Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы

Машинатаануу жана автоматика институту

Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян университети

Диссертациялык кеңеши Д.05.21.631

Кол жазма укугунда
УДК: 004.89

Савченко Елена Юрьевна

Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун интеллектуалдык алгоритмдеринин синтези

05.13.01- системалык талдоо, маалыматарды башкаруу жана иштеп чыгуу

Техника илимдеринин доктору окумуштуулук
даражасын алуу үчүн диссертациянын
Авторефераты

Бишкек – 2022

Аталган иш Кыргызстан Эл аралык университети окуу-илимий-өндүрүштүк комплексинин компьютердик маалымат системалары жана башкаруу кафедрасында жүргүзүлдү.

Илимий консультанты:	**Миркин Евгений Леонидович** техника илимдеринин доктору, профессор, Кыргызстан Эл аралык университети окуу-илимий-өндүрүштүк комплексинин компьютердик маалымат системалары жана башкаруу кафедрасынын башчысы
Расмий оппоненттер:	**Бримкулов Улан Нургазиевич** Кыргыз Республикасынын улуттук илимдер академиясынын мүчө-корреспонденти, техника илимдеринин доктору, Кыргыз-Түрк «Манас» университетинин, компьютердик инженерия кафедрасынын профессору (Бишкек ш., Кыргыз Республикасы) **Еремин Евгений Леонидович** техника илимдеринин доктору, Жогорку билим берүү федералдык мамлекеттик бюджеттик окуу мекемеси Амур мамлекеттик университетинин, маалымат жана башкаруу системалары кафедрасынын профессору (Благовещенск ш., Орусия) **Калимолдаев Максат Нурадилович** Казакстан Республикасынын улуттук илимдер академиясынын академиги, физика-математика илимдеринин доктору, профессор Казакстан Республикасынын улуттук илимдер академиясынын вице-президенти-башкы илимий катчысы (Алматы ш., Казакстан Республикасы)
Жетектөөчү үюм:	**И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин, компьютердик системаларды программалык камсыздоо кафедрасы,** 720044, Бишкек ш., Киев көч., 44

Диссертацияны коргоо 2022-жылдын 24-июнунда саат 13.00дө Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын машинатаануу жана автоматика Институтунун жана Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян Университетинин алдындагы физика-математика жана техника илимдеринин доктору (кандидаты) окумуштуулук даражасын изденип алуу боюнча диссертацияларды коргоо Д.05.21.631 диссертациялык кеңештин отурумунда болот. Дареги: 720071, Бишкек ш., Чуй пр., 265, 349-б. Диссертацияны коргоонун онлайн трансляциясынын идентификациялык коду https://vc.vak.kg/b/052-dry-zfv-dd6

Диссертация менен Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын (720071, Бишкек ш., Чуй пр., 265а), Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян Университетинин (720000, Бишкек ш., Киев көч., 44), Кыргызстан Эл аралык университети окуу-илимий-өндүрүштүк комплексинин (720002, Бишкек ш., Л.Толстой көч., 17/1а) китепканасынан жана https://imash.kg/ расмий сайтында таанышууга болот, email: diss_ima@mail.ru.

Автореферат 2022-жылдын 18-майында жөнөтүлдү

Диссертациялык кеңештин
окумуштуу катчысы
ф.-м.и.к, у.и.к. Керимкулова Г.К.

ИШТИН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Акыркы жылдарда маалыматты иштетүүнүн нейрондук тармак ыкмаларына изилдөөчүлөрдүн чоң кызыгуусу байкалат. Адам ишмердүүлүгүнүн көптөгөн тармактарын санариптештирүүнүн көлөмүнүн өсүшүнө байланыштуу, топтолгон маалыматтын чоң көлөмүн интеллектуалдык жактан кайра иштетүү маселелери өтө актуалдуу болуп саналат. Ушуга байланыштуу, тез өзгөрүп жаткан кырдаалда туура башкаруу чечимдерин кабыл алуу үчүн чоң маалыматтарды интеллектуалдык талдоо үчүн заманбап технологиялардын активдүү өнүгүүсү байкалууда. Эсептөө ресурстарынын күчүн өнүктүрүү менен, жасалма интеллект технологиялары инженердик, экономикалык, социалдык жана башка көптөгөн системаларда талдоо жана чечимдерди кабыл алуу үчүн жеткиликтүү болуп калды.

Жасалма нейрон тармактардын (ЖНТ) долбоорлоодо биринчи жыйынтыктар өткөн кылымдын кыркынчы жылдары алынган. Бул жаатта алынган негизги жыйынтыктар окумуштуулар У. Мак-Каллок (1943), У. Питтс (1943), Ф. Розенблатт (1962), Д. О. Хебб (1949), Д. Д. Хопфилд (1994,1995), П. Вербос (1992) жана башкалар. Нейрондук тармактарды үйрөнүү жана куруу маселеси боюнча маанилүү теориялык жана прикладдык натыйжалар В.П. Дьяконов (2001), В.В. Круглов (2002), Д. Рутковская (2004), С. Хайкин (1994,1995), Е.Л. Миркин (2010,2020) эмгектеринде берилген.

Нейрондук тармактар маалыматты иштеп чыгуунун универсалдуу механизми болуп саналат жана чечим кабыл алуунун салттуу схемаларына салыштырмалуу бир катар артыкчылыктарга ээ, алар көптөгөн татаал системалардын иштешинин формалдуу математикалык сыпаттамаларынын жоктугунан салттуу ыкмаларды колдонуу менен чечүү кыйын же мүмкүн эмес маселелерди чечүүгө мүмкүндүк берет. Жаңы маалыматтардын топтолушу менен нейрондук тармак моделдери такталып, өз убагында алардын ишинин натыйжалуулугун жогорулатат. ЖНТ себеп-салдарлык байланыштардын жашыруун көз карандылыктарын чыгара алышат, ошондой эле классификация жана үлгү таануу тапшырмаларын жогорку ылдамдыкта аткарышат. ЖНТ мүмкүнчүлүктөрүнүн кеңири спектрине карабастан, нейрондук тарлорду түзүү жана окутуу дайыма эле күтүлгөн натыйжаларды бере бербеген оор процесс.

ЖНТ негизинде моделдерди түзүүнүн негизги көйгөйлөрүнө төмөнкүлөр кирет:

- реалдуу системанын көп сандагы себеп-натыйжа көз карандылыгы менен татаал маселени потенциалдуу чечүүгө мүмкүндүк берүүчү тармак топологиясын тандоо (көп сандагы комплекстүү уюшулган нейрондору керек), жогоруда айтылган факт маселени чечүүгө аракет кылуу үчүн олуттуу эсептөө ресурстарын талап кылат;
- маселени чечүүнүн ийгиликтүү аракети жөнгө салынуучу салмак мейкиндигинде локалдык минимумдун тармактык үйрөнүү алгоритми тарабынан жайгашуусунан көз каранды, ал чечимдин алгылыктуу натыйжасын

камсыз кылат, бирок окутууну баалоо функциясынын мультимодалдуулугу дайыма эле ийгиликтүү ишке ашырууга мүмкүндүк бербейт. Ушуга байланыштуу, тармактын синаптикалык байланыштарынын салмак коэффициенттерин инициализациялоонун универсалдуу ыкмасы жок, ал чечилип жаткан ар кандай маселе үчүн туура баштапкы маанилерди кепилдейт («ийгиликтүү» минимумду табуу үчүн тармактын салмактарын кайра инициализациялооңуз жана тармак орнотууну кайталашыңыз керек);

- көпчүлүк реалдуу ЖНТ окутуу тапшырмалары интервалдык максаттуу белгилөө жагынан түзүлөт, аларды ишке ашыруу тапшырманы чечет. Бирок, иштеп жаткан ЖНТ иш жүзүндө тууралоо так максаттуу белгилөө менен жүзөгө ашырылат, бул максаттарды так аткаруу үчүн эсептөө ресурстарынын негизсиз ашыкча чыгымдалышына алып келет.

Жогоруда аталган маселелерди чечүү бул диссертациянын изилдөө предмети болуп саналат.

Диссертациянын темасынын артыкчылыктуу илимий багыттар, негизги илимий программалар (долбоорлор), окуу жана илимий мекемелер тарабынан жүргүзүлүүчү фундаменталдык изилдөө иштери менен байланышы. Бул диссертациялык иш Кыргызстан Эл аралык университети окуу-илимий-өндүрүштүк комплексинин компьютердик маалымат системалары жана башкаруу кафедрасында «Нейрондук тармактардын өзүн өзү уюштуруунун алгоритмдерин иштеп чыгуу жана аларды медициналык диагностиканын прикладдык маселелеринде колдонуу» жана «Нейрондук тармактарды өз алдынча уюштуруу методдорун иштеп чыгуу жана аларды медициналык кибернетика маселелеринде колдонуу» темалары боюнча илимий долбоорлордун пландарына ылайык жүргүзүлдү.

Изилдөөнүн максаты жана милдеттери. Изилдөөнүн максаты - нейрон тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун теориялык принциптерин, ыкмаларын жана интеллектуалдык алгоритмдерин түзүү.

Бул максатка жетүү үчүн бир катар теориялык жана эксперименталдык **маселелерди** чечүү зарыл болгон, алардын негизгилери:

- нейрондук тармактарды окутуу процессинде пайда болгон эсептөө көйгөйлөрүн изилдөө;
- нейрондук тармактарды түзүүдө модулдук ыкмага мүнөздүү өзгөчөлүктөрдү аныктоо;
- иерархиялык модулдук нейрондук тармак архитектурасын куруунун негизги принциптерин аныктоо;
- «интервалдык мугалим» менен ЖНТ окутуу ыкмасын негиздөө;
- окутуунун берилген интервал топтомунан конкреттүү «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашырган нейрондук тармактын өзүн өзү уюштуруу структурасын иштеп чыгуу;
- «интервалдык мугалим» менен ЖНТ окутуу алгоритмин иштеп чыгуу;

- нейрондук тармактын көп деңгээлдүү иерархиялык топологиясын түзүү үчүн детерминисттик стратегияны иштеп чыгуу;
- модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармак үчүн интервалдык максат коюу үчүн интеллектуалдык алгоритмдерди иштеп чыгуу;
- модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакта максаттуу топтомдун маалыматтарынын артка жайылышын үйрөнүү алгоритмин иштеп чыгуу;
- медициналык диагностика маселелеринде нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруу үчүн алынган алгоритмдерди колдонуу.

Иштин илимий жаңычылыгы:

1. Нейрондук тармактын өзүн өзү уюштуруунун жаңы структурасы сунушталууда, ал системанын иштешин жакшыртуучу кошумча талаптардын негизинде берилген окуу интервалынан конкреттүү «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашырат.
2. Жетекчилүүчү ЖНТ окутуу мамилесинде татаал маселелерди чечүү үчүн модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты куруунун жаңы концепциясы сунушталууда.
3. Модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакта максаттуу топтомдун маалыматтарын артка жайылтуу алгоритми сунушталууда.
4. Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруу үчүн алынган алгоритмдердин ишинин теориялык натыйжалары иштелип чыккан программалык камсыздоодо жана медициналык классификатордун синтезинин алгоритмдик колдоосунда ишке ашырылган.

Алынган натыйжалардын практикалык мааниси:

1. Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун иштелип чыккан алгоритмдери нейрондук тарматарды окутуунун натыйжалуулугун жогорулатуунун куралы болуп саналат жана Бишкек шаарындагы «Remedium» медициналык клиникасында жана «КафМедцентр» медициналык борборунда медициналык диагностиканын интеллектуалдык системаларынын тапшырмаларында ийгиликтүү колдонулат.
2. Иштин натыйжалары ЖБ ФМАББМ «Улуу Петр Санкт-Петербург политехникалык университети» студенттерине жана Б.Н. Ельцин атындагы Кыргыз-Россия Славян университетинин (Бишкек ш.) студенттерине атайын курстарды окууда окуу процессине киргизилген.

Диссертациялык иштин натыйжаларын ишке ашыруу жана пайдалануу тиешелүү актылар менен ырасталат.

Коргоо үчүн берилген диссертациянын негизги жоболору.

- Системанын иштешине кошумча талаптардын негизинде белгиленген интервалдан нейрондук тарматарды орнотуу процессинде белгилүү бир «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашыруучу системанын түзүмү.
- Нейрондук тармактарды (НТ) түзүү процессинде системанын иштеши үчүн кошумча талаптардын негизинде белгиленген интервалдан конкреттүү «мугалимди» тандоо концепциясы.
- «Мугалим» менен ЖНТ окутууда татаал маселелерди чечүү үчүн модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты куруу концепциясы.
- Модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакта максаттуу топтомдун маалыматтарын артка жайылтуу окуу алгоритми.

Изилдөөчүнүн жеке салымы. Диссертациялык иште берилген жана илимий жаңылыкка ээ болгон бардык жыйынтыктарды автор жеке өзү жана илимий консультанттын жетекчилиги астында алган.

[1-3] эмгектерге Миркин Е.Л. нейрондук тармактардын көп деңгээлдүү иерархиялык топологиясын түзүү үчүн детерминисттик стратегия маселесин коюулушу кирет, [3] эмгекте Савченко Е.А. киргизилген маалыматтарды иштетүүгө таандык. [5] эмгекте Мусакулова Ж.А. сызыктуу эмес синаптикалык кириштери бар көп катмарлуу нейрондук тармак үчүн ката артка таралуу алгоритмин ишке ашырууга таандык. [5] эмгекте Миркин Е.Л. сызыктуу эмес синаптикалык кириштери бар көп катмарлуу нейрондук тармак үчүн катаны артка жайылтуу алгоритминин маселесинин жобосуна таандык. [4,6,9] эмгектерде Миркин Е.Л. нейрондук тармакты түзүү процессинде белгилүү бир «мугалимди» тандоо үчүн алынган методдун айрым модулдарын программалык камсыздоосу кирет.

Диссертациянын жыйынтыгын апробациялоо. Диссертациялык иштин жыйынтыгы 2018-жылдын 22-23-октябрында Санкт-Петербург, Россия, EExPolytech-2018: Электротехника жана фотоника, 2019-жылдын 17-18-октябрында Санкт-Петербург, Россия, EExPolytech-2019: Электротехника жана фотоника, 2020-жылдын 15-16-октябрында Санкт-Петербург, Россия, EExPolytech-2020: Электротехника жана фотоника жана International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies Proceedings of the YETI 2020, St. Petersburg, Russia, Telecommunications and Information Technologies Proceedings of the YETI 2021, St. Petersburg, Russia эл аралык конференцияларда баяндалган.

