va Intellektual boshqaruv tizimlarining iyerarxik tashkillashtirish.

2-amaliy mashg'ulot: Neyron tarmoqlarni faollashtirish funksiyasining modellari va turlari

Intellektual boshqaruv tizimlarining sifat ko'rsatkichlari va ularga ta'sir etuvchi asosiy omillarni tahlil qilish.

3-amaliy mashg'ulot: Neyron tarmoqlar yordamida yo'naltirilgan grafiklarni qurish.

intellektual boshqaruv tizimlarni modellashtirish, tahlil qilish hamda sifat ko'rsatkichlarini baholash usullari.

4-amaliy mashg'ulot: Tegishlilik funksiyasini qurish usuli

Tegishlilik funksiyasini qurish usuli. Qat'iyimas bilimlar bazasini tasvirlash. Bilimlar bazasini to'ldirish algoritmi

5-amaliy mashg'ulot: Neyron tarmoqlar yordamida yechiladigan masalalarning asosiy sinflari.

Qat'iyimas boshqarish tizimlarning strukturasi qurish. Noravshan mantiq. Noravshan to'plamlar va lingvistik o'zgaruvchilar. Noravshan to'plamlar ustida amallar.

6-amaliy mashg'ulot: Sun'iy neyron tarmoqlar va o'rganish algoritmlari. O'qituvchisiz va o'qituvchili o'rganish algoritmi.

Bilimlar bazasi, tizimda bilimlarni tashkillashtirish; Intelektual texnologiyalarda bilimlar bazasini shakllantirish usullari.

7-amaliy mashg'ulot: Neyron noravshan tarmoqlar. Neyron tarmoqlarning geometrik tasviri

Dinamik obyektlarni boshqarishning noravshan algoritmlarini qurishning umumiy tamoyillarini qurish.

1-amaliy ish

Mavzu: Sun'iy neyron tarmoqlari haqida umumiy ma'lumot

1.1. Neyron tarmoqlar nima?

Sun'iy neyron tarmoqlar (keyingi o'rinlarda neyron tarmoqlar) bo'yicha tadqiqotlar inson miyasi tomonidan ma'lumotlarni qayta ishlash usuli an'anaviy raqamli kompyuterlar tomonidan qo'llaniladigan usullardan tubdan farq qilishi bilan bog'liq. Miya nihoyatda murakkab, chiziqli bo'lmagan, parallel kompyuter (axborotni qayta ishlash tizimi). U neyronlar deb ataladigan tarkibiy qismlarni tashkil qilish qobiliyatiga ega bo'lib, ular aniq vazifalarni (masalan, naqshni aniqlash, sensorli ishlov berish, motor funktsiyalari) hozirgi eng tezkor kompyuterlarga qaraganda bir necha baravar tezroq bajarishi mumkin.

Neyron rivojlanishi kontseptsiyasi miyaning plastikligi (plastikligi), asab tizimini atrof-muhit sharoitlariga mos ravishda sozlash qobiliyati bilan bog'liq. Inson miyasida axborotni qayta ishlash birligi sifatida neyronlarning ishlashida eng muhim rol o'ynaydigan plastiklikdir. Xuddi shunday, sun'iy neyron tarmoqlarda ham sun'iy neyronlar bilan ish olib boriladi.

Neyron tarmoq - bu eksperimental bilimlarni to'playdigan va ularni keyingi qayta ishlash uchun ta'minlaydigan elementar ma'lumotlarni qayta ishlash birliklaridan tashkil topgan ulkan taqsimlangan parallel protsessor. Neyron tarmog'i ikki jihatdan miyaga o'xshaydi.

- Bilim neyron tarmoqqa atrof-muhitdan kiradi va o'quv jarayonida foydalaniladi.
- Bilimlarni to'plash uchun sinaptik og'irliklar deb ataladigan neyronlar orasidagi bog'lanishlardan foydalaniladi.

Neyron tarmoqlarning afzalliklari

Ko'rinib turibdiki, neyron tarmoqlar o'z kuchini, birinchidan, axborotni parallel qayta ishlashdan, ikkinchidan, o'z-o'zini o'rganish qobiliyatidan, ya'ni umumlashmalarni yaratishdan oladi. Umumlashtirish atamasi o'quv jarayonida uchramagan ma'lumotlar asosida oqilona natija olish qobiliyatini anglatadi. Ushbu xususiyatlar neyron tarmoqlarga bugungi kunda qiyin deb hisoblangan murakkab (katta miqyosli) vazifalarni hal qilish imkonini beradi. Biroq, amalda, avtonom ishlaganda, neyron tarmoqlar tayyor echimlarni taqdim eta olmaydi. Ularni murakkab tizimlarga birlashtirish kerak. Xususan, murakkab vazifani nisbatan sodda bo'lganlar ketma-ketligiga bo'lish mumkin, ularning ba'zilari neyron tarmoqlar orqali hal qilinadi.

Neyron tarmoqlardan foydalanish tizimlarning quyidagi foydali xususiyatlarini ta'minlaydi:

1. Nochiziqlilik. Sun'iy neyronlar chiziqli yoki chiziqli bo'lmagan bo'lishi mumkin. Chiziqli bo'lmagan neyronlarning ulanishidan qurilgan neyron tarmoqlarning o'zi chiziqli emas. Bundan tashqari, bu chiziqli bo'lmaganlik o'ziga xosdir, chunki u tarmoq bo'ylab taqsimlanadi.

2. Moslashuvchanlik. Neyron tarmoqlar o'zlarining sinaptik og'irliklarini atrof-muhit o'zgarishlariga moslash qobiliyatiga ega. Xususan, ma'lum bir muhitda ishlashga o'rgatilgan neyron tarmoqlarni atrof-muhit parametrlarining ozgina tebranishlari sharoitida ishlashga osonlik bilan qayta o'rgatish mumkin. Bundan tashqari, statsionar bo'lmagan muhitda ishlash uchun (statistik ma'lumotlar vaqt

o'tishi bilan o'zgaradi) real vaqtda sinaptik og'irliklarni o'zgartiradigan neyron tarmoqlar yaratilishi mumkin. Tasvirlarni tasniflash, signallarni qayta ishlash va boshqarish vazifalari uchun tabiiy, neyron tarmoqlarning arxitekturasi ularning moslashish qobiliyati bilan birlashtirilishi mumkin, bu adaptiv tasvir tasnifi, adaptiv signalni qayta ishlash va adaptiv boshqaruv modellarini yaratishga olib keladi.

3. Javobning isboti. Tasvirlarni tasniflash vazifasi kontekstida nafaqat ma'lum bir sinfni aniqlash, balki qabul qilinayotgan qarorning ishonchliligini (ishonchni) oshirish uchun ma'lumot to'playdigan neyron tarmoqni ishlab chiqish mumkin. Keyinchalik, bu ma'lumotlar shubhali qarorlarni bartaraf etish uchun ishlatilishi mumkin, bu esa neyron tarmoqning unumdorligini oshiradi.

4. Kontekstli axborot. Bilim neyron tarmog'ining o'zida uning faollashuv holati yordamida ifodalanadi. Tarmoqdagi har bir neyronga undagi barcha boshqa neyronlar ta'sir qilishi mumkin. Natijada, neyron tarmog'ining mavjudligi kontekstual ma'lumotlar bilan bevosita bog'liq.

5. Kirish ma'lumotlarini chiqishga solishtirish. Ommabop ta'lim paradigmatlaridan biri bu nazorat ostida o'qishdir. Bu etiketli o'quv misollari to'plamiga asoslangan sinaptik og'irliklarni o'zgartirishni nazarda tutadi (o'quv namunasi). Har bir misol kirish signali va unga mos keladigan javobdan iborat. Ushbu to'plamdan tasodifiy bir misol tanlanadi va neyron tarmoq tanlangan statistik mezonga muvofiq kerakli chiqish signali va tarmoq tomonidan ishlab chiqarilgan o'rtasidagi tafovutlarni minimallashtirish uchun sinaptik og'irliklarni o'zgartiradi.

6. Nosozlikka chidamlilik. Elektronika ko'rinishidagi neyron tarmoqlar nosozliklarga chidamli. Bu shuni anglatadiki, noqulay sharoitlarda ularning ishlashi biroz pasayadi. Misol uchun, agar ba'zi neyron yoki uning ulanishlari shikastlangan bo'lsa, saqlangan ma'lumotni olish qiyinlashadi. Biroq, neyron tarmoqdagi ma'lumotlarni saqlashning taqsimlangan xususiyatini hisobga olgan holda, neyron tarmoq strukturasi jiddiy zarar etkazish uning ishlashiga sezilarli darajada ta'sir qiladi, deb ta'kidlash mumkin.

7. Scalability. Neyron tarmoqlarning parallel tuzilishi potentsial ravishda ba'zi muammolarni hal qilishni tezlashtiradi va VLSI (juda keng miqyosli inte-

gratsiyalashgan) texnologiyasi doirasida neyron tarmoqlarning miqyoslanishini ta'minlaydi. VLSI texnologiyalarining afzalliklaridan biri ierarxik tuzilma yordamida juda murakkab xatti-harakatlarni ifodalash qobiliyatidir.

8. Tahlil va loyihalashning bir xilligi. Neyron tarmoqlar axborotni qayta ishlashning universal mexanizmidir. Bu shuni anglatadiki, bir xil neyron tarmoq dizayn yechimi ko'plab mavzularda qo'llanilishi mumkin. Bu xususiyat bir necha jihatdan namoyon bo'ladi. U yoki bu shakldagi neyronlar har qanday neyron tarmoqning standart komponentlari hisoblanadi. Ushbu umumiylik turli xil neyron tarmoqlari ilovalarida bir xil nazariyalar va o'rganish algoritmlaridan foydalanishga imkon beradi. Modulli tarmoqlar butun modullarni birlashtirish asosida qurilishi mumkin.

9. Neyrobiologiya bilan analogiya. Neyron tarmoqlarning tuzilishi inson miyasiga o'xshashlik bilan aniqlanadi, bu xatoga chidamli parallel hisoblash nafaqat jismoniy, balki muammolarni hal qilish uchun tez va kuchli vosita ekanligining jonli isbotidir. Neyrobiologiya sun'iy neyron tarmoqlarni fizik hodisalarni modellashtirish vositasi sifatida ko'rib chiqadi. Boshqa tomondan, muhandislar doimiy ravishda nevrologlardan an'anaviy elektr zanjirlaridan tashqariga chiqadigan yangi g'oyalarni olishga harakat qilishadi.

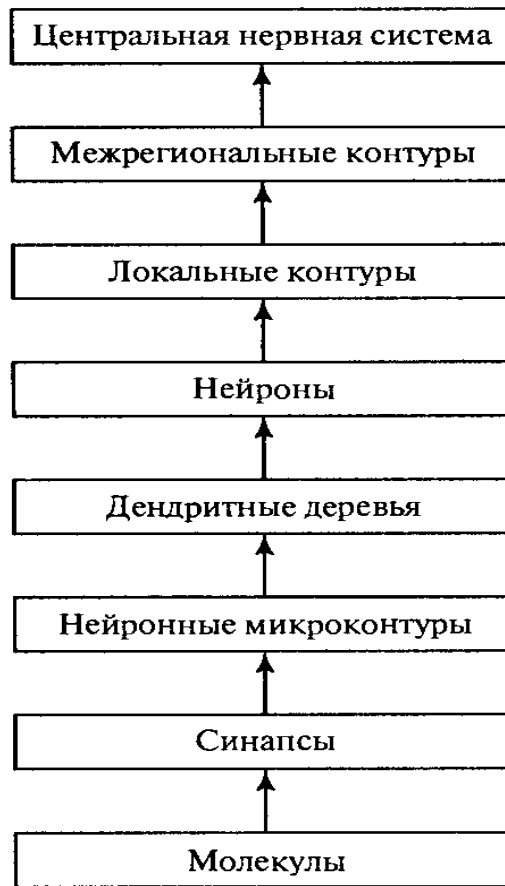
1.2. Inson miyasi

Inson asab tizimini uch bosqichli deb hisoblash mumkin (1.1-rasm) Bu tizimning markazi miya bo'lib, neyronlar (nervlar) tarmog'i bilan ifodalanadi. U axborot oladi, tahlil qiladi va tegishli qarorlar qabul qiladi. Shaklda. 1.1 ikkita o'q to'plamini ko'rsatadi. Chapdan o'ngga yo'naltirilgan strelkalar axborot signallarining tizimga to'g'ridan-to'g'ri uzatilishini, o'ngdan chapga yo'naltirilgan o'qlar esa tizimning javobini bildiradi. Retseptorlar tanadan va atrof-muhitdan kelgan signal-larni neyron tarmoqqa (miya) uzatiladigan elektr impulslariga aylantiradi. Effektorlar neyron tarmoq (miya) tomonidan ishlab chiqarilgan elektr impulslarini chiqish signallariga aylantiradi.