Диссертациянын жыйынтыктарынын басылмаларда чагылдырылышынын толуктугу. Диссертацияда алынган негизги илимий натыйжалар 14 басма эмгекте, анын ичинен 9 Scopus жана Web of Science системаларында катталган мезгилдүү басылмаларда жарыяланган; 1 КР ЖАК тарабынан сунушталган журналда; чет элдик басылмада 1 монография, жергиликтүү басылмада 1 монография, Кыргызпатентте катталган 2 автордук күбөлүк.

Иштин түзүмү жана көлөмү. Диссертация мазмундан, кириш сөздөн, жети бөлүмдөн, корутундудан, жалпысынан 173-барактан, ошондой эле библиографиядан жана эки тиркемеден турат.

ДИССЕРТАЦИЯНЫН НЕГИЗГИ МАЗМУНУ

Киришүүдө диссертациялык иштин темасынын актуалдуулугун негиздеп, анын максаттарын жана милдеттерин, илимий жаңылыгын, алынган натыйжалардын практикалык мааниси сүроттөлгөн. Коргоо үчүн сунушталган негизги жоболор, автордун жеке салымы аныкталып, иштин түзүмү жана көлөмү да чагылдырылган.

«Адабияттарды талдоо» аталган **биринчи бөлүмүндө** нейрондук тармактарды өнүктүрүүнүн негизги этаптарына аналитикалык сереп берилет, жасалма нейрон тармактарын түзүүнүн негизги принциптери баяндалат, нейрондук тармактарды түзүүдө модулдук ыкманы колдонуунун негиздери каралат жана куруунун негизги принциптерине сереп берилген. иерархиялык модулдук нейрондук тармак архитектуралары берилген. ЖНТ моделдерин түзүү, конфигурациялоо жана окутуунун негизги эсептөө маселелери келтирилген:

– реалдуу системанын көп сандагы себеп-натыйжа көз карандылыгы менен татаал маселени потенциалдуу чечүүгө мүмкүндүк берүүчү тармак топологиясын тандоо (көп сандагы татаал уюшулган нейрондор талап кылынат). Жогорудагы факт көйгөйдү чечүү үчүн олуттуу эсептөө ресурстарын талап кылат.
– алгылыктуу чечим натыйжасын камсыз кылуучу жөнгө салынуучу салмак мейкиндигинде жергиликтүү минимумун издөө.

Ошентип, жогоруда аныкталган ЖНТ даярдоо жана түзүү учурунда келип чыккан чечилбеген маселелердин кеңири спектри илимий изилдөөлөрдү талап кылат.

«Методология жана изилдөө ыкмалары» аталган **экинчи бөлүмүндө** милдеттерди чечүүдө колдонулган материалдар жана ыкмалар көрсөтүлөт.

Изилдөө объектиси. Изилдөөнүн объектиси болуп интервалдык өзүн-өзү уюштуруу менен жасалма нейрон тармактарынын структуралары жана окутуу алгоритмдери саналат.

Изилдөө предмети: диссертациялык иштин изилдөө предмети болуп нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун интеллектуалдык алгоритмдерин синтездөө, сунушталган ыкмаларды сандык жана компьютердик моделдөө, медициналык диагностика үчүн интеллектуалдык системаларды, ошондой эле программалык камсыздоону иштеп чыгуу саналат.

Изилдөө ыкмалары: диссертациялык иште теориялык жана эксперименталдык изилдөөнүн негизги жалпы илимий ыкмалары колдонулган: анализ, синтез, математикалык моделдөө жана компьютердик эксперимент, оптималдаштыруу ыкмалары, кайчылаш текшерүүгө негизделген эрте токтотуу

ыкмасы, натыйжалуулугун салыштыруу талдоо, программалык камсыздоону иштеп чыгуу үчүн заманбап программалоо тилдери.

Теориялык изилдөө процессинде жасалма нейрон тармактарын синтездөөнүн негизги принциптери, нейрондук тармактардын синтез процесстеринин физикалык маңызын талдоо колдонулган, ал бир нече этаптарды камтыган:

– интервалдык, модулдук жана иерархиялык нейрон тармактарын изилдөө үчүн гипотезаны түзүү;
– диссертацияда жүргүзүлгөн теориялык изилдөөлөрдү талдоо жана жалпылоо компьютердик симуляциянын натыйжаларын колдонуу менен ишке ашырылган
– теориялык натыйжаларга жана компьютердик экспериментке негизделген корутундуларды түзүү.

Диссертациялык иште көп катмарлуу алдыга багытталган нейрон тармагында интервалдык максатты коюу ыкмасын иштеп чыгууда сандык симуляцияны колдонуу менен аналитикалык изилдөө ыкмасы колдонулган. Модулдук типтеги борборлуштурулбаган иерархиялык тармакты түзүү ыкмасын иштеп чыгуу стадиясында максаттуу топтомдун маалыматтарын артка жайылтуу алгоритминин синтези, ошондой эле сунушталган методдун сандык мисалы жүргүзүлгөн. Диссертацияда артыкчылыктарды, сунушталган методдорду жана алгоритмдерди көрсөтүү үчүн, ошондой эле медициналык диагностика үчүн интеллектуалдык классификация системалары үчүн иштелип чыккан программаларда компьютердик эксперимент ыкмасы колдонулган. Жасалма нейрон тармактарын окутуу процессинде белгилүү оптималдаштыруу ыкмалары колдонулган:

– градиент;
– Левенберг-Марквардт;
– катанын артка жайылышы.

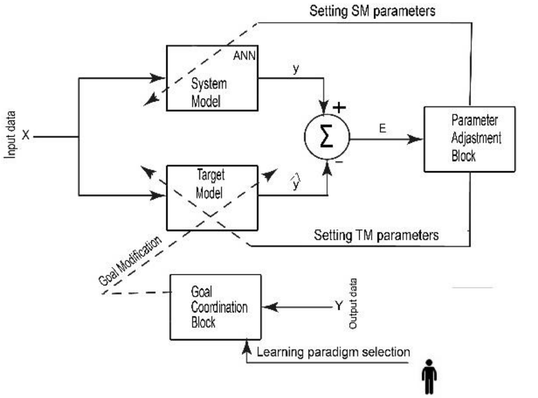
Нейрондук тармактын ашыкча жабдылышынын таасирин алдын алуу үчүн кайчылаш текшерүүгө негизделген эрте токтотуу ыкмасы колдонулат. Сунушталган методдорду жана алгоритмдерди баалоо үчүн диссертацияда жасалма нейрон тармактары үчүн иштелип чыккан окутуу алгоритмдеринин салттуу алгоритмдер менен эффективдүүлүгүнүн салыштырма анализи колдонулат.

Үчүнчүдөн жетинчи глава өзүбүздүн изилдөөбүздүн натыйжаларына жана алардын негиздемелерине арналган.

«Көп катмарлуу түз бөлүштүрүү нейрон тармактарында интервалдык максатты коюу ыкмасы» аталган **үчүнчү бөлүмүндө** көп катмарлуу нейрондук тармактарда интервалдык максат коюу ыкмасы сунушталат. Сунушталган ыкмасы системанын иштешине кошумча талаптардын негизинде берилген интервалдан конкреттүү «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашыруу аркылуу нейротүйүндү түзүү процессинде окуу максатын өзгөртүүгө мүмкүндүк берет.

ЖНТ окутуу ыкмасын «интервалдык мугалим» менен ишке ашырган сунушталган системанын архитектурасы төмөнкүнү болжолдойт (3.1-сүрөт):

1. Окуунун акыркы натыйжасы менен аныкталган так аныкталган интервал чектери бар бүдөмүк топтом катары коюлган максатты (окутууну) коюу. (Goal Coordination Block, 3.1-сүрөт).
2. Окуу процессинин параметрлерине жана окутуунун акыркы натыйжасына жараша коюлган максаттын (окутуунун) чектерин өзгөртүү эрежелерин аныктоо. (Goal Coordination Block, 1-сүрөт).
3. Уруксат берилген максаттуу топтомдун ичинен конкреттүү «мугалимди» тандоо механизмин камсыз кылуучу ыңгайлаштырылуучу модел түрүндөгү башкарылуучу окуу комплексин түзүү. (Target Model, 3.1-сүрөт). Белгилеп кетсек, максаттуу окутуу комплексин түзүү модели ЖНТ негизинде да ишке ашырылышы мүмкүн.
4. Окуу процессинин параметрлерине жана окутуунун акыркы натыйжасына жараша уруксат берилген максаттуу топтомдон конкреттүү «мугалимди» калыптандыруу моделине таасир этүү механизмин калыптандыруу. (Setting TM parameters, Goal Coordination Block, 3.1-сүрөт).



3.1-сүрөт – ЖНТ окутуу ыкмасын «интервалдык мугалим» менен ишке ашырган жабык цикл системасынын архитектурасы; $\hat{y}$ – ЖНТ окутуунун максаты; y – ЖНТ окутуунун натыйжасы; E – окууту катасы

3.1-сүрөттө төмөнкү модулдарды камтыган «интервалдык мугалим» менен ЖНТ окутуу ыкмасын ишке ашыруучу системанын жалпы схемасы көрсөтүлгөн:

System Model – классикалык ыкмада «мугалим» менен иштеген ЖНТ болуп саналат. Бул модулдун архитектурасы изилдөөчү тарабынан конкреттүү маселелерди чечүү үчүн тандалат, ал ар кандай белгилүү конфигурацияда болушу мүмкүн жана салттуу тармактык үйрөнүү катасын (Error). колдонуу менен ар кандай белгилүү ыкма менен (Parameter Adjastment Block) үйрөтүлүшү мүмкүн.

Target Model – ЖНТ үчүн максаттуу (окутуу) топтомун түзүү үчүн иштелип чыккан башкарылуучу моделди ишке ашыруучу модуль (System Model):

– ЖНТ окутуу үчүн классикалык (салттуу) «мугалим»;
– интервал топтому катары түзүлгөн «мугалим» («интервалдык мугалим»);
– атайын түзүлгөн ЖНТ түрүндө түзүлгөн «мугалим», тармактын салттуу окутуу катасын (Error). колдонуу менен кандайдыр бир белгилүү ыкма (Parameter Adjastment Block) менен окутуу;

болушу мүмкүн

Parameter Adjastment Block – кандайдыр бир белгилүү ыкма менен ЖНТ System Model жана Target Model окутууну (зарыл болсо) ишке ашырган модул.

Goal Coordination Block – ЖНТ окуу процессинин параметрлерине жана ЖНТду үйрөнүүнүн акыркы жыйынтыгына жараша коюлган максаттын (окутуунун) чектерин өзгөртүү эрежелерин координациялоочу модуль. Башкача айтканда, нейрондук тармактардын интервалдык өзүн өзү уюштуруу структурасынын иштеши үчүн стратегияны тандоонун координатору болуп иштейт. System Model жана Target Model модулдарды тандоо жана түзүү үчүн жооптуу.

Белгилей кетсек, *Goal Coordination Block* модулу ЖНТ орнотуу процессин башкаруунун иерархиялык түзүмүндөгү негизгиси болуп саналат. Ал чечим кабыл алуучу (адам) тарабынан интервалдык окутуу топтомунун чектерин, тармактык окутуунун стратегияларын өзгөртүү эрежелерин жана ЖНТ үчүн окуунун алгылыктуу натыйжасын түзүү үчүн бапталат.

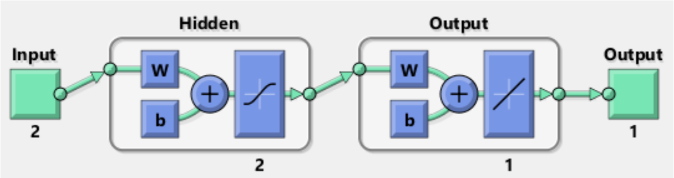
System Model классикалык көп катмарлуу ЖНТ чагылдырган учурда «интервалдык мугалим» менен сунушталган ЖНТ окутуу ыкмасын колдонууну жана Target Model үлгү катары XOR логикалык функциясын колдонуу менен уруксат берилген интервал диапазонунан окутуу топтомунун түзүшүн карап көрөлү. 3.1-таблицада логикалык XOR функциясы үчүн окутуу топтому (x_1, x_2), классикалык $(\hat{y})$ жана интервалдык $(y_{min,}y_{max})$ максат топтомдор берилген.

3.1-таблица – XOR логикалык функциясы

Окутуу топтому		**Максат топтому**		
		Классикалык «мугалим»	**Интервалдык «мугалим»** $\hat{y} \in [y_{min}\ y_{max}]$	
x_1	x_2	$\hat{y}$	y_{min}	y_{max}
0	0	0	-0.49	0.49
1	0	1	0.51	1.49
0	1	1	0.51	1.49
1	1	0	-0.49	0.49

Түз таралган [2-1] тибиндеги көп катмарлуу нейрон тармагы түзүлдү (3.2-сүрөт). Нейрон тармактын архитектурасы эки катмардан турат (биринчи катмарда эки нейрон бар, активдештирүү функциясы сигмоиддүү, экинчи катмарда бир нейрон бар жана активдештирүү функциясы сызыктуу) Окутуу үчүн Левенберг-Марквардттын

окутуу алгоритми тандалып алынган. Бул мисал үчүн, берилген интервалдан окутуу топтомун тандоо (Goal Modification, Target Model) алгоритм боюнча жүргүзүлөт, 3.2-сүрөт.



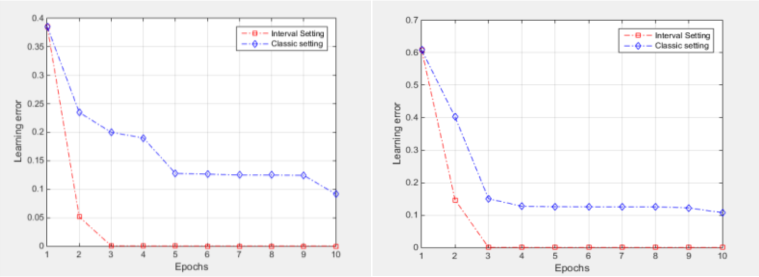
3.2-сүрөт – Нейрондук тармактын архитектурасы

Сунушталган ыкмада, ар бир окуу доорунан кийин, биз нейрондук тармак үчүн кошумча «мугалим» орнотууларын аткарабыз, бир окуу доорунда алынган натыйжаларга жараша төмөнкү эрежелер боюнча:

$$\hat{y} = \begin{cases} y_{min}, & if \quad y \le y_{min} \\ y_{max}, & if \quad y \ge y_{max} \\ y, & if \quad y_{min} < y < y_{max} \end{cases}, \tag{3.1}$$

y_{max}, y_{min} – «мугалимдин» интервалдык диапазону; y – нейрондук тармактын окутуунун натыйжасы; $\hat{y}$ – окутуунун кийинки доору үчүн «мугалим».

XOR логикалык функциясын ишке ашыруу мисалында сунушталган окутуу ыкмасынын эффективдүүлүгү нейрондук тармактын коэффициенттерин ар кандай баштапкы инициализациялоонун мисалдары менен тастыкталган. (3.3-сүрөт).



3.3-сүрөт – Классикалык нейрон тармактын жана интервал максаттары бар нейрон тармактын төрт түрдүү инициализация үчүн үйрөнүү ийри сызыктары.

3.3-сүрөттөн көрүнүп тургандай, нейрондук тармакты кокус инициализациялоонун бардык варианттары үчүн сунушталган «интервалдык мугалим» ыкмасы кепилденген натыйжа менен жогорку окуу ылдамдыгын көрсөттү.

«Модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты куруунун методун иштеп чыгуу» аталган **төртүнчү бөлүмүндө** нейрон тармактын көп деңгээлдүү иерархиялык топологиясын түзүү үчүн детерминисттик стратегия каралат,

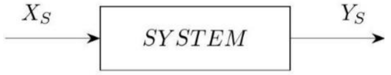
максаттуу топтомду трансформациялоо жол-жобосу, ошондой эле максаттуу топтомдун маалыматтарды кайра жайылтуу алгоритминин синтези көрсөтүлөт. Таралган эсептөө ресурстарын жана изилдөөчүлөрдүн географиялык жактан чачыранды топторун тартуу менен татаал баштапкы маселени асинхрондук түрдө жана мейкиндикте параллелдүү чечүүгө мүмкүндүк берет.

Жетектелген окуу ыкмасында ЖНТ колдонуу менен реалдуу системанын моделин аныктоонун типтүү милдети болуп маселени чечүүгө потенциалдуу жөндөмдүү тармак топологиясын тандоо жана чечимдин тактыгын камсыз кылуучу анын салмактык коэффициенттерин аныктоо саналат.

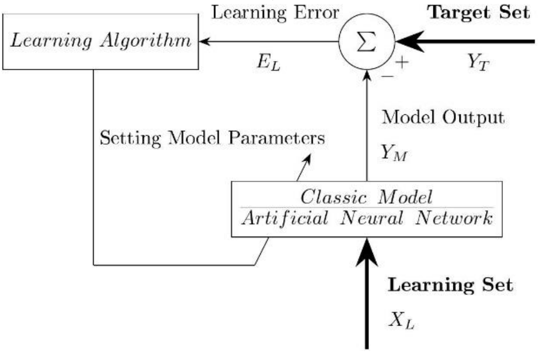
4.1-(а,б) сүрөттөрдө оригиналдуу система жана ЖНТ [1,3,7,8] курулган система моделинин окутуу схемасы көрсөтүлгөн. X_L, Y_L маалымат базасындагы жазуулардын саны N, кириш жана чыгыш сигналдарынын саны тиешелүүлүгүнө жараша n жана m деп болжолдонууда.

ЖНТ окуу процессим (4.1-сүрөт) – моделдин канааттандырарлык сапатын камсыз кылуучу окуу катасын алгылыктуу мааниге чейин азайтуу үчүн моделдин салмактык коэффициенттерин оңдоонун итеративдик процедурасы. Окуу процессинде моделдин параметрлерин инициализациялоо жана коррекциялоо оптималдаштыруу алгоритмдеринин кеңири спектри аркылуу ишке ашырылышы мүмкүн [2,4,5,6,9], аларды тандоо маселенин өзгөчөлүгүнө жараша болот.

Бул макалада «мугалим» менен окутуу ыкмасында ЖНТ курулган компьютер моделин синтездөө боюнча классикалык маселени коёлу. (4.1-сүрөт (а,б).)



а)



b)

4.1-сүрөт – Баштапкы системасында маалымат агымы (а), X_s − киргизүү топтому, Y_s − чыгаруу топтому. ЖНТ боюнча курулган «мугалим» менен моделди

окутуу схемасы (b), $X_L = X_s -$ окутуу топтому, $Y_T = Y_s -$ максаттуу топтом («мугалим» модели), Y_M- үлгү чыгаруу (окутууга жооп), $E_L -$ окуу катасы

Атайын иштелип чыккан алгоритм боюнча иерархиялык структурада өз ара аракеттенген ар кандай типтүү ЖНТ модулдарынан турган көп деңгээлдүү иерархиялык тармакты түзүү аркылуу, сунушталган мамиленин негизги концепциясы начар формалдаштырылган системанын моделин куруу маселесине жакшыртылган чечимдерди алуу аракетине арналат.

Маселени чечүүгө сунушталган ыкманын негизги идеясы эки конфигурациядагы ЖНТ курулган типтүү автономдуу модулдардан турган *көп деңгээлдүү иерархиялык тармак* түрүндөгү система моделин түзүү болуп саналат:

– *координатор* – атайын иштелип чыккан ЖНТ;
– *терминалдык модель* – ар кандай архитектуранын жана окуу процессинин уюштуруунун салттуу ЖНТ (4.1-сүрөт).

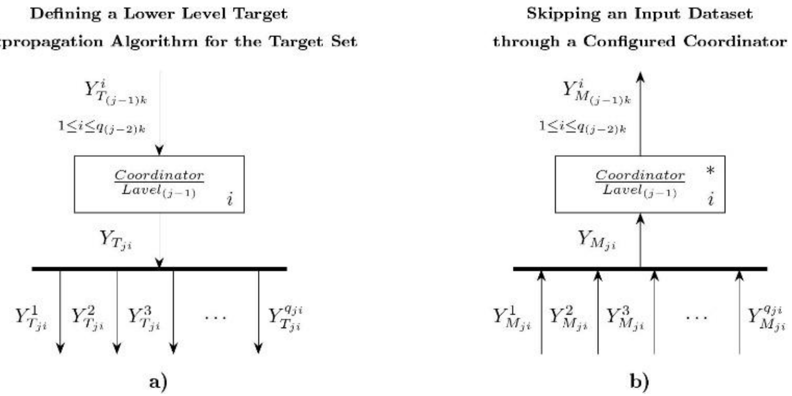
Бул ыкманын негизги идеясы – эки режимде иштей турган атайын иштелип чыккан *"Координатор"* модулу (4.2-сүрөт).

1. «*координация*» режими – иерархиянын кийинки (төмөнкү) деңгээлинин модулдарын окутуу же координациялоо үчүн арналган, реалдуу же ортодогу маселенин максаттуу топтомун максаттуу топтомдорго айлантууга мүмкүндүк берет.
2. «*терминалдык модел»* режими – жогорку деңгээлдин максаттуу топтомун жана иерархиянын төмөнкү деңгээлинин окуу комплексин колдонуу менен, координаторду салттуу түрдө окутууга мүмкүндүк берет (4.2-сүрөт). Бул режимде координатордун ЖНТ, эгерде тармак иерархиясынын төмөнкү деңгээлинин подсистемалары өздөрүнүн компетенциясынын проблемасына алгылыктуу чечимди албаса, аны окутуудан кийин маселенин глобалдык чечилишин жакшыртуу мүмкүнчүлүгүнө ээ болот.

4.2-сүрөттө «Координатор» модулунун иштөөсүнүн эки режими берилген. Бул жерде биз төмөнкү белгини киргиздик (4.2-сүрөт):

– Y_{Tji} – *максатту топтому,* j деңгээлинин модулдары үчүн i иреттүү жерде жайгашкан, (j-1) – деңгээлдеги координатор тарабынан түзүлөт; Y_{Tji}^{l} – *максатту ички топтому,* j деңгээлинин модулдары үчүн i иреттүү 1-орунда жайгашкан, (j-1) – деңгээлдеги координатор тарабынан түзүлөт ($1 \leq l \leq q_{ji}$); q_{ji} – i катардагы орунда жайгашкан, деңгээл координаторуна баш ийген тармактык модулдардын саны (j-1). Анда:

$$Y_{Tji} = Y_{Tji}^{1} \cup Y_{Tji}^{l2} \dots \cup Y_{Tji}^{q_{ji}} \quad (4.1)$$



4.2-сүрөт. «Координатор» модулунун эки иштөө режими (а, б). «Координация» режими (a), үйрөтүлгөн "терминал модели" режими (b) (* - ЖНТ модели үйрөтүлгөн дегенди билдирет)

– $Y^i_{M(j-1)k}$ – i киришине келген k ирееттүү жерде, (j-2) деңгээлдеги координатор үчүн i кезектеги жерде жайгашкан, (j-1) деңгээлдеги координатор тарабынан даярдалган *үйрөтүлгөн ЖНТ чыгышы*, ($1 \leq i \leq q_{(j-2)k}$);

– $q_{(j-2)k}$ – k иреттүү жерде жайгашкан, координатордун (j-2) деңгээлине баш ийген тармактык модулдардын саны. Анда:

$$Y_{M(j-1)k} = Y^1_{M(j-1)k} \cup Y^2_{M(j-1)k} \dots \cup Y^{q(j-2)k}_{M(j-1)k} \quad (4.2)$$

Координатор ЖНТ режими үчүн конфигурацияланган деп эсептелерин эске алса, анда:

1. «Координация» режими (4.2-сүрөт), эгерде кайра багыттоо маалымат жогорудан ылдыйга же ылдыйдан жогоруга агып кетсе (сүрөттө көрсөтүлгөндөй), биз ошол эле натыйжаны алабыз; башкача айтканда, координатор, тармактын синаптикалык байланыштарынын салмактык коэффициенттерин инициализациялоо пунктун маселенин чечилишин камсыз кылуучу керектүү локалдык минимумга мүмкүн болушунча жакындата тургандай түзүлүшү керек;
2. «Терминалдык модел» режими (4.2-сүрөт), эгерде координатордук тармакты салттуу түрдө (4.2-сүрөт), окутуунун натыйжасында (болжолдоо, Y_{Mji} – окутуу топтому, $Y^i_{T(j-1)k}$ – максатту топтому) окуу катасы мүмкүн болгон максималдуу мааниге азаят (тууралыгын көзөмөлдүсүн эске алуу менен), алардын компетенттүүлүгүнүн деңгээлинде баштапкы маселени чечүүнү жакшыртууга мүмкүндүк берет.

Бул ыкманын дагы бир негизги идеясы тармактын иерархиялык уюштуруу түзүмү болот, ал бөлүштүрүлгөн эсептөө ресурстарын жана изилдөөчүлөрдүн

географиялык жактан чачыранды топторун тартуу менен татаал баштапкы маселени убакыт боюнча асинхрондуу жана мейкиндикте параллелдүү чечүүгө мүмкүндүк берет. Белгилей кетчү нерсе, баштапкы тапшырманын максаттуу топтому X_T=X_s (4.1-сүрөт) Башкы Координаторго гана жеткиликтүү болот, анда иерархиянын баш ийген деңгээлдери өз компетенциясынын милдеттерин чечет, алар иерархиянын жогорку деңгээлинин координаторлору тарабынан берилген абстракттуу маалыматтар менен программалык-математикалык манипуляциялар болуп саналат.

Иерархиялык тармактын ар бир модулу, эгерде ал башында аныкталбаса, ал өзүнө баш ийген иерархиялык түзүмү менен координаторбу же анын деңгээлиндеги маселени биротоло чечүүгө арналган түйүндүн терминалдык учу экендигин өз алдынча аныктай алат. Өз деңгээлиндеги ар бир координатор өзүнө баш ийген иерархиялык тармактардын маселесин чечүүнү жакшыртууга, андан кийин жакшыртылган натыйжаны иерархиянын жогорку деңгээлине которууга мүмкүнчүлүгү бар. Терминалдык ЖНТ өз деңгээлиндеги маселенин акыркы чечими үчүн жөн гана чечимди жогорку иерархиялык деңгээлге өткөрүп беришет. Мында конфигурацияланган типтүү иерархиялык тармактык модулдун маалыматын жогорку деңгээлге которуу модулдун өзүнүн структурасын жана конфигурацияланган коэффициенттерин жана ушул модулдун баш ийүүчү тармагынын бардык модулдарын (эгерде алар бар болсо) берүүнү билдирет.

Типтүү автономдуу модулдардан турган жогоруда сүрөттөлгөн көп деңгээлдүү иерархиялык тармактын иштөө режими 4.3-сүрөттө көрсөтүлгөн. 4.3-сүрөттө иерархиялык тармактын катмарлуу координациялоо режими көрсөтүлгөн (маалымат агымы тармак аркылуу жогорудан ылдыйга берилет). Ошондой эле, 4.3-сүрөттө конфигурацияланган иерархиялык тармактын түз иштөөсүнүн акыркы режими көрсөтүлгөн (маалымат агымы тармак аркылуу ылдыйдан жогоруга берилет).

Координатордун моделин классикалык алдыга багыттоочу ЖНТ түрүндө көрсөтөлү (4.4-сүрөт). 4.4-сүрөткө ылайык, ЖНТ k катмардан турат, мында k-кабат ЖНТ кириш катмары болуп эсептелет. Киргизүүчү сигналдардын санын n_k менен белгилейбиз (окутуу киргизүүлөрү). ЖНТ чыгыш катмары биринчи катмар болуп саналат, анда m_1 чыгуу сигналдары бар (окуу натыйжалары). Бул учурда $n_i \geq m_i, \left(i = \overline{1,k}\right)$ теңсиздиги i -кабат үчүн орундалат деп ойлойбуз.

m_k нейрондордон турган ЖНТ k-кабаты үчүн төмөнкү белгилер киргизилген (4.4-сүрөттү караңыз):

– $y_1^k, y_2^k \ldots y_{m_k}^k$ – нейрондордун чыгуу сигналдары;
– $z_1^k, z_2^k \ldots z_{m_k}^k$ – толуктоочунун чыгуу сигналдары;
– AF^k – k -кабаттын нейрондорунун активдештирүү функциясы;
– $b_1^k, b_2^k \ldots b_{m_k}^k$ – ар бир нейронго келүүчү жылдыруучулар (скалярлар);
– $w_{ij}^k, (i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k}$ – нейрондордун салмак коэффициенттери (скалярлар);
– $x_1^k, x_2^k \ldots x_{n_k}^k$ – нейрондордун киргизүү сигналдары.