Rasm. 1.1. Asab tizimi uchun blok diagrammasi

Inson miyasini o'rganish neyronlar asosida inson miyasini tashkil qilish g'oyasini taklif qilgan ish bilan boshlandi. Qoida tariqasida, neyronlarning javobi kremniy mantiqiy elementlarning javobidan 56 daraja sekinroqdir. Kremniy hujayralaridagi hodisalarning davomiyligi nanosekundlarda (10⁻⁹ s), neyronlarda esa millisekundlarda (10⁻³ s) o'lchanadi. Biroq, neyronlarning bu nisbatan sekinligi ularning massasi va ular orasidagi o'zaro bog'lanishlar soni bilan qoplanadi. Taxminlarga ko'ra, miya yarim korteksida 10 millionga yaqin neyronlar va 60 trillionga yaqin sinapslar yoki neyronlar orasidagi o'zaro bog'lanishlar mavjud. Natijada, miya juda samarali tuzilmadir. Sinapslar neyronlar orasidagi impulslarni uzatuvchi elementar strukturaviy va funksional birliklardir. Sinapslarning eng keng tarqalgan turi kimyoviy bo'lib, ular quyidagicha ishlaydi. Presinaptik jarayon uzatilgan moddani hosil qiladi, u neyronlar orasidagi sinaptik aloqalar bo'ylab diffuziya orqali uzatiladi va postsinaptik jarayonga ta'sir qiladi. Shunday qilib, sinaps presinaptik elektr signalini kimyoviy signalga, keyin esa postsinaptik elektr signaliga aylantiradi. Elektr terminologiyasida uni o'zaro bo'lmagan quadripol deb atash mumkin. Neyronlarning tashkil etilishining an'anaviy tavsiflarida sinaps neyronlar o'rtasida qo'zg'alish yoki inhibitsyonni (lekin ikkalasini ham emas) o'tkazishi mumkin bo'lgan oddiy birikma sifatida qaraladi.



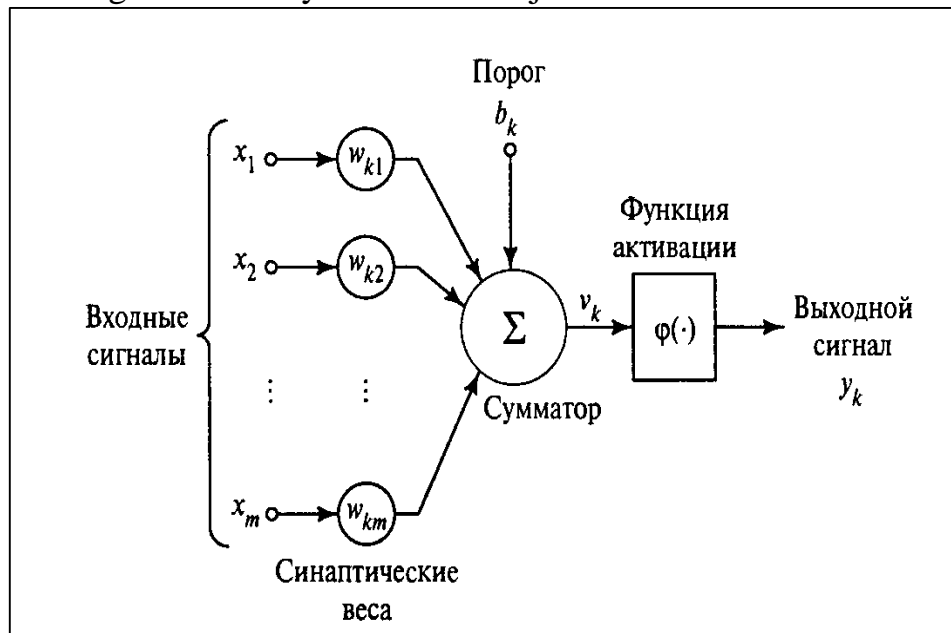
Рasm. 1.2. Миya darajalarining strukturaviy tashkil etilishi

Ta'riflangan tashkilotning tizimli darajalari miyaning o'ziga xos xususiyatlari ekanligini tushunish juda muhimdir. Bu erda hech narsa raqamli kompyuterga o'xshamaydi va neyron tarmoqlar bilan ishlashda biz uni hech qaerda uchratmaymiz. Shunga qaramay, biz qadamlarimizni shaklda ko'rsatilganlarni eslatuvchi hisoblash darajalari ierarxiyasini yaratishga yo'naltiramiz. 1.3. Biz neyron tarmoqlarni yaratish uchun foydalanadigan sun'iy neyronlar biologik hamkasblariga qaraganda ancha soddalashtirilgan. Hozirgi vaqtda yaratilishi mumkin bo'lgan neyron tarmoqlari miyaning mahalliy va mintaqalararo davrlariga nisbatan ibtidoiydir. Yagona tasalli - so'nggi yigirma yil ichida tadqiqotning ko'plab jabhalarida katta yutuq bo'lganligi. Neyrobiologiya bilan o'xshashlikni, shuningdek, nazariy va texnologik vositalarning xilma-xilligini hisobga olgan holda, keyingi o'n yillikda sun'iy neyron tarmoqlarini chuqurroq tushunishga olib keladi, deb taxmin qilish mumkin.

2-amaliy ishi

Mavzu: Neyron tarmoqlarni faollashtirish funksiyasining modellari va turlari

Neyron - bu neyron tarmoqdagi ma'lumotlarni qayta ishlash birligi. 2.1.rasm blok sxemasida sun'iy neyron tarmoqlari asosidagi neyron modeli ko'rsatilgan. Ushbu modelning uchta asosiy elementi mavjud.



Rasm. 2.1. Chiziqli bo'lmagan neyron modeli

1. Har biri o'zining og'irligi yoki kuchi bilan tavsiflangan sinapslar yoki ulanishlar to'plami. Xususan, k neyron bilan bog'langan j sinapsning kirishidagi x_j signali og'irlik ω_{kj} ga ko'paytiriladi. Sinaptik vazn indekslarining ω_{kj} berilgan tartibiga e'tibor berish kerak. Birinchi indeks ko'rib chiqilayotgan neyronga, ikkinchisi esa berilgan og'irlik bilan bog'liq bo'lgan sinapsning kirish uchiga ishora qiladi. Miya sinapslaridan farqli o'laroq, sun'iy neyronning sinaptik og'irligi ham ijobiy, ham salbiy qiymatlarga ega bo'lishi mumkin.

2. Summator neyronning mos keladigan sinapslariga nisbatan og'irlikdagi kirish signallarini qo'shadi. Ushbu operatsiyani chiziqli kombinatsiya sifatida tasvirlash mumkin.

3. Faollashtirish funksiyasi neyronning chiqish signalining amplitudasini cheklaydi. Bu funksiya siqish funktsiyasi deb ham ataladi. Odatda, neyron chiqish amplitudalarining normallashtirilgan diapazoni $[0,1]$ yoki $[1, 1]$ oralig'ida yotadi.

2.1.rasmda ko'rsatilgan neyron modelida, chegara elementi kiritilgan bo'lib, u b_k belgisi bilan ko'rsatilgan. Bu qiymat faollashtirish funksiyasiga qo'llaniladigan kirish signalining ortishi yoki kamayishini aks ettiradi.

Matematik tasvirda k neyronining ishlashini quyidagi tenglamalar juftligi bilan tavsiflash mumkin:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j,$$
$$y_k = \varphi(u_k + b_k)$$

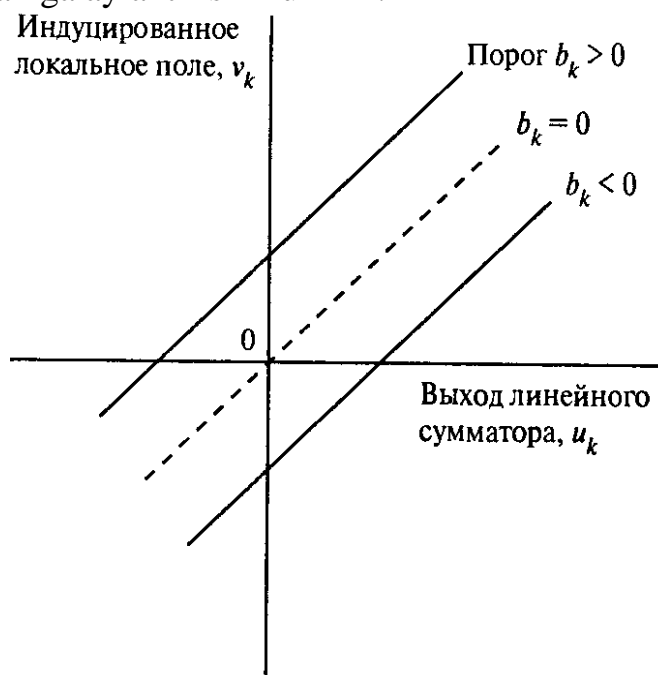
b_k chegarasidan foydalanish chiziqli qo‘shimcha u_k chiqishini affinni o‘zgartirish effektini beradi. 1.5 rasmda ko‘rsatilgan modelda, postsinaptik potentsial quyidagicha hisoblanadi:

$$v_k = u_k + b_k.$$

Xususan, b_k chegarasi ijobiy yoki salbiy qanday qiymatga ega bo‘lishiga qarab, k neyronining induktsiyalangan mahalliy maydoni yoki faollashuv potentsiali v_k rasmda ko‘rsatilganidek o‘zgaradi. 2.2. Bu erda va quyida biz "induktsiyalangan mahalliy maydon" atamasidan foydalanamiz. Ushbu affin transformatsiyasining natijasiga e’tibor bering. v_k grafigi endi u_k grafigi kabi koordinatadan o‘tmaydi.

Rasm. 2.2. Eshik mavjudligi tufayli Afina o'zgarishi. E'tibor bering, $u_k = 0, v_k = b_k$ nuqtada.

b_k chegarasi sun'iy neyron k ning tashqi parametridir. Biz uning mavjudligini ifodada ko'ramiz (1.2). (1.3) ifodani hisobga olgan holda (1.1), (1.2) formulalarni quyidagi shaklga aylantirish mumkin:



$$v_k = \sum_{j=0}^m w_{kj} x_j,$$

$$y_k = \varphi(v_k)$$

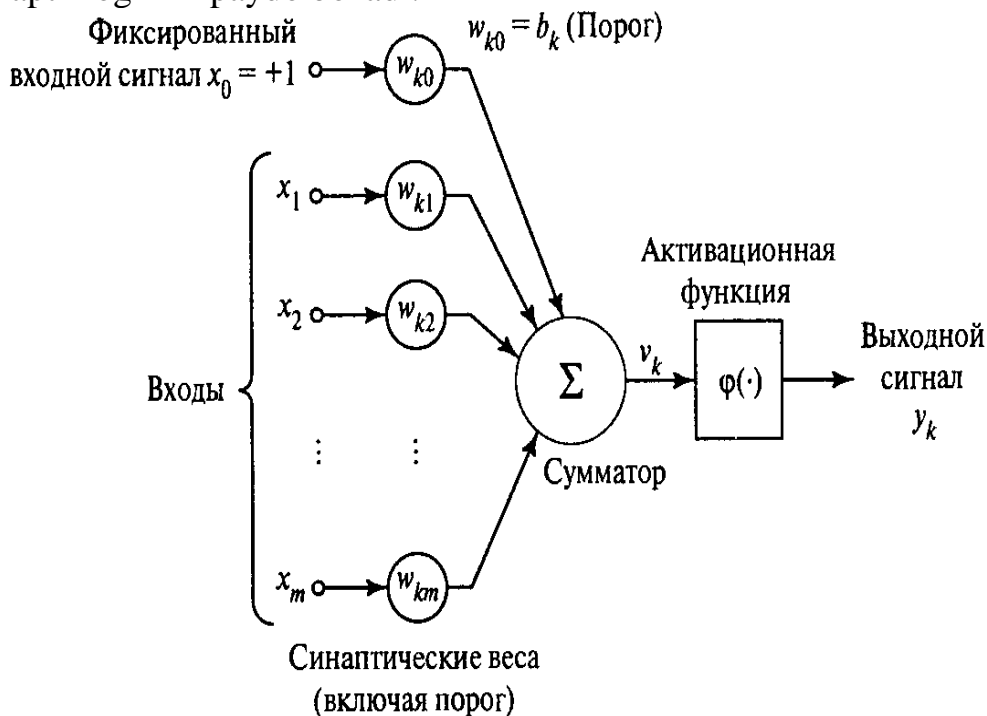
(1.4) ifodaga yangi sinaps qo'shildi. Uning kirish signali:

$$x_0 = +1,$$

va uning og'irligi:

$$w_{k0} = b_k.$$

Bu neyron modelini 2.3-rasmda ko'rsatilgan shaklga aylantirish imkonini berdi. Ushbu rasmda ko'rinib turibdiki, polni kiritish natijasida +1 belgilangan qiymatdagi yangi kirish signali qo'shiladi va b_k chegara qiymatiga teng bo'lgan yangi sinaptik og'irlik paydo bo'ladi.



Rasm. 2.3. Yana bitta chiziqli bo'lmagan neyron modeli.

Faollashtirish funksiyalarining turlari

Formulalarda φ_v sifatida ko'rsatilgan faollashtirish funksiyalari induksiya qilingan mahalliy maydonga qarab neyronning chiqish signalini aniqlaydi v . Faollashtirish funksiyalarining uchta asosiy turi mavjud.