Активдештирүү функцияларын эске алсак

$$y_i^k = AF^k(z_i^k), i = \overline{1, m_k} \quad (4.3)$$

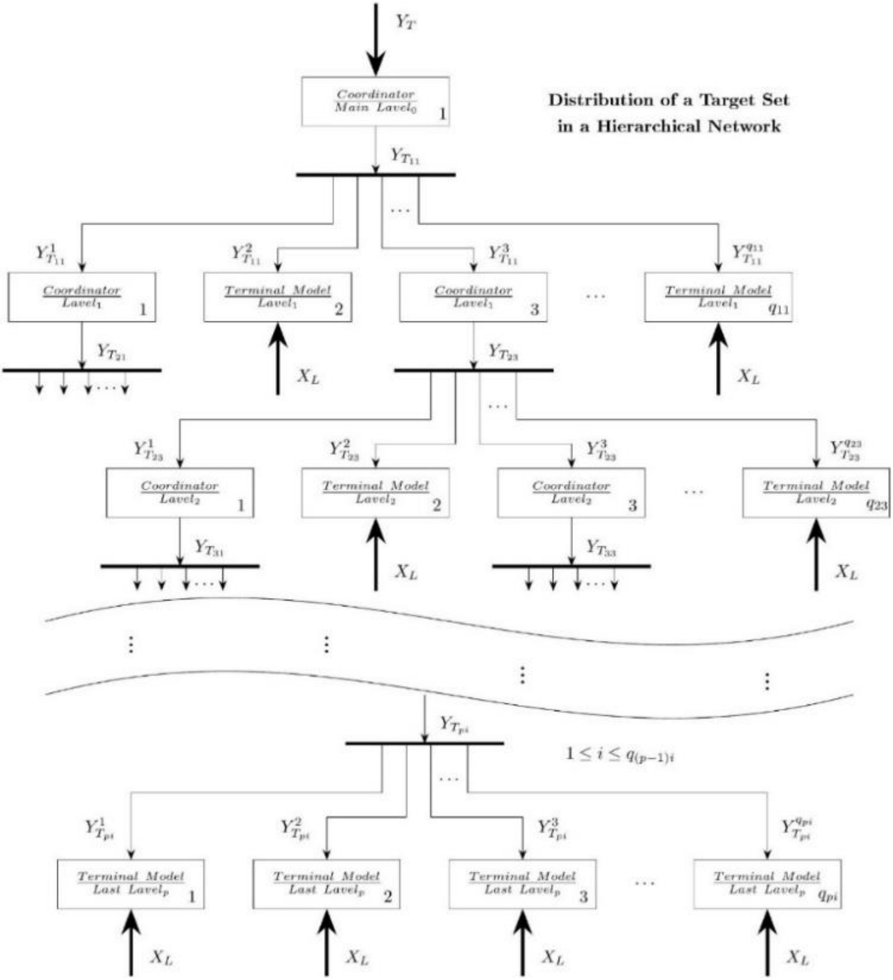
ал, ар бир k-кабат үчүн ар кандай болушу мүмкүн. Адатта, түз таралуучу ЖНТ үчүн чыгуучу (биринчи) катмардын активдештирүү функциясы бирге барабар өткөрүп берүү коэффициенти менен сызыктуу болот; кириш жана аралык катмарлардын активдештирүү функциялары каныккан өзгөчө сызыктуу эмес функциялар болушу мүмкүн, алар нейрон тармагындагы сигналдардын чектелгендигине кепилдик берүү жана ЖНТ окуу процессинде градиент талаасын эсептөөнүн ыңгайлуулугу үчүн өзгөчө касиеттерге ээ болушу керек, мисалы – сигмоиддик логистикалык функция же гиперболикалык тангенс функциясы.

«Координация» режиминде иштеген ЖНТ координаторунун (4.4-сүрөт) k - кабаты үчүн биз баштапкы туруктуу салмактарды аныктоо $b_1^k, w_{ij}^k, (i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k})$ милдетин койолу, ошондо ЖНТ координатору аркылуу жогорудан ылдыйга чейин чыгаруу топтомун $y_1^k, y_2^k \dots y_{m_k}^k$ артка жайылтууда, биз киргизүү топтомун $x_1^k, x_2^k \dots x_{n_k}^k$, алабыз. Ал координатордун ЖНТ мүмкүн болгон (k+1)-кабатына дал келүү үчүн белгилүү бир талаптарга жооп бериши керек же тармак иерархиясынын кийинки баш ийген деңгээли үчүн коюлган максаттуу болушу керек.

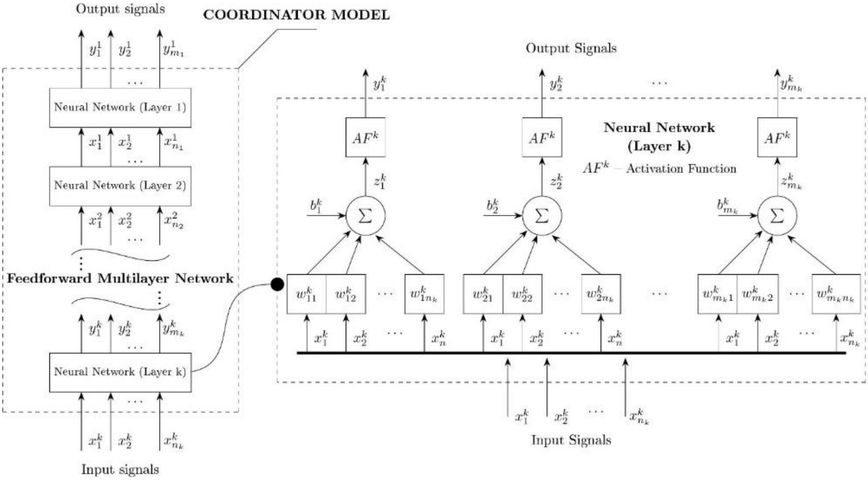
Нөл ката менен маселени чечүүнү камсыз кылуу үчүн, коэффициенттерди мындай тандоо $b_1^k, w_{ij}^k, (i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k})$ параметр мейкиндигиндеги чекиттин тармактык үйрөнүү катасын баалоо функциясынын локалдык минимумуна так түшүшүн камсыздайт. Бул табылган киргизүү топтомунун сигналдары $x_1^k, x_2^k \dots x_{n_k}^k$, тармактын киришине берилип, аларды тармак аркылуу ылдыйдан өйдө көздөй жылдырганда, биз каалаган ЖНТ чыгышын $y_1^k, y_2^k \dots y_{m_k}^k$. алабыз дегенди билдирет.

Башкача айтканда, маалымат агымын жогорудан ылдыйга же ылдыйдан өйдө көздөй багыттоо, биз ушундай эле жыйынтыкка ээ болобуз. Бул факт координациялоо маселесин туура чечууну билдирет.

Тандалган коэффициенттер $b_1^k, w_{ij}^k, (i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k})$ туруктуу бойдон калууга жана кириш жана чыгуу сигналдарына көз каранды болбошу керектигин эске алыңыз.



4.3-сүрөт. – Иерархиялык тармактын көп деңгээлдүү координациялоо режими



4.4-сүрөт. – Көп катмарлуу ЖНТ алдыга жайылуу түрүндөгү координатордун модели

Келечекте, эгерде иерархиянын төмөнкү деңгээлиндеги иерархиялык тармактын конфигурацияланган модулдары ушул деңгээлдеги координатордон $x_1^k, x_2^k \dots x_{n_k}^k$ бир аз айырмаланган чечимди өткөрүп берсе, анда бул бизди кызыктырган жергиликтүү минимумга жакын жерде «терминалдык модел» режиминде орното баштайбыз, бул баштапкы көйгөйдүн чечилишин табуу мүмкүнчүлүгүн бир топ жогорулатат.

4.1-таблицада маалыматтардын топтому (N жазуу) аныкталды. Ал координатордун ЖНТ k-кабаты үчүн максаттуу ички топтомунан Y (чыгыш сигналдары) жана каалаган ички топтомунан X (n_k киргизүү сигналдары) турат.

4.1-таблица – ЖНТ координаторунун к-кабаты үчүн баштапкы жана максаттуу топтомунун белгилениши

Маалыматтардын топтому		
№	**Баштапкы ички топтому X**	**Максатту ички топтому Y**
1	$x_{11}^k, x_{21}^k \dots x_{n_k 1}^k$	$y_{11}^k, y_{21}^k \dots y_{m_k 1}^k$
2	$x_{12}^k, x_{22}^k \dots x_{n_k 2}^k$	$y_{12}^k, y_{22}^k \dots y_{m_k 2}^k$
⋮	⋮ ⋮ ⋯ ⋮	⋮ ⋮ ⋯ ⋮
N	$x_{1N}^k, x_{2N}^k \dots x_{n_k N}^k$	$y_{1N}^k, y_{2N}^k \dots y_{m_k N}^k$

Математикалык жактан жогоруда сүрөттөлгөн маселе төмөнкүчө түзүлөт: ЖНТ координаторунун k-кабаты үчүн туруктуу коэффициенттерди $b_1^k, w_{ij}^k, (i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k})$ эсептөө алгоритмин табуу керек, ал ар бир $(l = \overline{1, N})$ максаттуу топтом $y_{1l}^k, y_{2l}^k \dots y_{m_k l}^k$ үчүн киргизүү топтомун $x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{n_k l}^k$. эсептейт. Ошондой эле максаттуу жана киргизүү топтомдору чектелген деп болжолдонгон:

$$\left|y_{il}^{k}\right| \le y^{k+}, (i = \overline{1, m_k}, l = \overline{1, N}), \tag{4.4}$$

$$x^{k-} \le x_{il}^{k} \le x^{k+}, x^{k+} > x^{k-},\ (j = \overline{1, n_k}, l = \overline{1, N}), \tag{4.5}$$

анда $y^{k+} > 0, x^{k-}, x^{k+}$ – белгилүү константалар.

Башкача айтканда, координатордун ЖНТ коэффициенттерин тандоонун жана түздөн-түз иштөө режиминде талап кылынган Y чыгаруу жыйындысын камсыз кылган X тармагынын кириш комплексин аныктоонун тескери маселесин чечүү керек.

Төмөнкү теореманы далилдейли:

Теорема 1.

Координатордун ЖНТ k-кабатынын чыгыш сигналдары y_{il}^{k} $(i = \overline{1, m_k}, l = \overline{1, N})$ (4.4-сүрөт), чектелген (4.4) жана активдештирүү функциясынын областына таандык AF^k деп алалы. Төмөнкү алгоритм боюнча алдын ала аныкталган чектөөнү (4.5), канааттандырган туруктуу коэффициенттерди $b_1^k, w_{ij}^k, (i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k})$ жана тармактык киргизүүлөрдү $x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{n_k l}^k$, эсептейбиз:

1-кадам) ЖНТ координаторунун k-кабатынын чыгыш сигналдарын активдештирүү функциялары AF^k аркылуу артка жайылтуу менен биз сигналдарды эсептейбиз:

$$\hat{z}_{il}^{k} = (AF^k)^{-1} y_{il}^{k}, (i = \overline{1, m_k}, l = \overline{1, N}), \tag{4.6}$$

где $(AF^k)^{-1}$ – тескери функциясы.

2-кадам) Төмөнкү жол менен координатордун ЖНТ k-кабаты үчүн синаптикалык салмактардын матрицасын $W^k = w_{ij}^k, (i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k}),\ n_k \ge m_k$, фактыны эске алуу менен аныктайбыз:

$$W^k = \begin{bmatrix} w_{11}^k & w_{12}^k & \cdots & w_{1n_k}^k \\ w_{21}^k & w_{22}^k & \cdots & w_{2n_k}^k \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_{m_k 1}^k & w_{m_k 2}^k & \cdots & w_{m_k n_k}^k \end{bmatrix} = \left[\underbrace{\begin{matrix} w^k & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w^k & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w^k \end{matrix}}_{W^{1k}_{m_k \times m_k}} \middle| \underbrace{\begin{matrix} w_{1m_{k+1}}^k & \cdots & w_{1n_k}^k \\ w_{2m_{k+1}}^k & \cdots & w_{2n_k}^k \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ w_{m_k m_{k+1}}^k & \cdots & w_{m_k n_k}^k \end{matrix}}_{W^{2k}_{m_k \times (n_k - m_k)}} \right], \tag{4.7}$$

$$w^k = \frac{2y^{k+}}{(x^{k+} - x^{k-})}, \tag{4.8}$$

y^{k+}, x^{k-}, x^{k+} – туруктуу сандар, (4.4,4.5) берилген, $W^{1k} = w^k I$, анда I – $m_k \times m_k$ өлчөмүнүн бирдик матрицасы, $W^{2k} - m_k \times (n_k - m_k)$ өлчөмүнүн ыктыярдуу туруктуу коэффициенттер менен толтурулган матрицасы.

3-кадам) Тармактын кириштерин $x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{n_k l}^k$ төмөнкүдөй аныктайбыз:

$$x_{il}^{k} = \frac{\left(\hat{z}_{il}^{k} + y^{k+}\right)(x^{k+} - x^{k-})}{(2y^{k+})} + x^{k-},\ \ i = \overline{1, m_k}, j = \overline{1, n_k} \tag{4.9}$$

$$x^{k-} \le x_{jl}^{k} \le x^{k+},\ \ j = \overline{m_{k+1}, n_k} \tag{4.10}$$

– өзүм билемдик менен берилген ыктыярдуу сандар.

4-кадам) Тармактын жылдыруучу коэффициенттерин аныктайбыз b_1^k:

$$b_i^k = -\sum_{\substack{r=1 \\ r\neq i}}^{n_k} w_{ir}^k x_{rl}^k - \frac{y^{k+}(x^{k+}+x^{k-})}{(x^{k+}-x^{k-})},\ i=\overline{1,m_k}, j=\overline{1,n_k}. \quad (4.11)$$

(4.7)-ни эсепке алып, (4.11)-туюнтманы кайра жазабыз:

$$b_i^k = -\sum_{r=m_k+1}^{n_k} w_{ir}^k x_{rl}^k - \frac{y^{k+}(x^{k+}+x^{k-})}{(x^{k+}-x^{k-})},\ i=\overline{1,m_k}, j=\overline{1,n_k}. \quad (4.12)$$

Албетте, эгер (4.10) беренесине ылайык ыктыярдуу маанилер x_{jl}^k, $j=\overline{m_{k+1},n_k}$ бардыгы үчүн ($l=\overline{1,N}$) туруктуу болсо, b_i^k, ($i=\overline{1,m_k}$) коэффициенттер туруктуу бойдон кала берет, андан кийин, эгерде ЖНТ координаторунун k-кабатынын коэффициенттери жана тармактык киргизүүлөр (6-12) ылайык эсептелсе, анда каалаган l ($l=\overline{1,N}$) үчүн бул катмардын киришине $x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{n_k l}^k$ сигналдарын колдонуу менен чыгышта y_{il}^k, ($i=\overline{1,m_k}$). сигналдары байкалат

Далилдөө. Теореманын далили (4.6-4.12) алгоритмдин тескери аткарылышын колдонуу менен, каалаган l ($l=\overline{1,N}$). үчүн бул катмардын киришине $x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{n_k l}^k$ сигналдарын колдонуу менен ишке ашырылат. Бул үчүн 4.4-сүрөткө ылайык сигналдардын маанисин аныктайбыз:

$$\hat{z}_{il}^k = \sum_{j=1}^{n_k} w_{ij}^k x_{jl}^k + b_i^k\ ,(i=\overline{1,m_k}, l=\overline{1,N}), \quad (4.13)$$

Андан ары (4.7-4.10, 4.12) ылайык эсептелген w_{ij}^k и b_i^k коэффициенттеринин маанилерин (4.13) ордуна коюп, биз төмөнкүлөрдү алабыз:

$$z_{il}^k = \frac{(2y^{k+})}{(x^{k+}-x^{k-})}\left[\frac{\left(\hat{z}_{il}^k+y^{k+}\right)(x^{k+}-x^{k-})}{(2y^{k+})} + x^{k-}\right] - \frac{(2y^{k+})(x^{k+}+x^{k-})}{(x^{k+}-x^{k-})} = \hat{z}_{il}^k + +y^{k+} +$$

$$\frac{2y^{k+}x^{k-} - y^{k+}(x^{k+}+x^{k-}))}{(x^{k+}-x^{k-})} = \hat{z}_{il}^k\ , i=\overline{1,m_k}, j=\overline{1,n_k} \quad (4.14)$$

Демек, (4.6) шартын эске алуу менен төмөнкүдөй шарт аткарылат:

$$y_{il}^k = (AF^k)^{-1}\hat{z}_{il}^k, (i=\overline{1,m_k}, l=\overline{1,N}), \quad (4.15)$$

бул теореманы далилдейт.

Эскертүү. Теоремада сунушталган максаттуу топтомдун берилиштерин артка жайылтуу алгоритми киргизүү топтомдун (4.5) чектүүлүгүн талап кылат. Бул талапты сактоо координатордун (4.4-сүрөт), көп катмарлуу ЖНТ аралык катмарларынын иштөө өзгөчөлүктөрүнөн улам зарыл, алардын активдештирүү функциялары AF^k каныккандык менен сызыктуу эмес көз карандылыкка ээ. Бул талапты атайын сейрек формадагы салмактык матрицаны W^k (4.7, 4.8) жана максаттуу топтомдун бүтүндөй топтому (N жазуу) үчүн туруктуу болгон киргизүү сигналдарынын жыйындысын (4.10) түзүү жолу менен аткарууга болот. Бирок, координатордун кириш катмарын (k-катмарын) долбоорлоодо киргизүү топтомунун (4.5) сигналдары чектелүү деген талап ашыкча болуп саналат. Ошондуктан, координатордун кириш (k) катмарын долбоорлоодо, $n_k = m_k$ учуру үчүн, биз төмөнкү формада максаттуу топтомду артка жайылтуу алгоритмин сунуштай алабыз.

Теорема 2

ЖНТ координаторунун $n_k = m_k$, кириш (k) катмарынын чыгыш сигналдары $y_{il}^k, (i = \overline{1, m_k}, l = \overline{1, N})$, чектелген (4.4) жана активдештирүү функциясын AF^k аныктоо областына таандык деп эсептейли (4.4-сүрөт), ал эми ЖНТ координаторунун бардык башка катмарларынын (киргизүүдөн тышкары) коэффициенттери 1-теореманын алгоритмине (4.6-4.12) ылайык эсептелинет.

Тармактын кириш катмарынын туруктуу коэффициентерин w_{ij}^k , b_i^k, $(i = \overline{1, m_k}$, $j = \overline{1, m_k})$, жана анын кириштерин $x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{m_k l}^k$ төмөнкү алгоритмге ылайык эсептеп көрөбүз:

1-кадам) ЖНТ координаторунун k-кабатынын чыгуу сигналдарын активдештирүү функциялары AF^k аркылуу артка жайылтуу алгоритми аркылуу (4.6)-га ылайык векторду $\hat{Z}_l^k = \left[\hat{z}_{1l}^k, \hat{z}_{2l}^k, \cdots \hat{z}_{ml}^k\right]^T, (l = \overline{1, N})$ эсептейбиз.

2-кадам) Координаторунун кириш (k) катмарынын $m_k * m_k$ өлчөмүндөгү W^k синаптикалык салмактарынын квадраттык матрицасын жана $m_k * 1$ өлчөмүндөгү B^k жылышуу векторун ыктыярдуу туруктуу w_{ij}^k жана b_i^k, $(i = \overline{1, m_k}$, $j = \overline{1, m_k})$ коэффициенттер менен. толтурабыз. W^k матрицасы сингулярдуу эмес деп эсептейбиз, $\det(W^k) \neq 0$.

3-кадам)

$$X_l^k = (W^k)^{-1}[\hat{Z}_l^k - B^k] , (l = \overline{1, N}) \tag{4.16}$$

туюнтмага ылайык ЖНТ, тармак кириштерин аныктайбыз $X_l^k = \left[x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{m_k l}^k\right]^T, (l = \overline{1, N})$

Эгерде координатордун ЖНТ k-кабатынын коэффициенттери жана тармактын кириштери жогоруда сүрөттөлгөн алгоритмге (4.6,4.16) ылайык эсептелсе, анда каалаган l $(l = \overline{1, N})$ үчүн бул катмардын киришине $x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{m_k l}^k$ сигналдарын берүү менен, y_{il}^k, $(i = \overline{1, m_k})$.сигналдар чыгышында байкалат деп айтууга болот.

Далилдөө. 2-теореманын далили 1-теореманын далили сыяктуу эле алгоритмдин (4.6-4.16) тескери аткарылышы жана бул катмардын киришине $X_l^k = \left[x_{1l}^k, x_{2l}^k \dots x_{m_k l}^k\right]^T$, $(l = \overline{1, N})$.вектордук сигналды колдонуу менен ишке ашырыбыз. 4.4-сүрөткө ылайык $Z_l^k = \left[z_{1l}^k, z_{2l}^k \dots z_{m_k l}^k\right]^T$сигналынын маанисин аныктайбыз:

$$Z_l^k = W^k X_l^k + B^k , (l = \overline{1, N}). \tag{4.17}$$

Андан ары (4.16) туюнтмасын (4.17) ордуна коюп, төмөнкү байланышты алабыз

$$Z_l^k = \hat{Z}_l^k, (l = \overline{1, N}) \tag{4.18}$$

мындан (4.6) эске алуу менен (4.15) шарттын аткарылышы келип чыгат, бул теореманы далилдейт.

Ошентип, 1 жана 2-теоремаларда далилденген натыйжаларга ылайык, максаттуу топтомдун артка жайылтуу алгоритмине (4.6-4.16) ылайык координатордун ЖНТ коэффициенттерин тандоо «координациялоо» режиминде ЖНТ координаторунун иштешин камсыз кылат (4.2 а-сүрөт).).

Эскертүү. Максаттуу топтомдун артка жайылтуу алгоритминин биринчи кадамын аткаруу (1,2-теоремалар) (4.6) ЖНТ координаторунун ыктыярдуу катмарынын y=AF(z) катышы үчүн тескери активдештирүү функциясын AF^{-1} эсептөөнү талап кылат. Бул үчүн AF активдештирүү функциясы анын аныктоо чөйрөсүндө бир мааниге ээ болушу керек. Мисалы, AF активдештирүү функциясы төмөнкү болсо:

– сызыктуу $AF \equiv 1$, анда

$$y=z, \Rightarrow \hat{z} = y \tag{4. 19}$$

– сызыктуу эмес, логистикалык сигмоид түрүндө $y \in [0,1]$, анда

$$y = \frac{1}{1+\exp(-z)}, \Rightarrow \hat{z} = \ln[\frac{y}{1-y}] \tag{4.20}$$

– сызыктуу эмес, гиперболалык тангенс түрүндө $y \in [-1,1]$, анда

$$y = \frac{1}{1+\exp(-2z)}, \Rightarrow \hat{z} = -\frac{1}{2}\ln[\frac{1-y}{1+y}] \tag{4.21}$$

Эскертүү, кийинки катмардын активдештирүү функциясына жараша, ЖНТ координаторунун кирүүчү катмардан башка бардык катмарларын куруу үчүн (4.4-сүрөт), i-кабаттын кириш топтомуна (4.5) ылайык x^{i-}, x^{i+}, $(i = \overline{1, k-1})$ интервалдык чектер түрүндөгү чектөөлөрдү коюу керек.

«Модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармак үчүн интервалдык максатты коюу үчүн интеллектуалдык алгоритмдердин синтези» аталган **бешинчи бөлүмүндө** диссертациянын төртүнчү главасында сунушталган модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты куруу ыкмасын ишке ашырууда интервалдык максатты коюу менен үчүнчү главада сунушталган ЖНТокутуу алгоритмин колдонуу каралат. Бул эки ыкманы айкалыштыруунун негизги концепциясы татаал формалдаштырылган системанын моделин куруу маселесин чечүүнүн жолун өркүндөтүү идеясына арналган:

– атайын иштелип чыккан алгоритм боюнча иерархиялык түзүмдө өз ара аракеттенүүчү интервалдык максаттуу орнотуулары бар ар кандай типтүү ЖНТ модулдарынан турган көп деңгээлдүү иерархиялык тармакты түзүү (4-главаны караңыз);
– системанын иштешине кошумча талаптардын негизинде берилген интервалдан ЖНТ түзүү процессинде конкреттүү «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашыруучу системалык структураны түзүү (3-главаны караңыз);
– системанын иштешине кошумча талаптардын негизинде белгиленген интервалдан нейрондук тармакты түзүү процессинде конкреттүү «мугалимди» тандоо концепциясын ишке ашыруу (3-главаны караңыз);
– таралган эсептөө ресурстарын жана изилдөөчүлөрдүн географиялык жактан чачыранды топторун тартуу менен татаал баштапкы маселени асинхрондуу убакытта жана мейкиндикте параллелдүү чечүү.

Интервалдык максат коюу менен ЖНТ окутуу алгоритмдерин колдонуу менен модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты куруууга бул ыкманы ишке ашыруу логикалык XOR функциясынын ЖНТ синтездөөнүн эң жөнөкөй маселесин чечүү мисалында көрсөтүлгөн (5.1-таблица).

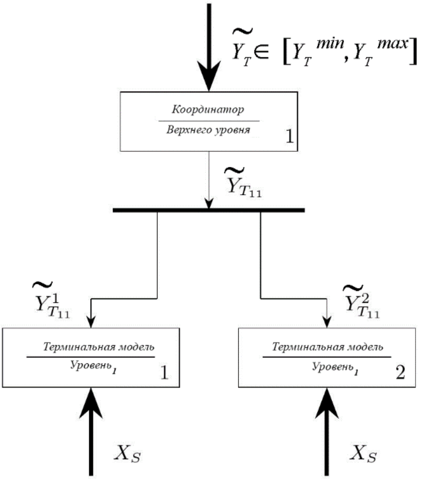
Үч киргизүү үчүн XOR логикалык функциясынын ЖНТ синтезинин эң жөнөкөй маселесин чечүү аркылуу интервалдык максат коюу менен ЖНТ окутуу алгоритмдерин колдонуу менен модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты куруууга сунушталган ыкманын натыйжалуулугун көрсөтөбүз. (5.1-таблица).

5.1-таблица – 3 киргизүү үчүн «XOR» чындык таблицасы

Маалыматтардын топтому				
№	X_s			Y_s
	x_1	x_2	x_3	y
1	0	0	0	0
2	0	0	1	1
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0
5	1	0	0	1
6	1	0	1	0
7	1	1	0	0
8	1	1	1	1

Сунушталган ыкмага ылайык, трансформациялоо үчүн Y_s баштапкы максаттуу топтомуна жетүү мүмкүнчүлүгү бар негизги координатордон турган эки деңгээлдүү структура формасында координациялоо режиминде иштеген модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты аныктайбыз, жана биринчи деңгээлдеги эки терминалдык моделдер, алар X_s баштапкы окуу топтомдорун алууга мүмкүнчүлүгү бар (5.1-сүрөт).

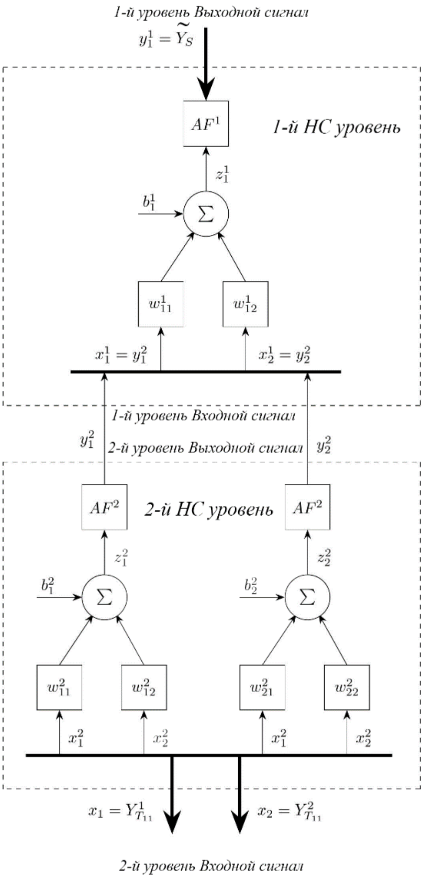
Башкы координатордун синтези. 5.1-сүрөткө ылайык «Башкы координатордун» түзүмүн түз таралуунун эки катмарлуу нейрондук тармагы түрүндө белгилейли (5.2-сүрөт). Андан ары, сунушталган ыкмага ылайык, 1 жана 2-теоремаларга ылайык эки катмарлуу ЖНТ координаторунун параметрлерин аныктайбыз (5.2-сүрөттү караңыз).



5.1-сүрөт. – Үч кириш үчүн XOR логикалык функциянын ЖНТ синтездөө маселеси үчүн иерархиялык тармактын эки деңгээлдүү координациясынын режими

(4.5), 5.1-таблицага жана $y_l^1 \leq 2, (\, l = \overline{1,8})$ максаттуу топтомго ылайык биз төмөнкүлөрдү аныктайбыз:

– $\mathrm{y}^{l+} = 2$ – баштапкы максаттуу топтомго Y_sчектөө;
– сызыктуу функция түрүндө ЖНТ биринчи катмарынын активдештирүү функциясы (AF^1) (4.19);
– сызыктуу эмес функция түрүндө ЖНТ экинчи катмарынын активдештирүү функциясы (AF^2) (4.21);
– ЖНТ координаторунун биринчи катмарынын кириш топтомуна чектөө (ЖНТ координаторунун кириш катмарынын гиперболалык тангенсинин активдештирүү функциясынын чектелгендиги) $-0.8 \leq x_{jl}^1 \leq 0.8, x^{k-} = -0.8, (\, j = \overline{1,2},\ l = \overline{1,8})$.