1. Yagona sakrash funksiyasi yoki chegara funksiyasi. Ushbu turdagi funksiya 2.4a-rasmda ko'rsatilgan va quyidagicha tavsiflanadi:

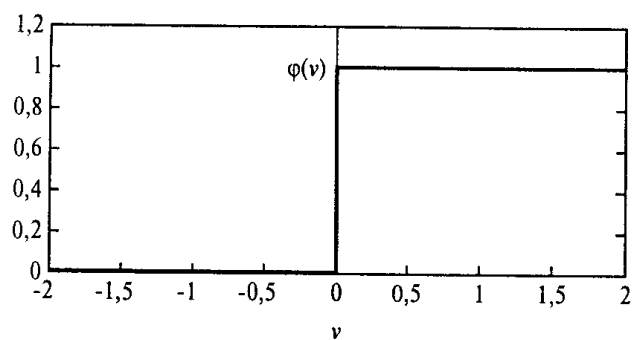
$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & \text{если } v \geq 0; \\ 0, & \text{если } v < 0; \end{cases}$$

Texnik adabiyotlarda birlik funksiyasining bu shakli odatda Heaviside funksiyasi deb ataladi. Shunga ko'ra, bunday funksiyaning k neyronining chiqish signali sifatida ifodalanishi mumkin

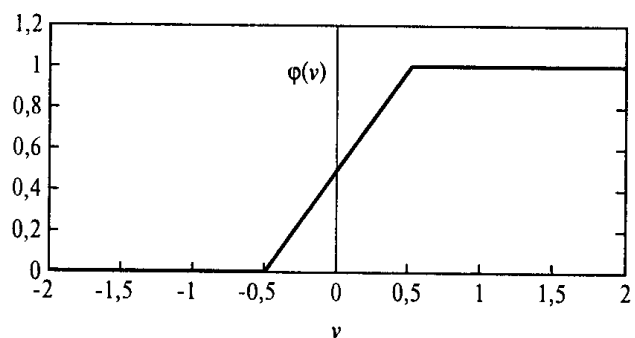
$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{если } v_k \geq 0; \\ 0, & \text{если } v_k < 0; \end{cases}$$

Bu yerda V_k - neyronning induksiyalangan mahalliy maydoni, ya'ni.

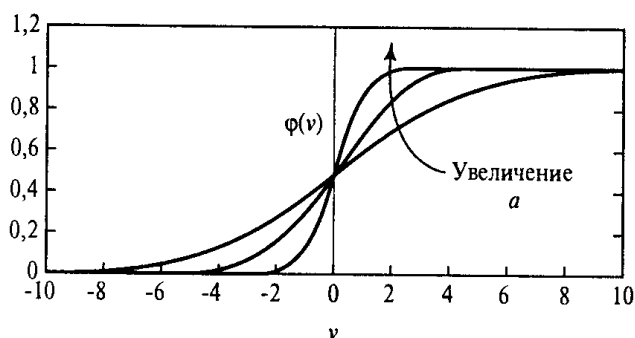
$$v_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j + b_k.$$



a)



б)



в)

Ushbu model adabiyotda kashshof ishiga hurmat ko'rsatib, Mak-Kalloko-Pitsa modeli deb ataladi. Ushbu modelda, agar neyronning induksiyalangan mahalliy maydoni manfiy bo'lsa, neyronning chiqish signali 1 qiymatini, aks holda 0 qiymatini oladi. Bu ibora Mak-Kalloko-Pitsa modelining hamma narsa yoki hech narsa xususiyatini tavsiflaydi. 2.4.rasmda faollashtirish funksiyalarining turlari: bitta sakrash funktsiyasi (a); bo'lakli chiziqli funktsiya (б) va sigmasimon funktsiya (c) parametrining turli qiymatlari uchun.

2. Bo'lak-bo'lak chiziqli funktsiya. Shaklda ko'rsatilgan qismli chiziqli funktsiya. 2.4, b quyidagi ifoda bilan tavsiflanadi:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & v \geq +\frac{1}{2}; \\ |v|, & +\frac{1}{2} > v > -\frac{1}{2}; \\ 0, & v \leq -\frac{1}{2}, \end{cases}$$

bu yerda operatorning chiziqli mintaqasidagi daromad birlik deb qabul qilinadi. Ushbu faollashtirish funksiyasini chiziqli bo'lmagan kuchaytirgichning taxminiy

ko'rinishi deb hisoblash mumkin. Keyingi ikkita variantni qismli chiziqli funksiyaning maxsus shakli deb hisoblash mumkin.

- Agar operatorning chiziqli sohasi to'yinganlik chegarasiga yetmasa, u chiziqli qo'shimchaga aylanadi.
- Agar chiziqli mintaqaning daromadi cheksiz katta deb qabul qilinsa, u holda bo'lakli chiziqli funktsiya polga aylanadi.

3. Sigmasimon funktsiya. Grafigi S harfiga o'xshash sigmasimon funktsiya, ehtimol, sun'iy neyron tarmoqlarini yaratish uchun ishlatiladigan eng keng tarqalgan funktsiyadir. Bu chiziqli va chiziqli bo'lmagan xatti-harakatlar o'rtasidagi muvozanatni saqlaydigan tez o'sib borayotgan funktsiyadir. Sigmasimon funktsiyaga misol sifatida quyidagi ifoda bilan berilgan logistik funktsiyani keltirish mumkin:

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + \exp(-av)},$$

Bu yerda a - sigmasimon funktsiyaning qiyalik parametri. Ushbu parametrni o'zgartirib, turli tiklikka ega bo'lgan funktsiyalarni qurish mumkin (2.4-rasmga qarang, c). Birinchi grafik parametrning $a/4$ ga teng qiymatiga mos keladi. Limitda, qiyalik parametri cheksizlikka yetganda, sigmasimon funktsiya pol funktsiyasiga tushadi. Agar chegara funktsiyasi faqat 0 va 1 qiymatlarini olishi mumkin bo'lsa, sigmasimon funktsiya 0 dan 1 gacha bo'lgan oraliqda cheksiz ko'p qiymatlarni oladi. Shuni ta'kidlash kerakki, sigmasimon funktsiya differensiallanadi, shu bilan birga chegara emas.

(1.8), (1.11) va (1.12) formulalar bilan aniqlangan faollashtirish funktsiyalari diapazoni 0 dan +1 gacha bo'lgan segmentdir. Biroq, ba'zida +1 dan qiymatlar oralig'iga ega bo'lgan faollashtirish funktsiyasi talab qilinadi. bu holda aktivizatsiya funktsiyasi koordinataga nisbatan simmetrik bo'lishi kerak. Bu shuni anglatadiki, faollashtirish funktsiyasi induksiya qilingan mahalliy maydonning g'alati funktsiyasidir. Xususan, bu holda chegara funktsiyasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & \text{если } v > 0; \\ 0, & \text{если } v = 0; \\ -1, & \text{если } v < 0, \end{cases}$$

Bu funktsiya odatda signum deb ataladi. Bunday holda, sigmasimon funktsiya giperbolik tangens shaklida bo'ladi:

$$\varphi(v) = \tanh(v).$$

3-amaliy ish

Mavzu: Neyron tarmoqlar yordamida yo'naltirilgan grafiklarni qurish

Signal uzatish (yoki o'tish) grafigi - bu alohida nuqtalarni (tugunlarni) bog'laydigan yo'nalishli aloqalar tarmog'i. x_j signali har bir j tugun bilan

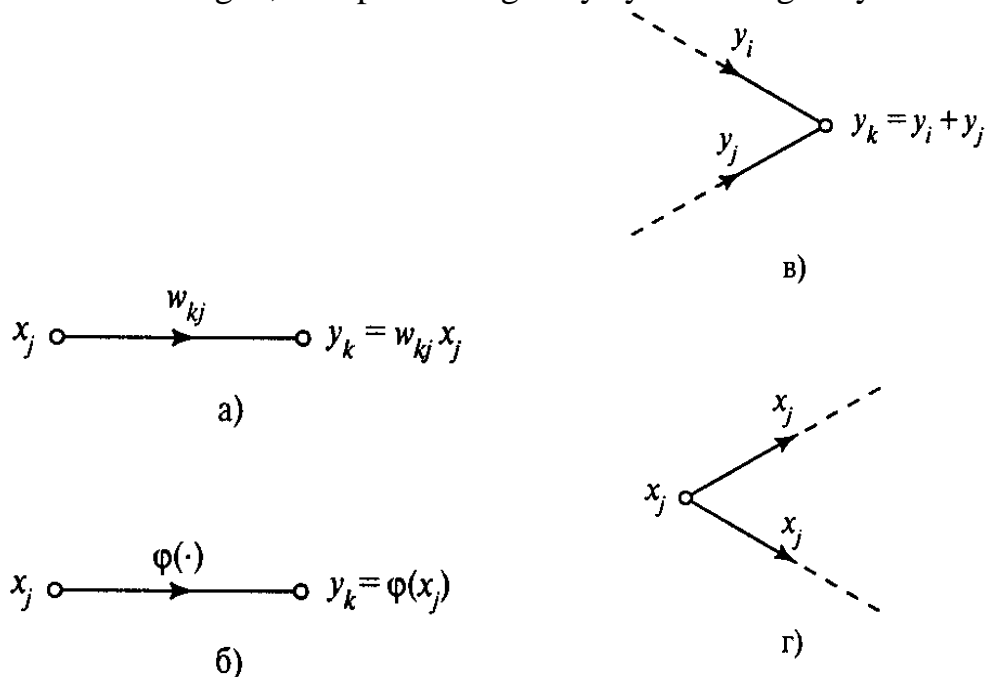
bog'langan. Oddiy yo'nalishli bog'lanish ba'zi bir j tugunidan boshlanib, boshqa k tugunida tugaydi. U bilan ma'lum bir uzatish funksiyasi bog'langan bo'lib, u k tugunining y_k signalining j tugunining x_j signaliga bog'liqligini aniqlaydi. Signalning grafikning turli qismlaridan o'tishi uchta asosiy qoidaga bo'ysunadi.

Qoida 1. Har bir ulanish bo'ylab signalning yo'nalishi o'qning yo'nalishi bilan belgilanadi. Bunday holda, ikki turdagi ulanishlarni ajratish mumkin.

- Sinaptik aloqalar. Ularning xatti-harakati chiziqli kirish-chiqish munosabati bilan belgilanadi. Ya'ni, 3.1a rasmda ko'rsatilganidek, tugun signali x_j sinaptik og'irlik W_{kj} ga ko'paytiriladi, natijada tugun signali y_j hosil bo'ladi.
- Faollashtirish havolalari. Ularning xatti-harakati chiziqli bo'lmagan kirish-chiqish munosabati bilan belgilanadi. Ushbu turdagi ulanish 3.1, b rasmda ko'rsatilgan, bu yerda $\varphi(\cdot)$ chiziqli faollashtirish funksiyasi.

Qoida 2. Tugunning signali uning kirishiga keladigan signallarning algebraik yig'indisiga teng. 3.1 rasmda, bu qoida sinaptik konvergeniya holati uchun tasvirlangan.

Qoida 3. Ushbu tugunning signali har bir chiquvchi havolada chiquvchi havolalarni uzatish funksiyalarini hisobga olmagan holda uzatiladi. Ushbu qoida 3.1, d rasmda ko'rsatilgan, sinaptik divergeniya yoki divergeniya uchun.



Rasm. 3.1. Signal uzatish grafiklarini qurishning asosiy qoidalari

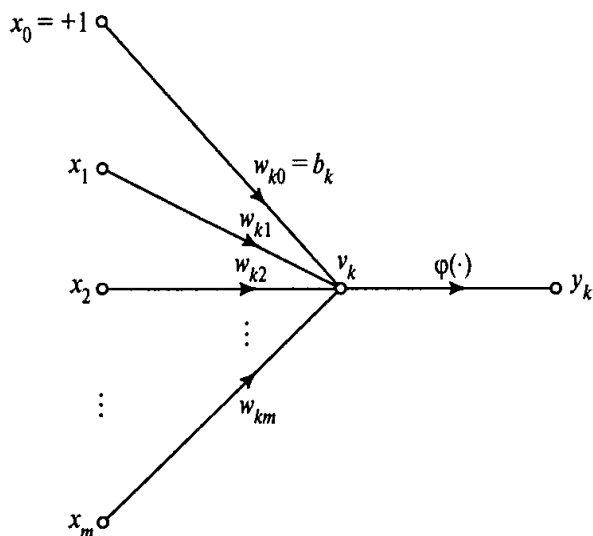
Neyronning modeli sifatida, 3.2 rasmda ko'rsatilgan signalning o'tish tezligini ega bo'lgan neyron tarmoqning yana bir ta'rifini shakllantirish mumkin. Neyron tarmoq sinaptik va aktivatsiya ulanishlari bilan bog'langan tugunlardan tashkil topgan yo'naltirilgan grafik bo'lib, u quyidagi to'rtta xususiyat bilan tavsiflanadi.

1. Har bir neyron chiziqli sinaptik ulanishlar to'plami, tashqi chegara va, ehtimol, chiziqli bo'lmagan faollashtirish aloqasi bilan ifodalangan. Kirish sinaptik ulanishi bilan ifodalangan chegara $+1$ deb hisoblanadi.