5.2-сүрөт – Координациялык режимде иштеген эки катмарлуу ЖНТ түрүндөгү «Башкы координатордун» түзүмү

Андан кийин, 1-теоремада сунушталган алгоритмге ылайык, биз ЖНТ координаторунун чыгуучу (сызыктуу) катмарынын параметрлерин аныктайбыз:

1. AF^1 активдештирүү функциялары аркылуу ЖНТ координаторунун биринчи катмарынын чыгышынын сигналдарынын (4.6) артка жайылтуу менен төмөнкү сигналдарды эсептейбиз. $z_{1l}^2 = (AF^1)^{-1}\, y_l^1$, $(l = \overline{1{,}8})$; $y_l^1 = 1 \Rightarrow z_l^1 = 1$, $y_l^1 = 0 \Rightarrow z_l^1 = 0$;
2. ЖНТ координаторунун биринчи катмары үчүн синаптикалык салмактардын $\mathrm{w}_{\mathrm{lj}}^1$, $(l = \overline{1{,}2})$ матрицасын төмөнкүдөй аныктайбыз (4.7,4.8): $\mathrm{w}_{11}^1 = \frac{2*1}{0.8+0.8} = 2.50$, $\mathrm{w}_{12}^1 = 1.3788 -$ ыктыярдуу кокус сан;

3. ЖНТ координаторунун биринчи катмарынын кириштерин x_1^1, x_2^1 төмөнкүдөй аныктайбыз (4.9,4.10): $x_{1l}^1 = \frac{(z_l^1+1)*(0.8+0.8)}{2*1} - 0.8, (l = \overline{1,8}),\quad z_l^1 = 0 \Rightarrow x_l^1 = 0$, $z_l^1 = 0.8 \Rightarrow x_l^1 = 0.8$; $x_{2l}^1 = -0.4945, (l = \overline{1,8}),$ – ыктыярдуу кокус сан $-0.8 \leq -0.4945 \leq 0.8$;

4. ЖНТ координаторунун биринчи катмарынын жылышуу коэффициентин аныктайбыз: b_1^1 (4.11, 4.12): $b_1^1 = 0.4945 * 1.3788 - \frac{1*(0.8-0.8)}{0.8+0.8} = 0.6818$.

Координатордун биринчи катмарынын ЖНТ синтездөөнүн натыйжалары 5.2-таблицада көрсөтүлгөн.

Эми, 2-теоремада сунушталган алгоритмге ылайык, биз ЖНТ координаторунун кириш (сызыктуу) катмарынын параметрлерин аныктайбыз:

1. AF^2 активдештирүү функциялары аркылуу ЖНТ координаторунун экинчи катмарынын чыгышынын сигналдарын (4.6) артка жайылтуу жолу менен төмөнкү сигналдарды (4.21) эсептейбиз:

$$z_{1l}^2 = (AF^2)^{-1}\, y_{1l}^2,$$
$$z_{2l}^2 = (AF^2)^{-1}\, y_{2l}^2, (l = \overline{1,8}),\ \text{так для}$$
$$y_1^2 = 0 \Rightarrow z_1^2 = 0,\ y_1^2 = 0.8 \Rightarrow z_1^2 = 1.0986,$$
$$y_2^2 = -0.4945 \Rightarrow z_2^2 = -0.5419;$$

2. ЖНТ координаторунун экинчи катмары үчүн синаптикалык салмактардын жана жылышуу коэффициентердин кокус матрицаларын түзөбүз:

$$\begin{bmatrix} w_{11}^2 & w_{12}^2 \\ w_{21}^{21} & w_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.4622 & -5.7846 \\ -9.4776 & 2.3684 \end{bmatrix}, B^2 = \begin{bmatrix} b_1^2 \\ b_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.0343 \\ 2.4026 \end{bmatrix}.$$

3. $X_l^2 = [x_{1,l}^2, x_{2l}^2]^2,\ l = \overline{1,8}$ тармагынын кириштерин аныктайбыз, алар ошондой эле (4.16) туюнтмасына ылайык $x_1^2 = Y_{T_{11}}^1$, $x_2^2 = Y_{T_{11}}^2$ тармагынын координациялоочу чыгыштары болуп саналат:

$$\begin{bmatrix} Y_{T_{11}}^1 \\ Y_{T_{11}}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11}^2 & w_{12}^2 \\ w_{21}^{21} & w_{22}^2 \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} z_1^2 \\ z_2^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b_1^2 \\ b_2^2 \end{bmatrix} \right\},\ l = \overline{1,8}.$$

5.2-таблица – ЖНТ координаторунун биринчи катмарынын жыйынды таблицасы

№	**ЖНТ координаторунун 1-кабатынын параметрлери**				
	$w_{11}^1 = 1.25, w_{12}^1 = 1.3788,\ b_1^1 = 0.6818$				
	X_s, (1-кабаттын кириштери)		Y_s(Чыгыштары) Классикалык «мугалим»	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$	
	$\mathbf{x_1^1}$	$\mathbf{x_2^1}$	y	y_{min}	y_{max}
1	0	-0.4945	0	-0.49	0.49
2	0.8	-0.4945	1	0.51	1.49

3	0.8	-0.4945	1	0.51	1.49
4	0	-0.4945	0	-0.49	0.49
5	0.8	-0.4945	1	0.51	1.49
6	0	-0.4945	0	-0.49	0.49
7	0	-0.4945	0	-0.49	0.49
8	0.8	-0.4945	1	0.51	1.49

Эми $z_1^2 = 0,\ z_2^2 = -0.5419$, учуру үчүн эсептеп көрөлбүз, ал баштапкы максаттуу топтомго, тармактын координациялоочу натыйжаларынын маанилерине туура келет

$$\mathrm{x}_1^2 = Y_{T_{11}}^1, \mathrm{x}_2^2 = Y_{T_{11}}^2:$$

$$\begin{bmatrix} Y_{T_{11}}^1 \\ Y_{T_{11}}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.4622 & -5.7846 \\ -9.4776 & 2.3684 \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ -0.5419 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -8.0343 \\ 2.4026 \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} -0.0505 \\ -1.4453 \end{bmatrix}$$

$y_1^l = 1$ баштапкы максаттуу топтомуна туура келген $z_1^2 = 1.0986, z_2^2 = -0.5419$ учуру үчүн тармактын координациялоочу натыйжаларынын маанилери

$$\mathrm{x}_1^2 = Y_{T_{11}}^1, \mathrm{x}_2^2 = Y_{T_{11}}^2:$$

$$\begin{bmatrix} Y_{T_{11}}^1 \\ Y_{T_{11}}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.4622 & -5.7846 \\ -9.4776 & 2.3684 \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} 1.0986 \\ -0.5419 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -8.0343 \\ 2.4026 \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} -0.1163 \\ -1.7088 \end{bmatrix}$$

Координатордун экинчи катмарынын ЖНТ синтездөөнүн натыйжалары 5.3-таблицада көрсөтүлгөн. Бул учурда эки катмарлуу координатордун структурасынын синтези толук деп эсептелет, ал мурда көрсөтүлгөн бардык касиеттерге ээ. Андан ары биз эки терминалдык моделден турган биринчи деңгээлдеги терминалдык иерархиялык тармакты түзүүгө киришебиз (5.1-сүрөттү караңыз). Биринчи терминал модели үчүн $Y_{T_{11}}^1$, ал эми экинчиси үчүн – $Y_{T_{11}}^2$. максаттуу топтомун коёлу. Биринчи деңгээлдеги иерархиялык тармактын эки терминалдык модели үчүн окутуу жана максаттуу топтомдор 5.4-таблицада көрсөтүлгөн.

5.3-таблица – ЖНТ координаторунун экинчи катмарынын жыйынды таблицасы

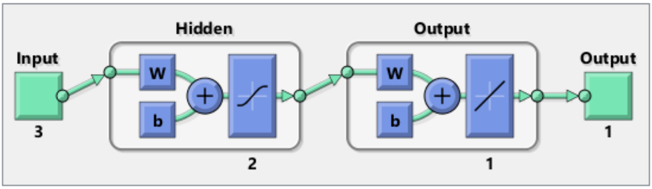
<table>
<tr><td colspan="6">ЖНТ координаторунун 2-кабатынын параметрлери</td></tr>
<tr><td colspan="6">$\begin{bmatrix} \mathrm{w}_{11}^2 & \mathrm{w}_{12}^2 \\ \mathrm{w}_{21}^{21} & \mathrm{w}_{22}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.4622 & -5.7846 \\ -9.4776 & 2.3684 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \mathrm{b}_1^2 \\ \mathrm{b}_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.0343 \\ 2.4026 \end{bmatrix}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">№</td><td colspan="2">ЖНТ 2-деңгээли үчүн максаттуу топтому</td><td colspan="2">Y_s (Чыгыштары)</td><td>$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$</td></tr>
<tr><td>$\mathrm{x}_1^2 = Y_{T_{11}}^1$</td><td>$\mathrm{x}_2^2 = Y_{T_{11}}^2$</td><td>$y_1^1$</td><td>$y_{min}$</td><td>$y_{max}$</td></tr>
</table>

1	-0.0505	-1.4453	0	-0.49	0.49
2	-0.0759	-1.5469	1	0.51	1.49
3	-0.0759	-1.5469	1	0.51	1.49
4	-0.0505	-1.4453	0	-0.49	0.49
5	-0.0759	-1.5469	1	0.51	1.49
6	-0.0505	-1.4453	0	-0.49	0.49
7	-0.0505	-1.4453	0	-0.49	0.49
8	-0.0759	-1.5469	1	0.51	1.49

5.4-таблица – Биринчи деңгээлдеги иерархиялык тармактын эки терминалдык модели үчүн окутуу жана максаттуу топтомдор

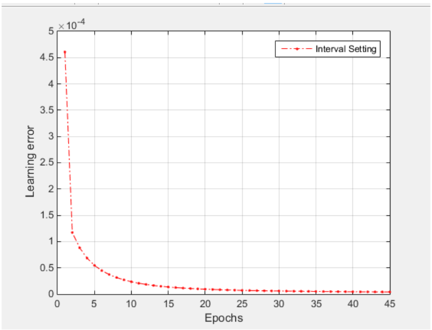
	Эки терминалдык моделдер үчүн окутуу жана максаттуу топтомдор (T, $M_{1.2}$)								
№	X_s			TM_1 $Y^1_{T_{11}}$	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$	TM_2 $Y^2_{T_{11}}$	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$	Y_s y^1_1	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$
	x_1	x_2	x_3	$Y^1_{T_{11}}$	$\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$	$Y^2_{T_{11}}$	$\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$	y^1_1	$\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$
1	0	0	0	-0.05	[-0.06 - 0.03]	-1.44	[-1.49 - 1.39]	0	[-0.49 0.49]
2	0	0	1	-0.07	[-0.09 -0.06]	-1.54	[-1.61 - 1.49]	1	[0.51 1.49]
3	0	1	0	-0.07	[-0.09 -0.06]	-1.54	[-1.61 - 1.49]	1	[0.51 1.49]
4	0	1	1	-0.05	[-0.06 - 0.03]	-1.44	[-1.49 - 1.39]	0	[-0.49 0.49]
5	1	0	0	-0.07	[-0.09 -0.06]	-1.54	[-1.61 - 1.49]	1	[0.51 1.49]
6	1	0	1	-0.05	[-0.06 - 0.03]	-1.44	[-1.49 - 1.39]	0	[-0.49 0.49]
7	1	1	0	-0.05	[-0.06 - 0.03]	-1.44	[-1.49 - 1.39]	0	[-0.49 0.49]
8	1	1	1	-0.07	[-0.09 -0.06]	-1.54	[-1.61 - 1.49]	1	[0.51 1.49]

Биринчи деңгээлдеги иерархиялык тармак үчүн терминалдык моделдердин синтези. 5.1-сүрөткө ылайык, биз биринчи жана экинчи терминалдык моделдердин бирдей структураларын үч кириши жана бир чыгышы менен түз таралуунун эки катмарлуу ЖНТ түрүндө орнотобуз (5.3-сүрөт). Терминалдык моделдердин ЖНТ биринчи катмарында гиперболалык тангенс активдештирүү функциясы бар эки нейрон, экинчи катмарда сызыктуу активдештирүү функциясы бар бир нейрон бар.

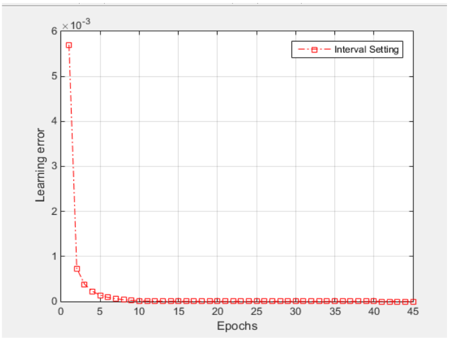


5.3-сүрөт. – «Интервалдык мугалими» менен эки катмарлуу ЖНТ түрүндөгү биринчи жана экинчи терминалдык моделдердин түзүмү

Биринчи жана экинчи терминалдык моделдердин ЖНТ коэффициенттери туш келди инициализацияланган, тармактар Левенберга-Марквардт ыкмасы менен конфигурацияланган. Биринчи жана экинчи терминалдык моделдерди тууралоонун натыйжалары тиешелүүлүгүнө жараша 5.4 жана 5.5-сүрөттөрүндө көрсөтүлгөн.



5.4-сүрөт – Биринчи терминал модели үчүн ката өзгөртүү динамикасы



5.5-сүрөт – Экинчи терминал модели үчүн ката өзгөртүү динамикасы

Биринчи терминалдык моделдин окутуу катасы кыйла төмөн деңгээлге түшкөндүгүнө карабастан, ал моделдин туура чечилишинин пайызынын төмөндүгүнө байланыштуу өз деңгээлиндеги тапшырманы аткара алган жок, 5.5-таблица.

5.5-таблица – Биринчи терминалдык моделдин интервалдык окутуунун натыйжалары

№	TM_1 Чыгуу	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$		Интервалдык окутуунун жыйынтыгы $Y^1_{T_{11}}$
	$Y^1_{T_{11}}$	y_{min}	y_{max}	1 – диапазондо 0 – диапазондон тышкары
1	-1.48660	-1.49300	-1.39800	1
2	-1.51390	-1.61000	-1.49500	1
3	-1.49500	-1.61000	-1,49500	0
4	-1.49300	-1.49300	-1.39800	0
5	-1.51250	-1.61000	-1.49500	1
6	-1.49300	-1.49300	-1.39800	0
7	-1.49300	-1.49300	-1.39800	0
8	-0.06950	-0.09200	-0.06300	1
Биринчи терминалдык моделдин интервалдык окутуунун натыйжасы				50%

Экинчи терминалдык моделдин окутуу катасы, ошондой эле биринчи учурда, кыйла төмөн деңгээлге түштү, 5.5-сүрөттү караңыз, бирок туура чечимдин төмөн пайызынан улам өз деңгээлиндеги тапшырманы аткара алган жок, 5.6-таблица. .