2. Neyronning sinaptik ulanishlari tegishli kirishlarni tortish uchun ishlatiladi.

3. Kirish signallarining vaznli yig'indisi har bir aniq neyronning induksiya-langan mahalliy maydonini aniqlaydi.

4. Faollashtirish ulanishlari neyronning induksiya-langan mahalliy maydonini o'zgartirib, chiqish signalini yaratadi.



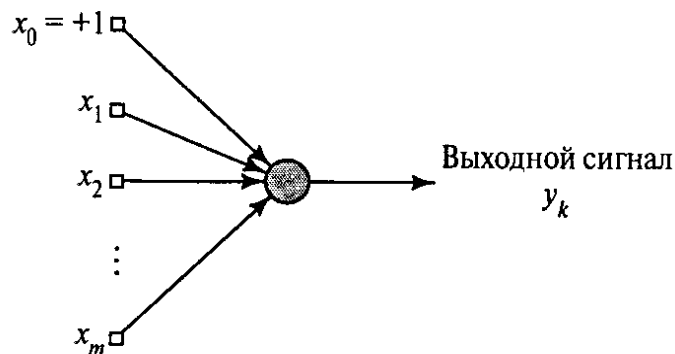
Rasm. 3.2. Bitta neyron uchun signal uzatish grafigi

Yuqorida tavsiflangan yo'naltirilgan grafik to'liq. Bu shuni anglatadiki, u nafaqat neyronlar orasidagi signalning o'tishini, balki neyronning o'zida signalning uzatilishini ham tasvirlaydi. Agar neyronlar orasidagi signalning faqat o'tishini tasvirlash kerak bo'lsa, neyronlar ichida signal uzatish tafsilotlarini hisobga olmagan-da, ushbu grafikning qisqartirilgan shaklidan foydalanish mumkin. Bunday yo'naltirilgan grafik qisman to'liq deyiladi va quyidagi xususiyatlar bilan tavsiflanadi.

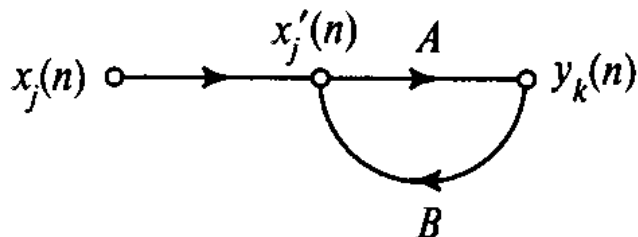
1. Grafikning kirish signallari manba tugunlari yoki kirish elementlari tomonidan shakllantiriladi.
2. Har bir neyron bitta tugun bilan ifodalanadi, u hisoblash deb ataladi.

Grafikning manba tugunlari va hisoblash tugunlarini birlashtiruvchi signal uzatish liniyalari og'irligiga ega emas. Ular shunchaki grafikdagi signalning yo'nalishini aniqlaydilar.

Yuqoridagi tarzda aniqlangan qisman to'liq yo'naltirilgan grafik arxitektura deyiladi. U neyron tarmog'ining tuzilishini tavsiflaydi. m kirish va $+1$ ga teng aniq qiymatga ega bitta neyrondan tashkil topgan grafikning eng oddiy holati 3.3 rasmda ko'rsatilgan. E'tibor bering, ushbu grafikda hisoblash tugunlari soyali doira bilan, manba tugunlari esa kichik kvadratlar bilan ko'rsatilgan. Aytilganlarni sarhisob qilsak, neyron tarmoqlarning uchta grafik tasviri mavjud.



Rasm. 3.3. Neyronning arxitektura grafigi



Rasm. 3.4. Bitta teskari aloqa tizimining signal uzatish grafigi

Teskari aloqa

Qayta aloqa tushunchasi tizimning ba'zi elementining chiqish signali ushbu elementning kirish signaliga ta'sir qiladigan dinamik tizimlar uchun xosdir. Shunday qilib, ba'zi tashqi signallar tizim ichida aylanib yuradigan signallar bilan kuchaytiriladi. Darhaqiqat, teskari aloqa deyarli har qanday hayvonning asab tizimida mavjud. Bundan tashqari, u takroriy deb ataladigan neyron tarmoqlarning maxsus sinfini o'rganishda muhim rol o'ynaydi. 3.4 rasmda bitta teskari aloqa tizimining signal uzatish grafigi ko'rsatilgan. Unda kirish signali $x_j(n)$, ichki signal x'_j va chiqish signali $y_j(n)$ n diskret o'zgaruvchining funksiyalari hisoblanadi. Ushbu tizim chiziqli bo'lib, mos ravishda A va B operatorlari bilan tavsiflangan to'g'ridan-to'g'ri va qayta aloqani o'z ichiga oladi deb taxmin qilinadi. Xususan, oldinga kanal chiqishi qisman qayta aloqa kanalining qiymatini aniqlaydi. 3.4 rasmdan quyidagi bog'liqlik kuzatiladi:

$$y_k(n) = A[x'_j(n)],$$

$$x'_j(n) = x_j(n) + B[y_j(n)],$$

Bu yerda kvadrat qavslar A va B operatorlarini bildiradi.

(1.1) va (1.2) ifodalardagi x'_j o'zgaruvchisini chiqarib tashlasak, biz quyidagilarni olamiz:

$$y_k(n) = \frac{A}{1 - AB}[x_j(n)].$$

$A/(1-AB)$ ifodasi tizimning yopiq sikl operatori, AB ifodasi esa ochiq sikl operatori deyiladi. Umumiy holatda, ochiq t sikl operatori kommutativlik xususiyatiga ega emas, ya'ni. $BA \neq AB$.

Misol uchun, 3.5 rasmda ko'rsatilgan yagona qayta aloqa tizimini ko'rib chiqamiz. Unda A operatori talab etilgan og'irlik ω va birlik kechikish operatori z^{-1} bo'lib, kirishga nisbatan chiqish signalini bir tanlab olish bosqichiga kechiktiradi. Shunga asoslanib, yopiq sikl operatorini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\frac{A}{1-AB} = \frac{w}{1-wz^{-1}} = w(1-wz^{-1})^{-1}.$$

$(1-\omega z^{-1})^{-1}$ ifodaning binomial tasviridan foydalanib, yopiq sikl operatori quyidagicha yozilishi mumkin.

$$\frac{A}{1-AB} = w \sum_{l=0}^{\infty} w^l z^{-l}.$$

(1.5) ifodani (1.3) ga almashtirib, biz quyidagilarni olamiz:

$$y_k(n) = w \sum_{l=0}^{\infty} w^l z^{-l} [x_j(n)].$$

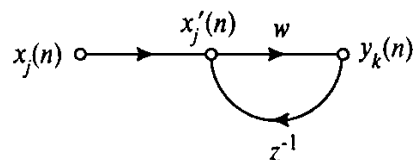
Bu yerda kvadrat qavslar yana z^{-1} operator ekanligini bildiradi. Ushbu operatorning ta'rifidan bizda

$$z^{-l} [x_j(n)] = x_j(n-l),$$

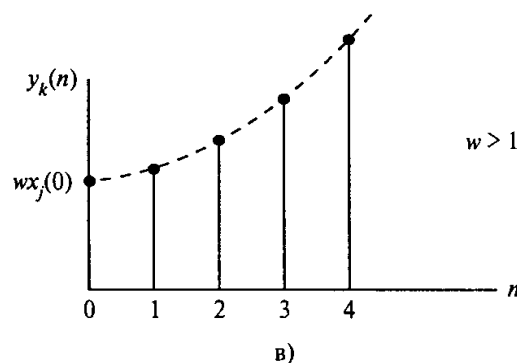
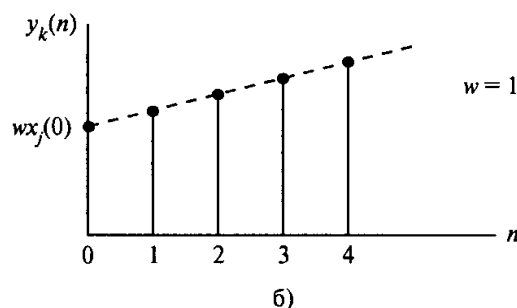
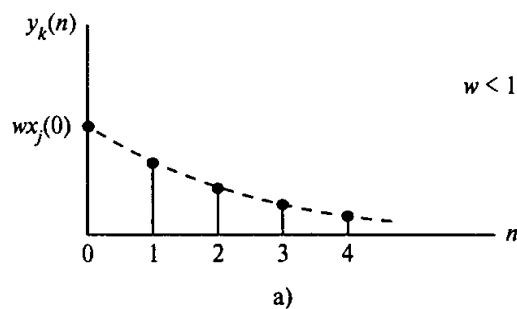
bu yerda $x_j(n-l)$ l namuna olish birliklari tomonidan kechiktirilgan kirish signali. Shunday qilib, chiqish signali $y_k(n)$ kirish signalining joriy va oldingi qiymatlarining cheksiz vaznli yig'indisi sifatida ifodalanishi mumkin $x_j(n)$:

$$y_k(n) = \sum_{l=0}^{\infty} w^{l+1} x_j(n-l).$$

3.6 rasmda tizimning reaksiya dinamikasi og'irlik ω bilan aniqlanishini aniq ko'rsatadi. Bu yerda ikkita holatni ajratib ko'rsatish mumkin.



Rasm. 3.5. Neyron tartibli chekli impuls javobiga ega filtr uchun signal oqimi grafigi



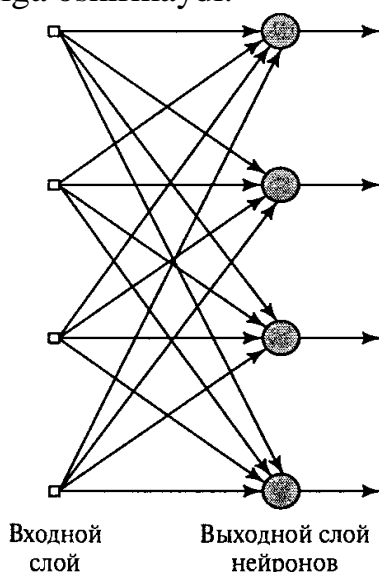
Rasm. 3.6. Tizimning javobi 3.5 rasmda ko'rsatilgan, uch xil vazn uchun ω : barqaror tizim (a), chizikli (b) va eksponensial divergensiya (c)

1. $|\omega| < 1$. Bunday holda, chiqish signali $y_k(n)$ eksponent ravishda yaqinlashadi. Bu tizim barqaror ekanligini anglatadi. ω ning musbat qiymati uchun bunday reaksiya 3.6, a rasmda ko'rsatilgan.
2. $|\omega| \geq 1$. Bunday holda, chiqish signali $y_k(n)$ ajralib chiqadi. Bu tizimning barqaror emasligini anglatadi. Agar $|\omega| = 1$ bo'lsa, divergensiya chizikli bo'ladi (3,6.b-rasm); agar $|\omega| > 1$ eksponensial (3.6-rasm, c).
3. Barqarorlik asosiy xususiyatlardan biri bo'lib, unga qayta aloqa tizimlarini o'rganishda katta e'tibor beriladi. $|\omega| < 1$ holi cheksiz xotiraga ega tizimlarga mos keladi, ya'ni tizimning chiqishi cheksiz uzoq o'tmishdagi tizim holatiga bog'liq. Bu ta'sir buziladi, ya'ni. vaqt o'tishi bilan eksponent ravishda kamayadi. Teskari aloqa bilan neyron tarmoqlarning harakat dinamikasini tahlil qilish tarmoqning protsessor elementlari odatda chizikli bo'lmaganligi bilan murakkablashadi. Bunday neyron tarmoqlar ushbu kitobning oxirgi qismida ko'rib chiqiladi.

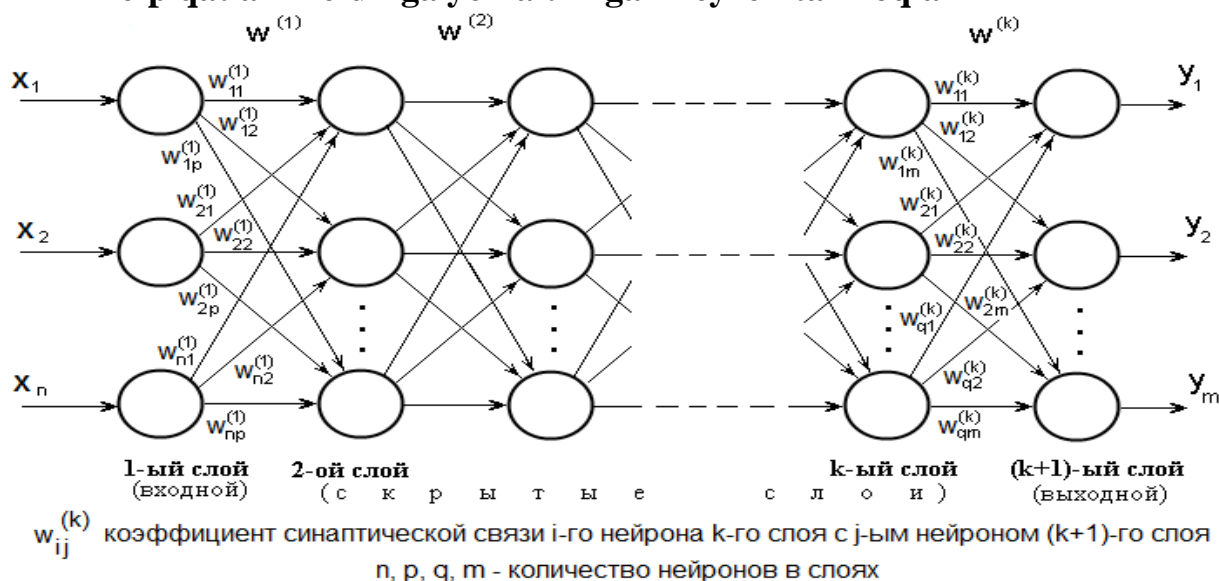
4- amaliy ish

Mavzu: Ko'p qatlamli oldinga yo'naltirilgan neyron tarmog'i

Bir qatlamli oldinga yo'naltirilgan neyron tarmoqlari. Ko'p qatlamli neyron tarmog'ida neyronlar qatlamlarda joylashgan. Eng oddiy holatda, bunday tarmoqda manba tugunlarining kirish qatlami mavjud bo'lib, undan ma'lumot neyronlarning chiqish qatlamiga (hisoblash tugunlari) uzatiladi, lekin aksincha emas. Bunday tarmoq oldinga uzatiladigan tarmoq yoki asiklik tarmoq deb ataladi. 4.1-rasmda qatlamlarning har biridagi to'rtta tugun (kirish va chiqish) uchun bunday tarmoqning tuzilishi ko'rsatilgan. Bunday neyron tarmoq bir qatlamli deb ataladi, bir qatlam esa hisoblash elementlari (neyronlar) qatlamini bildiradi. Qatlamlar sonini hisoblashda biz manba tugunlarini hisobga olmaymiz, chunki ular hech qanday hisob-kitoblarni amalga oshirmaydi.

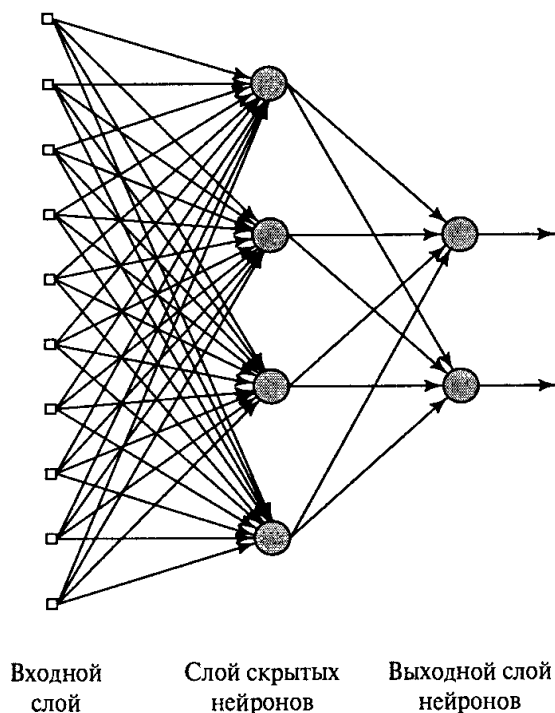


Rasm. 4.1. Neyronlarning bir qatlamli to'g'ridan-to'g'ri tarqalish tarmog'i
Ko'p qatlamli oldinga yo'naltirilgan neyron tarmoqlari



To'g'ridan-to'g'ri taqsimlanadigan neyron tarmoqlarning yana bir sinfi bir yoki bir nechta yashirin qatlamlarning mavjudligi bilan tavsiflanadi, ularning tugunlari yashirin neyronlar yoki yashirin elementlar deb ataladi. Ikkinchisining

vazifasi tashqi kirish signali va neyron tarmog'ining chiqishi o'rtasida vositachilik qilishdir. Bir yoki bir nechta yashirin qatlamlarni qo'shish orqali biz yuqori darajadagi statistikani olishimiz mumkin. Bunday tarmoq qo'shimcha sinaptik ulanishlar mavjudligi va neyronlar o'rtasidagi o'zaro ta'sir darajasining oshishi tufayli mahalliy ulanishlar yordamida ma'lumotlarning global xususiyatlarini ajratib ko'rsatish imkonini beradi. Yashirin neyronlarning yuqori tartibli statistik bog'liqliklarni ajratib olish qobiliyati, ayniqsa, kirish qatlamining o'lchami etarlicha katta bo'lganda muhimdir.



Rasm. 4.2. To'liq bog'langan to'g'ri yo'naltirilgan bitta yashirin va bitta chiqish qatlamli tarmog'i

Tarmoqning kirish qatlamining manba tugunlari ikkinchi qatlamning (ya'ni, birinchi yashirin qatlam) neyronlariga (hisoblash elementlari) kirish signalini tashkil etuvchi faollashtirish shablonining mos keladigan elementlarini (kirish vektori) tashkil qiladi. Ikkinchi qatlamning chiqishlari uchinchi qatlamga kirish sifatida ishlatiladi va hokazo. Odatda, tarmoqning har bir qatlamining neyronlari kirish signallari sifatida faqat oldingi qatlam neyronlarining chiqish signallaridan foydalanadi. Tarmoqning chiqish (oxirgi) qatlami neyronlarining chiqish signallari to'plami tarmoqning kirish (birinchi) qatlamining manba tugunlari tomonidan yaratilgan kirish tasviriga umumiy javobini aniqlaydi. 4.2 rasmda ko'rsatilgan tarmoq 10-4-2 tarmoq deb ataladi, chunki u 10 ta kirish, 4 ta yashirin va 2 ta chiqish neyroniga ega. Umuman olganda, m ta kirish, birinchi yashirin qatlamning h_1 neyronlari, ikkinchi yashirin qatlam neyronlari va q chiqish qatlami neyronlari bo'lgan oldinga o'tuvchi tarmoq tarmoq $m - h_1 - h_2 - q$ deb ataladi.

Ko'p qatlamli oldinga yo'naltirilgan tarmoqlarning afzalliklari (perseptronlar)

1. Ko'p qatlamli oldinga yo'naltirilgan tarmoqlar – eng ko'p o'rganilgan tarmoqlar.

2. Ko'p qatlamli oldinga yo'naltirilgan tarmoqlar – ko'p vazifalar uchun ishlatiladigan universal tarmoqlar.
3. Ma'lumotlar kirishlardan chiqishlarga yashirin qatlamlar orqali uzatiladi, ular transformator bloklari hisoblanadi.
4. Ko'p qatlamli oldinga yo'naltirilgan tarmoqlar bitta yashirin qatlam va sigmasimon faollashtirish funksiyasi bilan har qanday aniqlik bilan har qanday transformatsiyani amalga oshirishga qodir.
5. Ko'p qatlamli tarmoqlarni o'rganish muammosini hal qilgan xatoning orqaga tarqalishi algoritmi moslashuvchan boshqaruv muammolari uchun juda muhim bo'lgan yuqori tezlikka ega.

Xatolarni teskari tarqatish algoritmi

Birinchi marta 1974 yilda A.I. Galushkin, shuningdek, mustaqil ravishda va bir vaqtning o'zida Pol J. Verbos (P.J. Verbos) tomonidan tasvirlangan.

Algoritmi ishlab chiqishga S. I. Bartsev, V. A. Oxonin va ularning krasnoyarsklik hamkasblari katta hissa qo'shdilar.

U 1986 yilda Devid I. Rumelxart (David Rumelxart), J.E. Xinton (G.E. Xinton) va Ronald J. Uilyams (R.J. Uilyams)ning nashrlaridan keyingina shuhrat qozondi.

Bu iterativ gradient algoritmidir.

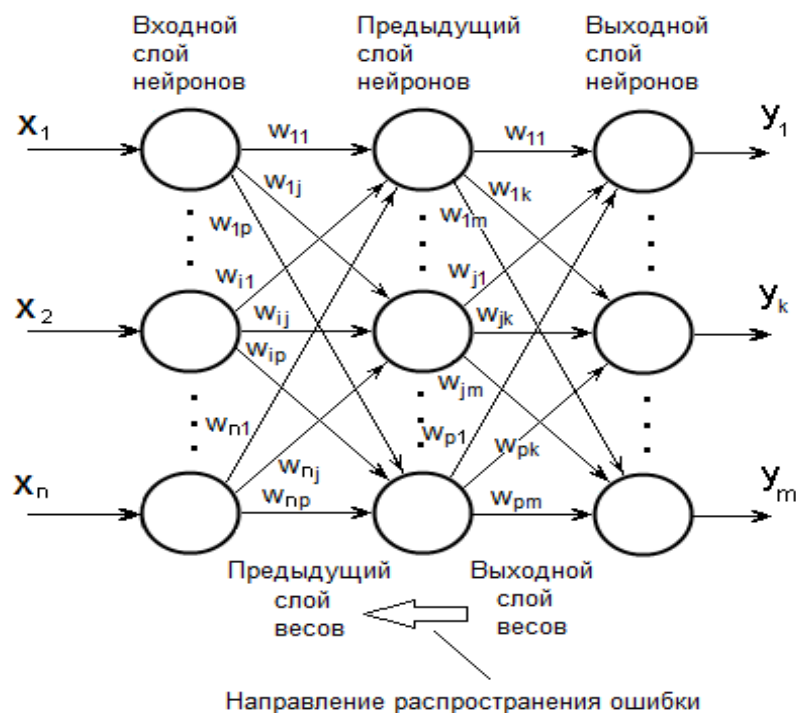
Og'irliklar sozlangan xatoning hosilasiga mutanosib: $\frac{\partial E}{\partial w_{jk}}$

Xato:
$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k - d_k)^2$$

Tuzatish miqdori:
$$\Delta w_{jk} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{jk}}$$

Yangi vazn:
$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{jk}(t)}$$

3 qatlamli ko'p qatlamli oldinga uzatiladigan tarmoqni ko'rib chiqamiz



Hosila $\frac{\partial E}{\partial w_{jk}}$ differensiallanish qoidasiga mos keladi
murakkab funksiya: $\frac{\partial E}{\partial w_{jk}} = \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{ds_k} \cdot \frac{\partial s_k}{\partial w_{jk}}$

Biz birinchi ikki omilning mahsulotini belgilaymiz δ_k

$$\delta_k = \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{ds_k}$$

va uni chiqish vazn qatlamining mahalliy xatosi deb ataymiz.

Xatoning hosilasi ifodasiga kiritilgan omillarni ko'rib chiqing $\frac{\partial E}{\partial w_{jk}}$.

Ikkinchi omil $\frac{dy_k}{ds_k}$ – faollashtirish funksiyasi hosilasi.

Bu shuni anglatadiki, faollashtirish funksiyasi butun x o'qi bo'yicha farqlanishi kerak. Shuning uchun hosilalari osongina topiladigan funksiyalar qo'llaniladi:

$$y(s) = \frac{e^{-\alpha s} - e^{+\alpha s}}{e^{-\alpha s} + e^{-\alpha s}} \quad \frac{dy(s)}{ds} = \frac{4\alpha}{(e^{\alpha s} + e^{-\alpha s})^2}$$

$$y(s) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha s}} \quad \frac{dy(s)}{ds} = \alpha y(s)[1 - y(s)]$$

Uchinchi multiplikator $\frac{\partial s_k}{\partial w_{jk}}$ – oldingi qatlamning neyron chiqishi y_j .

Birinchi multiplikator $\frac{\partial E}{\partial y_k}$ – chiqish xatosi hosilasi: $y_k \frac{\partial E}{\partial y_k} = y_k - d_k$

Shunday qilib, $\frac{\partial E}{\partial w_{jk}} = (y_k - d_k) \cdot f'(s_k) y_j = \delta_k y_j$.

Chiqish qatlamining og'irligini tuzatish miqdori:

$$\Delta w_{jk} = -\eta \cdot \delta_k \cdot y_j$$

$$\delta_k = (y_k - d_k) \cdot f'(s_k)$$

Chiqish qatlamining og'irliklari:

$$w_{jk}(t+1) = w_{jk}(t) + \Delta w_{jk} = w_{jk}(t) - \eta \cdot \delta_k \cdot y_j = w_{jk}(t) - \eta \cdot (y_k - d_k) \cdot f'(s_k) \cdot y_j$$

Oldingi qatlamning vaznini tuzatish qiymatini qanday topish mumkin Δw_{ij} ?

avvalroq yozishingiz mumkin :

$$\Delta w_{ij} = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}$$

Oldingi qatlarning og'irligiga nisbatan xatoning hosilasi avvalgisi bilan bir xil:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{ds_j} \cdot \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}$$

Birinchi ikki omilning mahsuloti

$$\delta_j = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{ds_j} \quad \text{– oldingi og'irlik qatlamining mahalliy xatosi.}$$

Ikkinchi multiplikator $\frac{dy_j}{ds_j}$ ifodada $\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{ds_j} \cdot \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}$

faollashtirish funksiyasi hosilasi j -ning oldingi qatlarning neyroni ma'lum qiymatdir.

Uchinchi multiplikator $\frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}$ neyron chiqishiga teng i -ning neyronlarning oldingi (bizning holimizda kirish) qatlami:

$$\frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}} = y_i$$

Birinchi multiplikator endi boshqacha. Shuningdek, murakkab funktsiyani farqlash qoidasiga ko'ra, lekin tarmoqning chiqishi orqali:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_{k=1}^m \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{ds_k} \cdot \frac{\partial s_k}{\partial y_j}$$

Yig'ish neyronlarning chiqish qatlamining barcha m neyronlarida amalga oshiriladi. Olingan ifodani ko'rib chiqamiz.

Uchinchi omil, shubhasiz, chiqadigan og'irlik qatlamining og'irligiga teng: w_{jk}

$$\frac{\partial s_k}{\partial y_j} = w_{jk}$$

U allaqachon topilgan.