5.6-таблица – Экинчи терминалдык моделдин интервалдык окутуунун натыйжалары

№	TM_2 Чыгуу	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$		Интервалдык окутуунун жыйынтыгы $Y^2_{T_{11}}$
	$Y^2_{T_{11}}$	y_{min}	y_{max}	1 – диапазондо 0 – диапазондон тышкары
1	-0.05950	-0.06200	-0.03900	1
2	-0.06140	-0.09200	-0.06300	0
3	-0.06260	-0.09200	-0.06300	0
4	-0.06360	-0.06200	-0.03900	0
5	-0.06350	-0.09200	-0.06300	1
6	-0.06160	-0.06200	-0.03900	1
7	-0.06290	-0.06200	-0.03900	0
8	-0.06950	-0.09200	-0.06300	1

Экинчи терминалдык моделдин интервалдык окутуунун натыйжасы	50%

Түз иштетүү режимин эки деңгээлдүү иерархиялык тармак аркылуу биринчи деңгээлдеги конфигурацияланган терминалдык моделдер менен жана окуутулбаган «Башкы координатор», X_s. киргизүү жыйындысы аркылуу ишке ашырабыз. 5.7-таблицада интервалдык машыгуунун натыйжалары келтирилген.

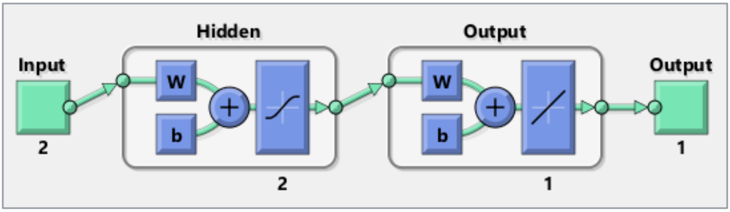
5.7-таблица – Окуутулбаган «Башкы координатор» менен эки деңгээлдүү иерархиялык тармактын интервалдык окутуунун жыйынтыгы.

№	Координатордун кириши (TM_1)чыгышы	Координатордун кириши (TM_1)чыгышы	Координатордун чыгышы	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$		Интервалдык окутуунун жыйынтыгы
	$x_1^2 = Y_{T_{11}}^1$	$x_2^2 = Y_{T_{11}}^2$	$\widetilde{Y_T}$	y_{min}	y_{max}	1 – диапазондо 0 – диапазондон тышкары
1	-1.486	-0.059	0.4340	-0.4900	0.4900	1
2	-1.513	-0.061	0.7283	0.5100	1.4900	1
3	-1.495	-0.062	0.5124	0.5100	1.4900	1
4	-1.493	-0.063	0.4841	-0.4900	0.4900	1
5	-1.512	-0.063	0.7024	0.5100	1.4900	1
6	-1.493	-0.061	0.4951	-0.4900	0.4900	0
7	-1.493	-0.062	0.4877	-0.4900	0.4900	1
8	-0.069	-0.069	0.4748	0.5100	1.4900	0
Окуутулбаган «Башкы координатор» менен эки деңгээлдүү иерархиялык тармактын интервалдык окутуунун натыйжасы.						80%

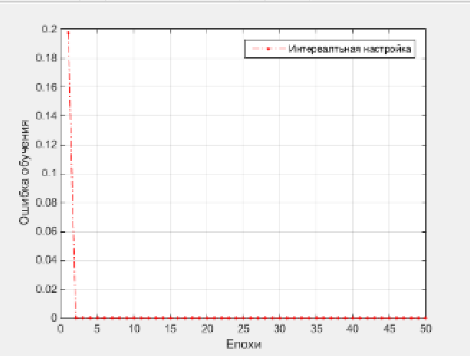
5.7-таблицадан көрүнүп тургандай, биринчи деңгээлдеги үйрөтүлгөн терминалдык моделдер жана окутулбаган «Башкы координатор» аркылуу түз берилиштер режиминде, иерархиялык тармактын туура чечиминин пайыздык көрсөткүчү (80%) терминалдык моделдерге салыштырмалуу жогорулайт. Бул факт «Башкы координатордун» туура түзүлүшү жөнүндө күбөлөндүрөт, ал иерархиялык тармактын жалпы натыйжасын оңдоосуз да жакшыртат.

«Башкы координаторду» түзүү. Көп деңгээлдүү иерархиялык тармактын синтезине сунушталган ыкмага ылайык, биринчи деңгээлдеги конфигурацияланган

терминалдык моделдер менен маалыматтарды берүү режиминде «Башкы координаторду» коюу менен баштапкы маселенин чечилишин жакшыртуу зарыл. Синтездин биринчи этабында «Башкы координатордун» түзүмү (5.2-сүрөттү караңыз) жана параметрлери (5.3-5.6-таблицаларды караңыз) мурда эле аныкталган. Структура эки кириш жана бир чыгуусу бар эки катмарлуу ЖНТ катары берилген (5.6-сүрөт). «Башкы координатордун» ЖНТ биринчи катмарында гиперболалык тангенстин активдештирүү функциясы бар эки нейрон, экинчи катмарында сызыктуу активдештирүү функциясы бар бир нейрон бар. Терминалдык моделдер сыяктуу эле, биз Левенберг-Марквардт ыкмасын колдонуу менен «Башкы координатордун» ЖНТ орнотобуз.



5.6-сүрөт – Башкы координатордун түзүмү «интервал мугалими» менен эки катмарлуу түз жайылтуу ЖНТтүрүндө



5.7-сүрөт – Конфигурацияланган башкы координатору бар эки деңгээлдүү иерархиялык тармак үчүн ката өзгөрүү динамикасы

5.8-таблица – Окуутулган «Башкы координатор» менен эки деңгээлдүү иерархиялык тармактын интервалдык окутуусунун натыйжасы.

№	Координатордун кириши (TM_1чыгышы)	Координатордун кириши (TM_2 чыгышы)	Координатордун чыгышы	$\widetilde{Y_T}$ Интервалдык максат $\widetilde{Y_T} \in [y_{min}\ y_{max}]$		Интервалдык окутуунун жыйынтыгы
	$x_1^2 = Y_{T_{11}}^1$	$x_2^2 = Y_{T_{11}}^2$	$\widetilde{Y_T}$	y_{min}	y_{max}	1 – диапазондо 0 – диапазондон тышкары
1	-1.48660	-0.05950	0.4219	-0.4900	0.4900	1
2	-1.51390	-0.06140	0.7143	0.5100	1.4900	1
3	-1.49500	-0.06260	0.5111	0.5100	1.4900	1
4	-1.49300	-0.06360	0.4895	-0.4900	0.4900	1
5	-1.51250	-0.06350	0.6991	0.5100	1.4900	1
6	-1.49300	-0.06160	0.4900	-0.4900	0.4900	1
7	-1.49300	-0.06290	0.4897	-0.4900	0.4900	1
8	-0.06950	-0.06950	0.5100	0.5100	1.4900	1
Окуутулган «Башкы координатор» менен эки деңгээлдүү иерархиялык тармактын интервалдык окутуунун натыйжасы.						100%

Конфигурацияланган «Башкы координатору» бар эки деңгээлдүү иерархиялык тармак үчүн катанын өзгөрүү динамикасы, (5.7-сүрөт) катанын кыйла төмөн көрсөткүчкө жеткенин көрсөтүп турат. 5.8-таблицада келтирилген «Башкы координатордун» ЖНТ окуутунун жыйынтыгы боюнча, конфигурацияланган эки деңгээлдүү иерархиялык тармак интервалдык окутуунун 100% натыйжасын көрсөткөн үч киргизүү үчүн логикалык XOR функция моделин толугу менен калыбына келтиргендигин көрүүгө болот.

Ошентип, аткарылган сандык симуляция сунушталган ыкманы синтездөөнүн этап-этабы менен ыкмасын көрсөтөт жана аны колдонуунун бардык жарыяланган жана күтүлгөн натыйжаларын ырастайт.

«Медициналык диагностика маселелеринде нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруу үчүн алгоритмдерди колдонуу»

аталган **алтынчы бөлүмүндө** медициналык диагностиканын милдеттери үчүн интеллектуалдык классификация системалары берилген: өнөкөт бөйрөк оорулары, кант диабети, эмчек рагы жана жүрөк-кан тамыр оорулары. Интеллектуалдык системалар үчүн иштелип чыккан программалык камсыздоо жана алгоритмдик колдоо диссертацияда сунушталган жана сүрөттөлгөн ыкмаларды жана ыкмаларды колдонгон нейрондук тармак моделдерине негизделген.

Биз клеткалардын үлгүлөрүнүн сыпаттамасына ылайык залалдуу шишикти залалдуу эмес түзүлүштөрдөн классификациялоонун интеллектуалдык системасынын мисалында нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруу алгоритмдерин колдонууну көрсөтөбүз (Wisconsin Breast Cancer Database). Бул эмчек рагы маалымат базасы Wisconsin University, Medisson ооруканасында доктор William H. Volberg (1992) алынган. Окутуу жана максаттуу топтомдор 6.1-таблицада көрсөтүлгөн.

6.1-таблица – Зыяндуу эмес формациялардан залалдуу шишиктин медициналык классификаторун синтездөө маселеси үчүн киргизүү топтомдору

	Окутуу топтому										Максат топтому	
№	Катмардын калыңдыгы	Клетка өлчөмүнүн бир тектүүлүгүнүн даражасы	Клетканын бирдейлик даражасы	Адгезия маржиналдуулук даражасы	Эпителийдин жалгыз клеткаларынын өлчөму	Бош өзөктөрдүн саны	Хроматин	Нормалдуу ядролор	Митоздор	Классикалык «мугалим»	«Интервалды кмугалим» $\hat{y} \in [y_{min}\ y_{max}]$	
											y_{min}	y_{min}
1	5	1	1	1	2	1	3	1	1	0	-0.49	0.49
2	5	4	4	5	7	10	3	2	1	0	-0.49	0.49
3	3	1	1	1	2	2	3	1	1	0	-0.49	0.49
…												
682	10	7	7	6	4	10	4	1	2	1	0.51	1.49
683	6	1	1	1	2	1	3	1	1	0	-0.49	0.49

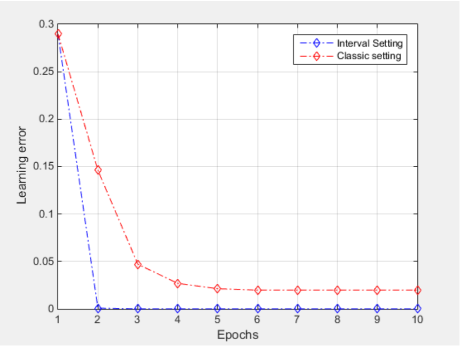
Таблицадан көрүнүп тургандай, окуу үлгүсү 683 жазуудан турат. Киргизилген маалыматтар окуутуга (554), валидацияга (61) жана сыноого (68) бөлүнгөн.

Эксперимент үчүн киргизүү параметрлеринин бирдей инициализациясы менен эки көп катмарлуу нейрон тармактары түзүлгөн. ЖНТ архитектурасы эки катмардан турат (биринчи катмарда 2 нейрон, активдештирүү функциясы сигмоиддик, экинчи

катмарда бир нейрон жана сызыктуу активдештирүү функциясы бар). Окутуу үчүн Левенберг-Марквардт ыкмасы тандалып алынган. Бул маселе үчүн берилген интервалдан машыгуу топтомун тандоо алгоритм боюнча ишке ашырылат (Goal Modification, Target Model, 3-глава). Сунушталган методологияга ылайык ыкмада максаттуу топтомдор түзүлдү (6.1-таблицаны караңыз):

– классикалык (салттуу) «мугалим»;

– интервал топтому катары түзүлгөн «мугалим» («интервалдык мугалим»);



6.1-сүрөт – Классикалык нейрон тармагынын жана интервалдык максаттарды тууралоо менен нейрон тармагынын үйрөнүү ийри сызыктары

6.1-сүрөттөн көрүнүп тургандай, сунушталган «интервалдык мугалим» ыкмасы кепилденген натыйжа менен жогорку окуу курсун көрсөттү. Классификатордун катасы классификатор даярдалбаган 68 мисалдын тесттик үлгүсүндө аныкталган, башкача айтканда, жалпылоо катасы аныкталган. Классификациялоочу каталар графикалык түрдө карама-каршылыктардын матрицасы түрүндө берилген (Confusion Matrix) 6.2-сүрөт.

Ошентип, системанын сунушталган структурасында нейрондук тармак классификаторунун тактыгы белгилүү бир интервалдан нейрондук тармакты түзүү процессинде белгилүү бир «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашыруучу кошумча талаптардын негизинде классикалык «мугалим» менен нейрон тармагына салыштырмалуу «интервал мугалими» бар система жакшыраак натыйжаны көрсөтөт.

6.2-сүрөт – Маалыматтарды классификациялоонун тактыгын чагылдырган график

Классикалык жана сунуш кылынган окутуу схемаларынын салыштырма талдоосу акыркысынын эффективдүүлүгүн, окуу процессинин конвергенциясынын ылдамдыгы боюнча да, таануу сапаты боюнча да көрсөттү. Сунушталган окутуу схемасы менен классификатордун тактыгы 98,5% түзөт.

«Жүрөк-кан тамыр ооруларын диагностикалоо үчүн нейрондук тармак системасы» аталган **жетинчи бөлүмүндө** пациенттерде жүрөк-кан тамыр ооруларын диагностикалоо үчүн нейрондук тармак системасынын программалык камсыздоосун жана алгоритмдик модулдарын иштеп чыгуу жана эксперименталдык иштөөсү боюнча материал берилген. 3,4,5-главаларда алынган натыйжалар системанын программалык-алгоритмдик модулдарын түзүү үчүн колдонулган. Диссертациялык иштин алкагында иштелип чыккан программалык камсыздоону колдонуу боюнча эксперименталдык иш Remedium медициналык клиникасынын базасында жүргүзүлгөн. Медициналык диагностиканын нейрондук тармак системасынын программалык камсыздоосу жана алгоритмдик колдоосу Remedium медициналык клиникасында сыналып, анын натыйжалуулугун тастыктады.

Корутундусунда диссертациялык иште алынган негизги илимий жана практикалык натыйжалар келтирилген.