Произведение первых двух сомножителей есть локальная ошибка выходного слоя весов. Она также уже найдена при нахождении весов выходного слоя. δ_k

$$\delta_k = \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{dy_k}{ds_k}$$

Shunday qilib, oldingi qatlamning og'irliklarining tuzatish qiymatini avvalgi og'irlik qatlamining mahalliy xatosi orqali ham topish mumkin: δ_j

$$\Delta w_{ij} = -\eta \cdot \delta_j \cdot y_i$$

lekin xatoning o'zi δ_j – mahalliy xato orqali δ_k og'irliklarning keyingi qatlami :

$$\delta_j = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{dy_j}{ds_j} = \left[\sum_k \delta_k \cdot w_{jk} \right] \cdot \frac{dy_j}{ds_j}$$

Va oldingi qatlamning og'irliklari keyingi qatlamning og'irliklariga o'xshash formula bo'yicha topiladi:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} = w_{ij}(t) - \eta \cdot \delta_j \cdot y_i$$

lekin shuni hisobga olgan holda, δ_j keyin quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} = w_{ij}(t) - \eta \cdot \delta_j \cdot y_i = w_{ij}(t) - \eta \cdot \left[\sum_k \delta_k \cdot w_{jk} \right] \frac{dy_j}{ds_j} \cdot y_i$$

Orqaga tarqalish algoritmi bo'yicha xatolar

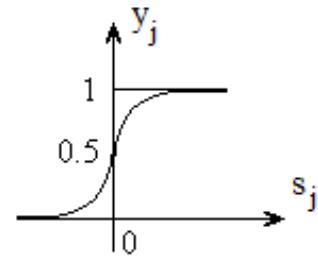
1. Xato sirtining minimalini to'g'ri topish uchun o'rganish tezligi koeffitsienti hisoblanadi η yetarlicha kichik bo'lishi kerak.
2. Standart teskari tarqalish algoritmi bu "on-the-fly" o'rganish algoritmi - vazn o'zgarishi har bir namuna taqdim etilgandan so'ng darhol sodir bo'ladi. Tarmoqqa butun mashg'ulot to'plami taqdim etilgandan keyingina vaznni yangilash mumkin. Ya'ni barcha namunalar tarmoq tomonidan qayta ishlanadi, xatolar hisoblab chiqiladi, orqaga tarqalish amalga oshiriladi, lekin vazn o'zgarishlari ishlab chiqarilmaydi, ular to'planadi va vaznni o'zgartirish butun mashg'ulot namunasiidan o'tgandan so'ng amalga oshiriladi. Bu tezroq konvergensiyani ta'minlaydi. Bu holda xato.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^{l=L} \sum_{k=1}^m (y_k(l) - d_k(l))^2$$

l – misol raqami, L – misollar soni

3. Algoritm differensiallanuvchi neyron faollashtirish funksiyalaridan foydalanishni talab qiladi.
4. O'qish davri davomida og'irlik koeffitsientlarining tasodifiy ishga tushirishi ta'sir qiladi. Shuning uchun, bir xil tarmoqni bir xil o'quv majmuasida qayta tayyorlashda siz butunlay boshqacha natijalarga erishishingiz mumkin. Bir holatda, tarmoq muvaffaqiyatli o'rganishi mumkin, ikkinchisida esa u o'zlashtira olmaydi. Bu o'rganish algoritmining beqarorligini tavsiflaydi.
5. Sigmasimon faollashtirish funktsiyasi bo'lgan neyronlar uchun, masalan, shakl

$$f(s) = y_j = \frac{1}{1 + e^{-as_j}}$$



agar og'irlik koeffitsientlari bo'lsa ω_{IJ} katta qiymatlarga ega bo'ladi (ijobiy yoki salbiy), keyin qiymat

$$s_j = \sum_i w_{ij} y_i$$

katta qiymatlarni oladi. Keyin hosila

$$f'(s_j) = \frac{\partial y_j}{\partial s_j} = y_j(1 - y_j)$$

nolga yaqin bo'ladi va o'rganish sekinlashadi, deyarli to'xtaydi. Bu hodisa tarmoq falaji deb ataladi. Biz yana o'rganishni boshlashimiz kerak.

6. O'rganishni tezlashtirish uchun neyronlarning kirish qiymatlaridan nolga teng bo'lmagan o'rtacha qiymatdan foydalanishdan qochish kerak.
7. Algoritmning ishlashini tezlashtirish uchun neyronning og'irligini qayta hisoblashdan chiqarib tashlash asosida standart xatoning orqaga tarqalishi algoritmining modifikatsiyasidan foydalanish mumkin.

$$f'(s) \leq \varepsilon$$

где ε – достаточно малое число.

Agar $f'(s)$ kichik bo'lsa, u holda o'quv jarayonida og'irliklar biroz o'zgaradi, ya'ni bu og'irliklar neyronning chiqishiga kam ta'sir qiladi va o'quv jarayonida qayta hisoblashdan ba'zi og'irlik koeffitsientlarini olib tashlash yoki vaqtincha chiqarib tashlash mumkin.

8. Xatolarni orqaga yoyish algoritmi, umumiy holatda, global minimumga erishishga imkon bermaydi, lekin ko'pgina amaliy masalalarda tarmoqni kerakli o'rtacha kvadrat xatoga o'rgatish va natijalarni test orqali tasdiqlash kifoya. Topilgan minimum mahalliy yoki globalmi, unchalik muhim emas.

5-amaliy ish

Mavzu: Neyron tarmoqlar yordamida yechiladigan masalalarning asosiy sinflari

Neyron tarmoqlar yordamida hal qilinadigan masalalarning asosiy sinflari.

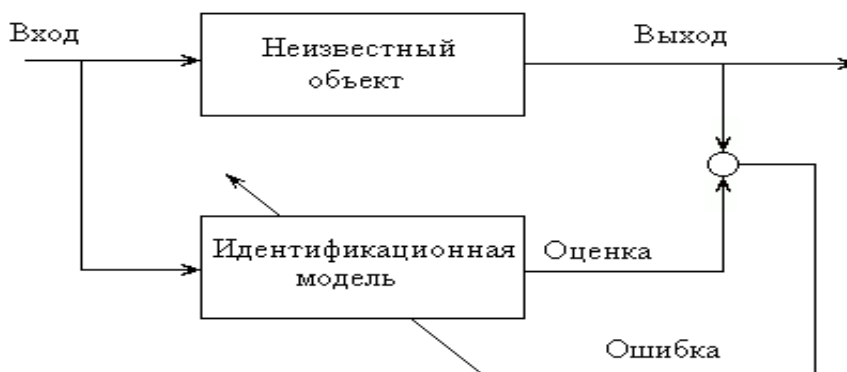
1.Funksiyalarning yaqinlashishi

Taxminlash - bu ba'zi matematik obyektlarni boshqalar bilan almashtirish, qaysidir ma'noda asl obyektlarga yaqin, ammo tadqiqot uchun soddaroq va qulayroq, masalan, xarakteristikalari oson hisoblab chiqiladigan yoki xossalari yaxshi ma'lum bo'lganlar kiradi.

Berilgan (taxminan)ga yaqin bo'ladigan funksiyani (yaqinlashuvchi funksiyani) topish funksiyani yaqinlashtirish deyiladi. Yaqinlik mezoni boshqacha bo'lishi ham mumkin. Ko'pincha o'rtacha kvadrat testi qo'llaniladi.

Neyron tarmoqni yaqinlashtirishda, yaqinlashtirilayotgan funksiya neyron tarmoq bilan almashtiriladi, u o'qituvchi bilan ma'lum misollar yordamida treningdan so'ng ya'ni neyron tarmoqning kiritilishi argument qiymati bo'lganda, funksiyaning qiymati chiqishda aniqlanadi. Darhaqiqat, o'qituvchi bilan o'rganish jarayonining o'zi yaqinlashtirish masalasini hal qilishdir.

Ko'pgina masalalar yaqinlashish masalalarini, xususan, funksiyalarni interpolyatsiya qilish muammosini, noma'lum obyektни aniqlash muammolarini hal qilish uchun qisqartiriladi.



Boshqaruvdagi munosabatlarni aniqlash ko'pincha eksperimental ma'lumotlar asosida ularni keyingi yaqinlashish bilan mumkin bo'ladi.

2. Berilgan sinflar majmuasi bo'yicha tasniflash. Vazifa xususiyat vektori bilan ifodalangan obyekt bir yoki bir nechta oldindan belgilangan sinflarga tegishli ekanligini aniqlashdir. Shu bilan birga, obyektни belgilash mumkin bo'lgan sinflar to'plami oldindan ma'lum.

Tasniflash diskret qiymatlarga (sinf identifikatorlari) ega bo'lgan funksiyaning yaqinlashuvidan boshqa narsa emas.

3. Qolipni tanib olish. Rasmni tanib olish rasmiy ravishda olingan tasvirni oldindan belgilangan sinflardan (toifalardan) biriga tayinlash kerak bo'lgan jarayon sifatida aniqlanadi. Aslida, bu signallar va tasvirlarning tasnifi.

Neyron tarmoqlar bilan naqshni aniqlash uchun ikkita yondashuv qo'llaniladi; yondashuvni tanlash muayyan mavzu sohasi bilan belgilanadi. Ikkita tarmoq qo'llaniladi: xususiyatlarni ajratib olish tarmog'i (o'qituvchisiz o'qitiladi) va tasniflash tarmog'i (o'qituvchi bilan o'qitiladi).



2. O'qituvchi bilan o'qitilgan to'g'ridan-to'g'ri tarqatishning yagona ko'p qatlamli tarmog'i qo'llaniladi. Bunday holda, xususiyatni ajratib olish yashirin qatlamdagi neyronlar tomonidan amalga oshiriladi.

4. Ilgari noma'lum bo'lgan sinflarni aniqlash bilan klasterlash. Klasterlash vazifasi tasniflash vazifasiga o'xshaydi, uning mantiqiy davomidir, lekin uning farqi shundaki, sinflarning soni ham, xususiyatlari ham oldindan ma'lum emas. Klasterlash algoritmi obyektlarning o'xshashligiga asoslanadi va o'xshash obyektlarni bitta klasterga joylashtiradi.

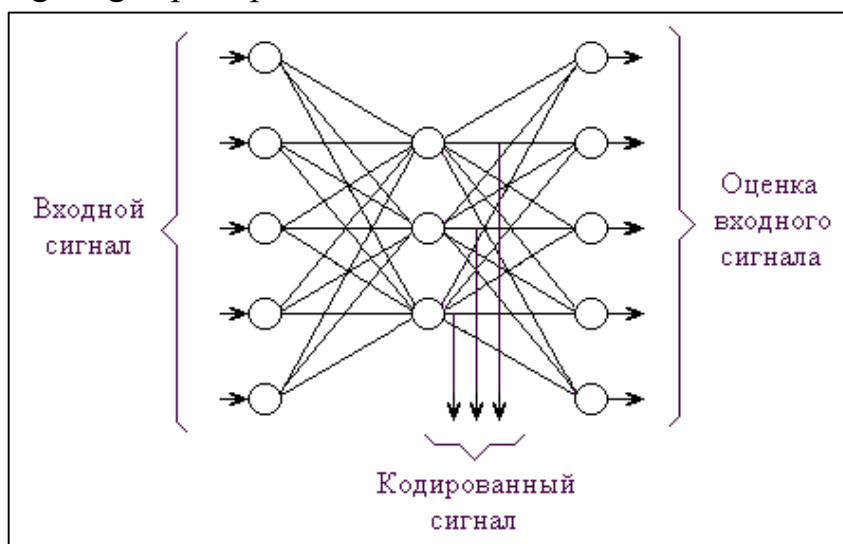
Nazoratsiz ta'limning o'zini klasterlash muammosining yechimi sifatida tushunish mumkin.

5. Axborotni kodlash, dekodlash va siqish

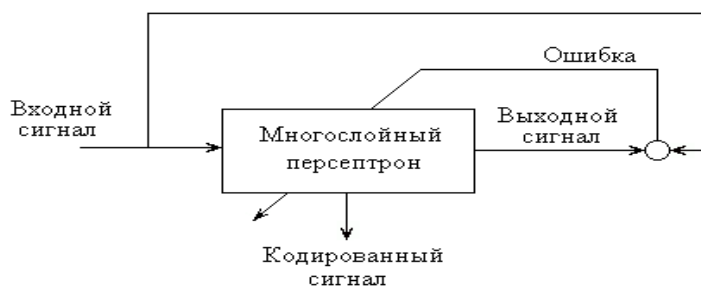
Signalni kodlash va dekodlash tizimida faqat bitta yashirin neyron qatlamiga ega bo'lgan ko'p qatlamli perseptrondan foydalanish mumkin.

Perseptron quyidagi talablarga javob berishi kerak:

- kirish va chiqish qatlamlari bir xil o'lchamga ega;
- yashirin qatlamning o'lchami kirish qatlamining o'lchamidan kichik;
- to'liq bog'langan perseptrondir.