Тиркемелер автордук күбөлүктөрдү жана диссертациялык иштин жыйынтыктарын ишке ашыруу актыларын камтыйт.

ЖЫЙЫНТЫКТАР

Илимий изилдөөлөрдүн натыйжасында төмөнкүдөй негизги натыйжалар алынды:

1. Нейрондук тармактарды окутуу процессинде пайда болгон эсептөө көйгөйлөрү изилденди.

2. Нейрондук тармактарды түзүүдө модулдук ыкмага мүнөздүү өзгөчөлүктөр аныкталган.
3. Нейрондук тармактын иерархиялык модулдук архитектурасын куруунун негизги принциптери аныкталган.
4. «Интервалдык мугалим» менен окутуу ыкмасы сунушталган.
5. Нейрондук тармактын өзүн өзү уюштуруунун жаңы структурасы сунушталууда, ал системанын иштешин жакшыртуучу кошумча талаптардын негизинде берилген окуу интервалынан конкреттүү «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашырылган.
6. «Интервалдык мугалим» менен ЖНТ үйрөнүү алгоритми сунушталган.
7. Нейрондук тармактын көп деңгээлдүү иерархиялык топологиясын түзүү үчүн детерминисттик стратегия сунушталган.
8. Модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакта максаттуу топтомдун маалыматтарынын артка жайылышы үйрөнүү алгоритми иштелип чыккан.
9. Модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармак үчүн интервалдык максатты коюунун интеллектуалдык алгоритми иштелип чыккан.
10. Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун алынган алгоритмдери медициналык диагностиканын маселелеринде колдонулган. Иштелип чыккан программалык камсыздоо жана алгоритмдик колдоо Бишкектеги «Remedium» медициналык клиникасында жана «КафМедцентр» медициналык борборунда ишке ашырылган.

Практикалык сунуштар

Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун алгоритмдеринин алынган теориялык жана практикалык натыйжалары төмөндөгүдө колдонулушу мүмкүн:

– жасалма нейрон тармактарынын технологияларын колдонуу менен инженердик тапшырмаларда;
– нейротармак технологияларын колдонуу менен медициналык диагностикалык маселелердин кеңири классын чечүү үчүн нейрон тармактарын окутууда;
– окуу процессинде студенттерди нейрондук тармак иерархиялык модулдук системаларды куруунун жаңы ыкмалары менен тааныштыруу.

ДИССЕРТАЦИЯНЫН ТЕМАСЫ БОЮНЧА ЖАРЫЯЛАНГАН ЭМГЕКТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. Mirkin, E.L A New Approach to Constructing a Decentralized Hierarchical Modular Network for Solving Complex Problems in the Paradigm of Training Artificial Neural

Networks with a Teacher [Text] / E. L. Mirkin, **E. Y. Savchenko** // Optical Memory and Neural Networks. – 2021. – Vol. 30(2). – P. 112–130.

2. Mirkin, E. Configuring the Interval Target in a Multilayer Feedforward Neural Network on the Example of the Problem of Medical Diagnostics [Text] / E. Mirkin, **E. Savchenko** // International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies. – 2021. - P. 463–475.
3. Mirkin, E. Use of the Method of Configuring the Interval Target in the Problem of Synthesis of the Neural Network Classifier for Diagnosing Cardiovascular Diseases [Text] / E. Mirkin, **E. Savchenko**, E. Savchenko // 2020 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). – 2020. – P. 140–144.
4. Mirkin E., **Savchenko E.** Use of the Method of Setting the Interval Target in the Problem of Synthesis of a Neural Network Classifier for Diagnosing Chronic Kidney Disease in Patients [Text] //International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies. – Springer, Cham, 2022. – С. 57-66.
5. Musakulova, Z. Synthesis of the backpropagation error algorithm for a multilayer neural network with nonlinear synaptic inputs [Text] / Z. Musakulova, E. Mirkin, **E. Savchenko** // IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). – 2018.-P. 131–135.
6. Разработка и использование алгоритмов синтеза самоорганизующихся нейронных сетей для задач обработки информации /Нежинских С.С., Волкович О.В., **Савченко Е.Ю.,** Миркин Е.Л. - Б.:Нео Принт, 2020.-96с.:ил. ISBN 978-9967-9287-1-8 Монография
7. **Савченко, Е.Ю.** Использование метода, реализующего парадигму обучения ИНС с «интервальным учителем» для задачи синтеза медицинского классификатора [Текст]/ Е.Ю. Савченко // Вестник международного университета кыргызстана. - 2020. № 2 (41). - С.140
8. Photometry Setup for Dynamic Dye Concentration Measurement [Text] / I. Kolokolnikov, I. Lavrenyuk, **E. Savchenko** [at all] // International Youth Conference on Electronics, Telecommunications and Information Technologies/ - Springer Cham. - 2021. – P. 277–282.
9. Синтез нейросетевых алгоритмов адаптивного тестирования LAP Lambert Academic Publishing (2015-04-29) ISBN-13: 978-3-659-70608-0 ISBN-10: 3659706086EAN: 9783659706080Book language: RussianBy (author): Евгений Миркин, **Елена Савченко** Number of pages:104Published on: 2015-04-29 Category: Monographies
10. Image processing in total internal reflection fluorescence microscopy [Text] / O. Kuznetsova, **E. Savchenko**, A. Andryakov, E. Savchenko // Journal of Physics: conference Series. 2019. – Vol. 1236(1), 012039.

11. Determination of Electrophoretic Mobilities by DLS: Homodyne vs Heterodyne Setup [Text] / E.A. Savchenko A. N. Skvortsov, E. N. Velichro, **E. Savchenko** // 2019 IEEE International Conference on Electrical and photonics. - 2019. – P. 315-317
12. Savchenko E. A., Scherbak S. A., **Savchenko E. Y.** Modeling of Evanescent Dynamic Light Scattering on Colloidal Particle [Text] //2021 International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech). – IEEE, 2021. – C. 197-200.
13. Свид. 456 Кыргызская Республика «UNIVERSAL TESTING SYSTEM (UTS. Адаптивная тестирующая система с применением нейросетевых технологий [Текст] / Миркин Е.Л., **Савченко Е.Ю.**, Мусакулова Ж.А. Бишкек ГСИИСиИ при правительствеи КР (Кыргызпатент) – №20170012.6 456, заявл. 18.04.17; опубл. 18.05.17, Бюл. № 02/1221.
14. Свид. 35 Кыргызская Республика «UTS_DATA». База данных адаптивной тестирующей системы с применением нейросетевых технологий [Текст] / Е.Л. Миркин, **Е.Ю. Савченко**, Ж.А. Мусакулова. Бишкек ГСИИСиИ при правительствеи КР (Кыргызпатент) – № 20170008.7, заявл. 18.04.17; опубл. 18.05.17, Бюл. № 02/1219

Савченко Елена Юрьевнанын 05.13.01-системалык талдоо, маалыматтарды башкаруу жана иштеп чыгуу адистиги боюнча техника **илимдеринин доктору окумуштуулук даражасын алууга сунушталган «Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун интеллектуалдык алгоритмдеринин синтези» аттуу дисертациясынын**

РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: нейрон тармактар, нейрон, нейрон тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун алгоритмдери, модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармак, медициналык диагностика.

Изилдөө объектиси: изилдөөнүн объектиси болуп интервалдык өзүн-өзү уюштуруу менен жасалма нейрон тармактарынын структуралары жана окутуу алгоритмдери саналат.

Изилдөө предмети: диссертациялык иштин изилдөө предмети болуп нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун интеллектуалдык алгоритмдерин синтездөө, сунушталган ыкмаларды сандык жана компьютердик моделдөө, медициналык диагностика үчүн интеллектуалдык системаларды, ошондой эле программалык камсыздоону иштеп чыгуу саналат.

Изилдөө ыкмалары: диссертациялык иште теориялык жана эксперименталдык изилдөөнүн негизги жалпы илимий ыкмалары колдонулган: анализ, синтез, математикалык моделдөө жана компьютердик эксперимент, оптималдаштыруу ыкмалары, кайчылаш текшерүүгө негизделген эрте токтотуу ыкмасы, натыйжалуулугун салыштыруу талдоо, программалык камсыздоону иштеп чыгуу үчүн заманбап программалоо тилдери.

Изилдөөнүн максаты: нейрондук ттармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруунун теориялык принциптерин, ыкмаларын жана интеллектуалдык алгоритмдерин түзүү болуп саналат.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы: Нейрон тармактарды өнүктүрүүнүн негизги этаптарына аналитикалык кароо жүргүзүлдү, жасалма нейрон тармактарын түзүүнүн негизги принциптерин сүрөттөлдү, нейрон тармактарды түзүүдө модулдук ыкманы колдонуунун негиздери каралды; системанын иштешине кошумча талаптардын негизинде белгиленген, интервалдан нейрон тармагын түзүү процессинде, конкреттүү «мугалимди» тандоо механизмин ишке ашырган системанын жаңы структурасы сунушталды. Жетекчилүүчү ЖНТ окутуунун ыкмасындагы татаал маселелерди чечүү үчүн модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакты куруугa жаңы ыкма сунушталды. Модулдук типтеги борборлоштурулбаган иерархиялык тармакта белгиленген максаттуу маалыматтардын артка таралышынын алгоритми сунушталды. Нейрон тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруу үчүн алынган алгоритмдердин ишинин теориялык натыйжалары, иштелип чыккан программалык камсыздоодо жана медициналык диагностиканын маселелерин алгоритмдик камсыздоодо ишке ашырылган.

Колдонуу чөйрөсү: Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруу алгоритмдеринин алынган теориялык жана практикалык натыйжалары нейрон тарматардын технологияларын колдонуу менен медициналык диагностикалык маселелердин кеңири классын чечүү үчүн нейрондук тарматарды окутууда колдонулушу мүмкүн.

РЕЗЮМЕ

диссертации Савченко Елены Юрьевны на тему «Синтез интеллектуальных алгоритмов интервальной самоорганизации структуры нейронных сетей» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01- системный анализ, управление и обработка информации

Ключевые слова: нейронные сети, нейрон, алгоритмы для интервальной самоорганизации структуры нейронных сетей, децентрализованная иерархическая сеть модульного типа, медицинская диагностика.

Объект исследования. Объектом исследования являются структуры и алгоритмы обучения искусственных нейронных с интервальной самоорганизацией.

Предмет исследования. Предметом исследования в диссертационной работе являются синтез интеллектуальных алгоритмов интервальной самоорганизации структуры нейронных сетей, численное и компьютерное моделирование предлагаемых методов, разработка интеллектуальных систем медицинской диагностики, а также программное обеспечение нейросетевой системы диагностики и его функциональность.

Методы исследования. В диссертационной работе применялись основные общенаучные методы теоретического и экспериментального исследования: анализ, синтез, математическое моделирование и компьютерный эксперимент, методы оптимизации, метод обучения с ранней остановкой на основе перекрестной проверки, сравнительный анализ эффективности, современные языки программирования для разработки программного обеспечения.

Цель исследования заключается в создании теоретических принципов, методов и интеллектуальных алгоритмов для интервальной самоорганизации структуры нейронных сетей.

Полученные результаты и их новизна: проведен аналитический обзор основных этапов развития нейронных сетей, описаны основные принципы создания искусственных нейронных сетей, рассмотрено обоснование применения модульного подхода в создании нейронных сетей; предложена новая структура системы, реализующая механизм выбора конкретного «учителя», в процессе настройки нейронной сети, из заданного интервального множества на основе дополнительных требований, предъявляемых к функционированию системы. Предложен новый подход построения децентрализованной иерархической сети модульного типа для решения сложных задач в подходе обучения ИНС с учителем. Предложен алгоритм обратного распространения данных целевого множества в децентрализованной иерархической сети модульного типа. Теоретические результаты работы полученных алгоритмов интервальной самоорганизации структуры нейронных сетей реализованы в разработанном программно-алгоритмическом обеспечении для задач медицинской диагностики.

Область применения: полученные теоретические и практические результаты работы алгоритмов интервальной самоорганизации структуры нейронных сетей могут найти применение при обучении нейронных сетей для решения широкого класса практических задач с использованием нейросетевых технологий.

ANNOTATION

dissertation of Savchenko Elena Yurievna on the topic "Synthesis of intelligent algorithms for interval self-organization of the structure of neural networks" for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.13.01-system analysis, control and information processing

Keywords: neural networks, neuron, algorithms for interval self-organization of the structure of neural networks, decentralized hierarchical network of modular type, medical diagnostics.

Object of research. The object of research is the structures and learning algorithms of artificial neural networks with interval self-organization.

Subject of research. The subject of research in the dissertation work is the synthesis of intelligent algorithms for interval self-organization of the structure of neural networks, numerical and computer modeling of the proposed methods, the development of intelligent systems for medical diagnostics, as well as the software for the neural network diagnostic system and its functionality.

Research methods. In the dissertation work, the main general scientific methods of theoretical and experimental research were used: analysis, synthesis, mathematical modeling and computer experiment, optimization methods, early-stop learning method based on cross-validation, comparative analysis of efficiency, modern programming languages for software development.

The purpose of the study: is to create theoretical principles, methods and intelligent algorithms for the interval self-organization of the structure of neural networks.The results obtained and their novelty: an analytical review of the main stages in the development of neural networks was carried out, the basic principles for creating artificial neural networks were described, the rationale for using a modular approach in creating neural networks was considered; a new structure of the system is proposed, which implements the mechanism for choosing a specific "teacher" in the process of setting up a neural network from a given interval set based on additional requirements for the functioning of the system. A new approach to building a decentralized hierarchical network of a modular type for solving complex problems in the paradigm of supervised ANN learning is proposed. An algorithm for the backpropagation of data of the target set in a decentralized hierarchical network of a modular type is proposed. Theoretical results of the work of the obtained algorithms for the interval self-organization of the structure of neural networks are implemented in the developed software and algorithmic support for the problems of medical diagnostics.

Scope. The obtained theoretical and practical results of the algorithms for interval self-organization of the structure of neural networks can be used in training neural networks to solve a wide class of medical diagnostic problems using neural network technologies.

Савченко Елена Юрьевна

Нейрондук тармактардын структурасын интервалдык өз алдынча уюштуруу үчүн интеллектуалдык алгоритмдердин синтези

Техникалык илимдердин доктору илимий даражасын алуу үчүн жазылган диссертациянын автореферaты

Басууга 13.05.2022-ж. кол коюлду
Өлчөмү 60x84 1/16. Көлөмү 2.25 б.т. Офсет кагаз.
Офсеттик басуу. Нускасы 100 экз.
«Нео Принт» басма үйү, Бишкек ш.