Perseptronni tayyorlash

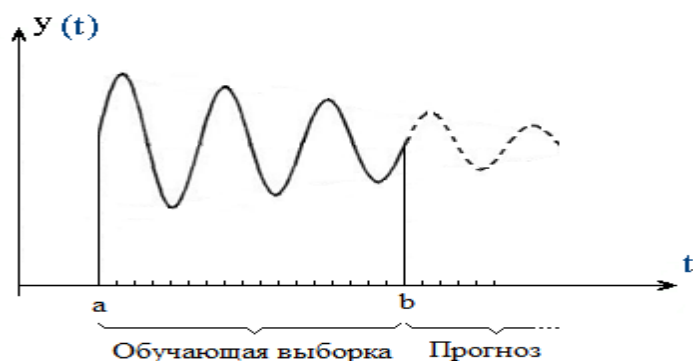


6. Prognozlash. O'qitilgan neyron tarmoqlarning kirish va chiqish ma'lumotlari o'rtasidagi yashirin bog'liqliklarni umumlashtirish va ta'kidlash qobiliyatiga asoslangan.

Vaqt seriyalarini prognoz qilish muammosi neyron tarmoqlar yordamida eng muvaffaqiyatli hal qilinadi.

Masalan, valyuta kursini prognoz qilish.

Vaqt seriyasi berilsin $y(t)$ intervalda $[a, b]$. Vazifa berilgan intervaldan tashqari vaqt qatorining davomini topish, ya'ni aniqlashdan iborat $y(b+1)$ $y(b+2)$ va boshqalar.



Vaqt seriyalarini prognoz qilish uchun sirpanish oyna usuli qo'llaniladi. Oynaning uzunligi ko'p qatlamli neyron tarmog'ining birinchi qatlamining sonini aniqlaydi.

Vaqtning bir nuqtasida vaqt seriyasining balli vaqt nuqtalaridagi oldingi p qiymatlariga qarab aniqlanadi $t-1, t-2, \dots, t-p$, ya'ni

$$y(t) = f(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-p)).$$

Oldingi qiymatlar				Hozirgi qiymat
$y(t-p)$	$y(t-(p-1))$	$y(t-2)$	$y(t-1)$	$y(t)$
$y(a)$	$y(a+1)$	$y(a+p-2)$	$y(a+p-1)$	$y(a+p)$
$y(a+1)$	$y(a+2)$	$y(a+p-1)$	$y(a+p)$	$y(a+p+1)$
$y(a+2)$	$y(a+3)$	$y(a+p)$	$y(a+p+1)$	$y(a+p+2)$
...
$y(b-p)$	$y(b-(p-1))$	$y(b-2)$	$y(b-1)$	$y(b)$

O'qitilgan neyron tarmoqni oldingi vaqtdagi funksiya qiymatlari bilan taqdim etish orqali $y(b-(p-1))$ $y(b-(p-2))$ $y(b-1)$ $y(b)$ chiqishda biz funksiyaning o'sha paytdagi taxminini olamiz $y(b+1)$

7. Assotsiativ xotira. Assotsiativ xotira yoki sezgir manzilli xotiraga ma'lum tarkibni ko'rsatish orqali kirish mumkin. Ushbu oldindan belgilangan xotira tarkibi hatto to'liq bo'lmagan yoki buzilgan bo'lishi mumkin.

Assotsiativ xotirani ikki bosqichga bo'lish mumkin:

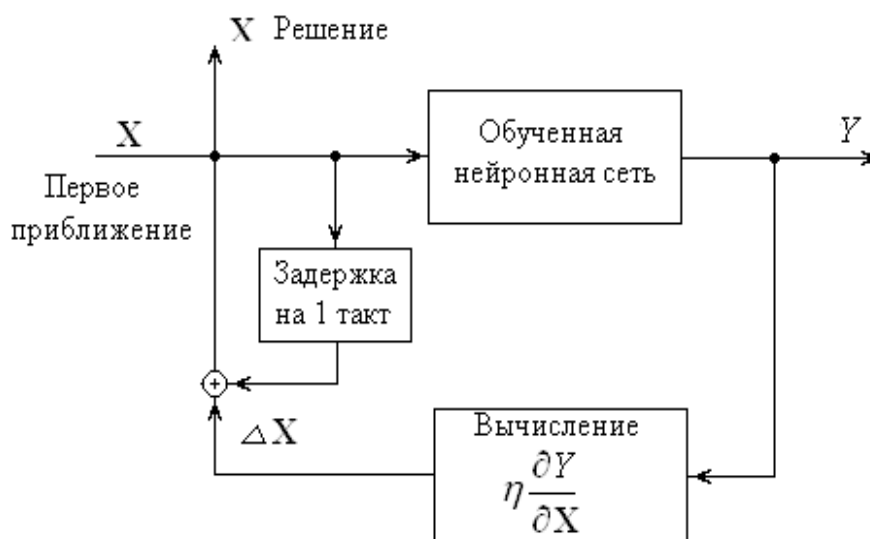
1. Tarmoqning o'quv jarayoniga mos keladigan yodlash bosqichi.
2. Tasvirning shovqinli yoki buzilgan versiyasini taqdim etadigan tarmoqqa javoban saqlangan tasvirni qayta tiklashga mos keladigan tiklash bosqichi.

8. Optimallashtirish. Neyron tarmoqlar yordamida bunday masalalarni yechish quyidagicha ko'rinishi mumkin.

1. Jarayonni kuzatish va ta'lim namunasini olish uchun ma'lumot to'plash.
2. Maqsad funksiyasini u yoki bu strukturaning neyron tarmog'i ko'rinishida qurish. Tarmoqning chiqishi - bu maqsad funksiyasining qiymati, kirishlar - bu maqsad funksiyasi bog'liq bo'lgan parametrlarning qiymatlari. Ikki yoki undan ortiq tarmoq chiqishlari ko'p maqsadli optimallashtirish holatida qo'llaniladi - ikki yoki undan ortiq ob'ektiv funktsiyalarni optimallashtirish, ehtimol bir-biriga zid keladi.

3. Standart o'rganish algoritmi (masalan, orqaga tarqalish algoritmi) yordamida olingan misollar to'plami bo'yicha tanlangan strukturaning neyron tarmog'ini o'rgatish.

4. O'qitilgan neyron tarmog'idan foydalanish. Endi tarmoq kirishidagi parametrlarning qiymatlari, masalan, neyron tarmog'ining og'irliklarini sozlash uchun 3-bosqichda ishlatilgan bir xil gradient algoritmi yordamida o'rnatiladi. Tuzatish qiymatlari sozlanishi parametrlar - kirishlarga nisbatan Y neyron tarmog'ining chiqishining qisman hosilalariga proporsional bo'lgan hisoblab chiqiladi. Parametrlarning boshlang'ich qiymatlari ba'zi mulohazalar asosida yoki o'zboshimchalik bilan o'rnatiladi. Tarmoq chiqishida maqsad funksiyasining maksimal yoki minimalini ta'minlaydigan shunday kirish qiymatlari mavjud.



9. Qaror qabul qilish. Qaror qabul qilish muammosi cheklovlarni hisobga olgan holda mavjud mumkin bo'lgan variantlardan eng yaxshisini (qaysidir ma'noda) tanlashdir. Vazifa har doim noaniqlik bilan bog'liq, chunki aniq qoidalar yoki yechimni olish uchun aniq algoritm mavjud emas.

Ushbu muammoning neyron tarmog'i yechimi ma'lum bir muammoning xususiyatlari bilan belgilanadi va uni funktsiyani (afzal funktsiyani) yaqinlashtirish muammosini, prognozlash muammosini, tasniflash muammosini, optimallashtirish muammosini hal qilish uchun qisqartirilishi mumkin. neyron tarmoqlar yordamida muvaffaqiyatli hal qilingan boshqa muammolarga ham.

10. Boshqarish. Boshqarish - bu neyron tarmoqlar uchun tabiiy qo'llash sohasi. Neyron tarmoqlarning afzalligi ularning har qanday, shu jumladan chiziqli bo'lmagan, kirish va chiqishlarni xaritalashni o'rganish qobiliyatidadir.

Boshqarish usullaridan biri neyron tarmoqlarning ob'ektdagi o'zgarishlarga qarab o'rganish va qayta tayyorlash qobiliyatiga asoslanadi.

Boshqarishda neyron tarmoqlardan foydalanishning yana bir yondashuvi neyron tarmoqlardan maxsus kompyuterlar sifatida foydalanishga asoslangan.

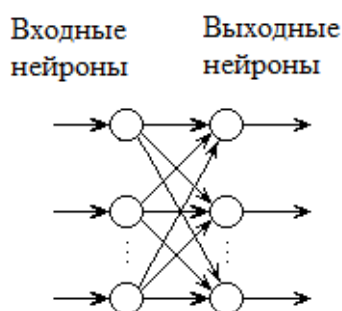
6-amaliy ish

Mavzu: Hemming ning neyronlarning turlari

Hemming ning neyronlarning turlari

Oddiy perseptron

Neyron tarmoqlarining birinchi modellaridan biri oddiy topologiyaga ega bo'lgan va kirish va chiqish neyronlari bilan to'g'ridan-to'g'ri tarqatish tarmog'i va maxsus og'irliklarning bir qatlami bo'lgan naqshlarni tanib olishni o'rganish qobiliyati tufayli katta ahamiyatga ega xisoblanadi (rasm.1.1).

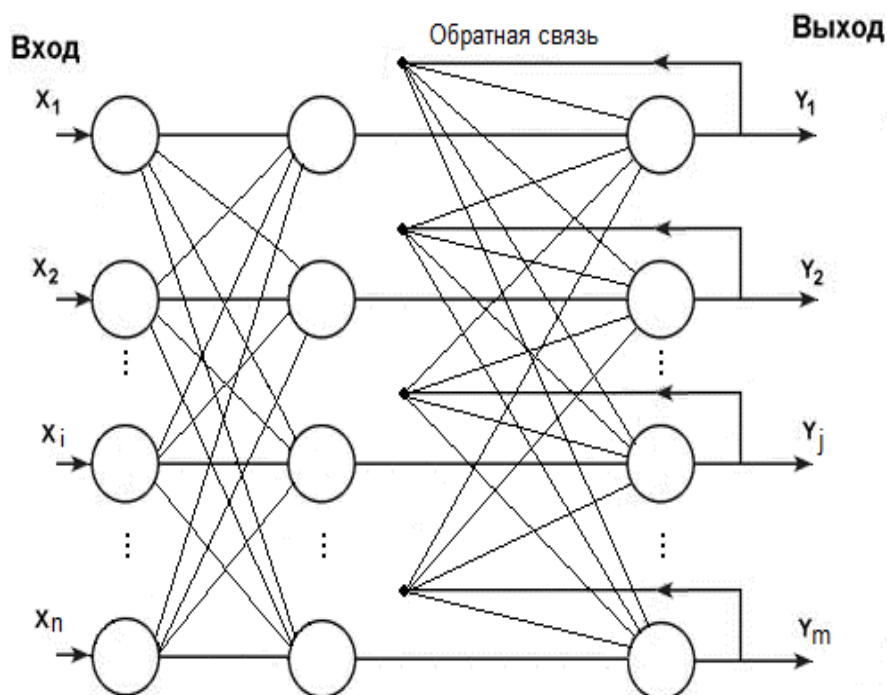


Rasm. 1.1. Oddiy perseptron

Kirish neyronlari o'zgarishlarni amalga oshirmaydi, balki chiqish neyronlari orasidagi signallarni tarqatadi. Chiqish neyronlari, odatda, chegara faollashtirish funksiyasiga ega. Shunday qilib, oddiy perseptron neyronlarning bir qatlamini va moslashtirilgan bir qatlamini o'z ichiga olgan to'g'ridan-to'g'ri bog'lanishlarga ega bo'lgan tarmoq.

Hemming Tarmog'i

Agar assotsiativ xotira vazifasida mos yozuvlar namunasi berilgan neyron tarmoqqa ehtiyoj bo'lmasa va faqat namuna raqamlari yetarli bo'lsa, unda bu maqsadlar uchun Hemming tarmog'i ishlatiladi, bu ham noaniq tarmoq hisoblanadi. Bunday tarmoq kamroq hisoblash xarajatlari bilan tavsiflanadi. Tasvirni tanib olishda tarmoq Hemming masofasini yaqinlik o'lchovi sifatida ishlatadi, shuning uchun uning nomi Amerika matematikasi R. W. Hamming (R. W. Hamming) sharafiga berilgan. 1987da R. Lippman (Lippman R.) tomonidan taklif etilgan Hemming tarmog'ining tuzilishi rasm. 1.2. va u ikkita tarmoqdan iborat: to'g'ridan – to'g'ri aloqalar (perseptron) va teskari aloqa tarmog'i (Hopfield tarmog'i).



Rasm. 1.2. Hemming Tarmog'i

To'g'ridan-to'g'ri bog'langan tarmoq tarmoqdagi barcha mos yozuvlar tasvirlari joriy va kirish signallari o'rtasidagi Hemming masofasini hisoblab chiqadi. Hamming ning masofasi ikki ikkilik vektorda turli xil bitlarning soni. Misol uchun, bir vektor teng $-1-1+1-1+1+1-1$ ikkinchisi esa tengdir $-1-1+1-1-1+1+1$

Bu holda Hemming ning oraliq masofasi 2 ga teng deb olinadi . Shundan so'ng, Hemming tarmog'i kirish uchun taqdim etilgan noma'lum tasvirni tegishli ma'lum sinfga bog'laydi yoki ma'lum sinflarning hech biriga mos kelmasligi haqida xulosa chiqaradi.

Tarmoq, taqdim etilgan kirish signaliga minimal masofa bilan mos yozuvlar tasvirini tanlashi kerak-buning natijasida ushbu mos yozuvlar tasviriga javob beradigan bitta chiqish faollashadi.

Neyron tarmoqlari. Neyron tarmoqlari arxitekturasini

Sun'iy neyron tarmoq-bu vazn koeffitsientlari bilan aniqlangan ulanishlar yordamida bir-biriga va tashqi muhitga ma'lum bir tarzda bog'langan neyronga o'xshash elementlarning to'plamidir. Turli xil adabiyotlarda neyron tarmoqlarning turli ta'riflari mavjud. Eng katta ta'rif quyidagi ta'rifdir. Neyron tarmoq - bu tajribali bilimlarni saqlash va vakillik qilish qobiliyatiga ega bo'lgan parallel taqsimlangan protsessor. Neyron tarmoq ikki nuqtai nazardan miyaga o'xshaydi.

1. Bilim ta'lim jarayonida tarmoq tomonidan sotib olinadi.
2. Bilimlarni saqlab qolish uchun sinaptik vazn og'irliklar deb ataladigan neyronlar o'rtasidagi aloqalar qo'llaniladi.

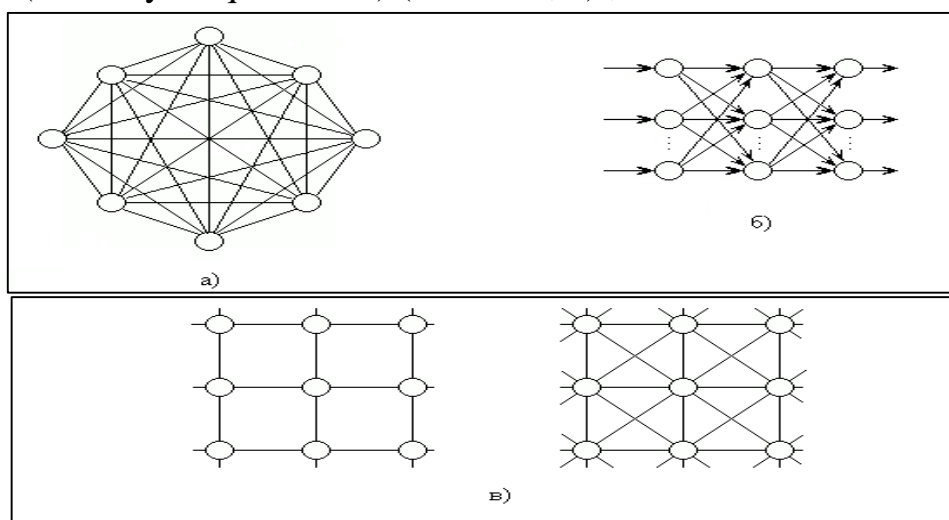
Tarmoqdagi neyronlarning funksiyalariga qarab, ularning uchta turi mavjud:

- Kirish ta'sir yoki atrof-muhit tasvirini kodlovchi vektor bilan ta'minlangan kirish neyronlari; ular odatda hisoblash tartib-qoidalarini amalga oshirmaydi, lekin faqat axborot taqsimoti mavjud.
- Neyron tarmoqlarining asosini tashkil etuvchi oraliq neyronlar neyronlarning matematik modeliga muvofiq amalga oshiriladi. Aniqlangan neyronlar, ularning qiymatlari neyron tarmoq chiqishi bilan ifodalanadi; ularda, shuningdek, oraliq neyronlarda bo'lgani kabi, neyronlarning matematik modeliga muvofiq o'zgarishlar amalga oshiriladi.
- Agar neyron faqat chiqish aloqasiga ega bo'lsa, unda bu kirish neyronidir. Qaytish bo'lmasa, chiqish neyronlari faqat kirish aloqalariga ega. Ichki neyronning kirish va chiqish aloqalari mavjud, biroq topologik jihatdan ichki neyronning tarmoq chiqishining bir qismi sifatida ko'rilishi mumkin.

Tarmoq tomonidan amalga oshirilgan konvertatsiya qilishning o'ziga xos turi nafaqat neyronga o'xshash elementlarning xarakteristikalari, balki uning arxitekturasi o'ziga xos xususiyatlari, ya'ni o'zaro bog'liqlik topologiyasi, axborotni kiritish va chiqarish uchun neyronga o'xshash elementlarning muayyan kichik to'plamlarini tanlash, tarmoqni o'qitish usullari, neyronlar orasidagi axborotni uzatish va sinxronizatsiya qilish usullari bilan bog'liq.

Sun'iy neyron tarmoqlarni tashkil etishning ko'plab usullari mavjud. Topologiya nuqtai nazaridan odatda neyron tarmoqlarning uchta asosiy turi (uchta asosiy arxitekturasi) mavjud:

- to'liq bog'langan (rasm. 1.3, a);
- ko'p qatlamli yoki qatlamli (rasm. 1.3, b) ;
- zaif (mahalliy aloqalar bilan) (rasm. 1.3, b) ;



Rasm. 1.3. Neyron tarmoqlarining uchta asosiy turi

To'liq bog'langan neyron tarmoqlarda (rasm.1.3, a) har bir neyron o'z chiqish signalini neyronlarning qolgan qismiga, shu jumladan o'z-o'zidan uzatadi. Barcha kirish signallari barcha neyronlarga beriladi. Tarmoqning chiqish signallari tarmoqning bir necha soatlaridan keyin neyronlarning barcha yoki ba'zi chiqish signallari bo'lishi mumkin.

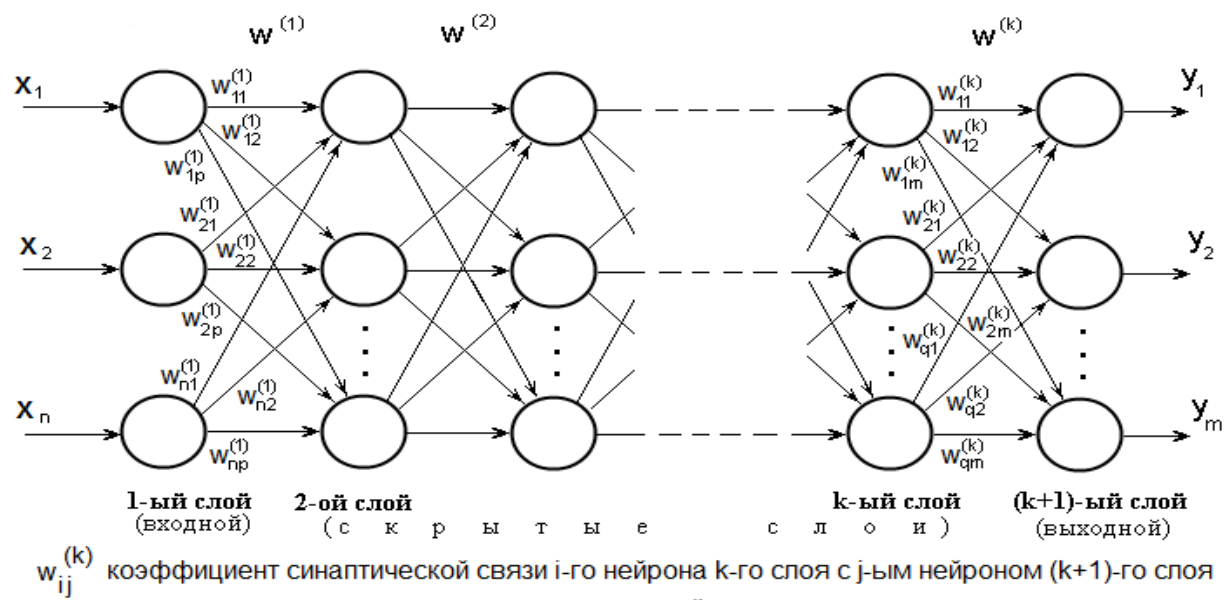
Ko'p qatlamli neyron tarmoqlarda (rasm. 1.3, b) neyronlar qatlamlarga birlashtirilgan. Neyronlarning qatlami, har bir soat ichida tarmoqning boshqa neyronlaridan parallel ravishda ma'lumot olinadi. Qatlamdagi neyronlarning soni har qanday bo'lishi mumkin va boshqa qatlamlarda neyronlarning soniga bog'liq emas. Umuman olganda, tarmoq chapdan o'ngga raqamlangan qatlamlardan iborat. Tashqi kirish signallari kirish qatlamining neyronlarning kirishiga (nol yoki birinchi bo'lib raqamlangan) beriladi va tarmoq chiqishi oxirgi qatlamning chiqish signallari hisoblanadi. Ko'p qatlamli neyron tarmog'idagi kirish va chiqish qatlamlariga qo'shimcha ravishda bir yoki bir nechta yashirin qatlamlar mavjud. Ko'p qatlamli neyron tarmog'ida turli qatlamlarning neyronlari o'rtasida turli xil aloqalar o'rnatilishi mumkin.

Ketma-ket aloqalar mavjud bo'lganda, ma'lum bir qatlamning neyronning chiqish signali keyingi qatlamning neyronlarning kirish signalidir. O'zaro aloqalar ma'lum bir qatlam va keyingi qatlamlarning neyronlari (lekin keyingi qatlam emas) o'rtasidagi aloqani o'rnatadi. Ketma-ket va o'zaro faoliyat tarmoqlar to'g'ridan-to'g'ri tarqatish tarmoqlari deb ataladi.

To'g'ridan-to'g'ri tarqatish tarmoqlaridan farqli o'laroq, ba'zi qatlamlarning chiqishidan bir xil qatlam yoki oldingi qatlamlarning kirishiga boradigan ulanishlar mavjud. Ba'zi qayta aloqa tarmoqlarining konfiguratsiyalarida avvalgi chiqish qiymatlari kirishlarga qaytariladi; shuning uchun chiqish joriy kirish va oldingi chiqishlar bilan belgilanadi. Tarmoqlarning hech qanday xotirasi yo'q, ularning chiqishi joriy kirishlar va vazn qiymatlari bilan to'liq aniqlanadi. Qayta ulangan tarmoqlar xotiraga ega-tarmoq chiqishi ham avvalgi chiqishlarga bog'liq bo'lib, ular o'z navbatida avvalgi kirishlarga bog'liq.

Qaytish tarmoqlari orasida quyidagilar mavjud:

- qatlamlar yopilganligi bilan ajralib turadigan qatlamli tsiklik: oxirgi qatlam o'zining chiqish signallarini birinchisiga uzatadi, barcha qatlamlar teng va kirish signallarini qabul qilishi va hafta oxiri chiqishi mumkin; qatlam bilan bog'langan qatlamlar qatlamlardan iborat bo'lib, ularning har biri to'liq bog'langan tarmoq bo'lib, signallar qatlamdan qatlamga va qatlamga o'tkaziladi;
- har bir qatlamda ish aylanishi uch qismga bo'linadi: oldingi qatlamdan signallarni qabul qilish, qatlam ichidagi signallarni almashish, chiqish signalini ishlab chiqarish va keyingi qatlamga uzatish;
- O'zaro ulangan-qatlamli, ularning tuzilishi shunga o'xshash qatlamlik-o'zaro ulangan, lekin boshqacha faoliyat: ular qatlami va keyingi uzatish ichida almashish bosqichlarini ajratish emas, barcha qatlamlari neyronlarning har bir qatori o'z qatlami sifatida neyronlarning signallari qabul qiladi.



Rasm. 1.4. To'g'ridan-to'g'ri tarqatish tarmog'i

Adabiyotlar:

- 1.N.R.Yusupbekov, R.A.Aliyev, R.R.Aliyev, A.N.Yusupbekov. Boshqarishning intellektual tizimlari va qaror qabul qilish. “O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi” nashriyoti. Toshkent – 2015. – 571 bet.
- 2.Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish asoslari: O‘quv qo‘llanma. 1,2-qism. Yusupbekov N.R, Igamberdiyev X.Z., Malikov A.V. – Toshkent: ToshDTU, 2007.
- 3.Dilnoz Muxamediyeva: Gibrid intellektual tizimlarini qurish muammolari. Navro‘z nashriyoti. 292-bet. 2021-yil.
- 4.Fakhreddine O. Karray, Clarency W De Silva. Soft Computing and Intelligent Systems .-Design: Theory, Tools and Applications. ISBN: 9780321116178, Language: English, Category: Technical. Canada. 2004. – 584 p.
- 5.Ali Zilouchian & Mo Jamshidi. Intelligent Control Systems Using Soft Computing Methodologiyes. ISBN: 9780849318757, Language: English, Category: Technical. CRC Press, 2014. – 504 p.
<https://ebooks-it.org/0849318750-ebook.htm>.
- 5.Lecture Notes on Intelligent Systems. Mihir Sen Department of Ayerospace and Mechanical Engineyering University of Notre Dame Notre Dame, IN 46556, U.S.A. 2006 – 103 p.
6. Andrzej Piyegat. Fuzzy Modeling and Control / A. Pegat. Nechetkoye modelirovaniye i upravleniye.– Perevod s angl. – 2-e izd.–M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2013. 798 s.

Internet ma’lumotlari:

1. www.edu.uz
2. www.texhologiy.ru.
3. <http://www.Khimprom.cjb.net>.