

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

ВАРЛАМОВА ЛЮДМИЛА ПЕТРОВНА

**ТРАНСПОРТ ОҚИМЛАРИНИ АДАПТИВ БОШҚАРИШ
ТИЗИМЛАРИНИ СИНТЕЗЛАШНИНГ НЕЙРО-НОРАВШАН
МОДЕЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ**

05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни
автоматлаштириш ва бошқариш

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2020

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации
Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

Варламова Людмила Петровна

Транспорт оқимларини адаптив бошқариш тизимларини синтезлашнинг
нейро-норавшан моделлари ва алгоритмлари.....3

Варламова Людмила Петровна

Нейро-нечеткие модели и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления
транспортными потоками29

Varlamova Lyudmila Petrovna

Neuro-fuzzy models and algorithms for the synthesis of adaptive traffic control
systems55

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works59

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc. 03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

ВАРЛАМОВА ЛЮДМИЛА ПЕТРОВНА

ТРАНСПОРТ ОҚИМЛАРИНИ АДАПТИВ БОШҚАРИШ
ТИЗИМЛАРИНИ СИНТЕЗЛАШНИНГ НЕЙРО-НОРАВШАН
МОДЕЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ

05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни
автоматлаштириш ва бошқариш

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2020

Докторлик (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2020.3.DSc/T321 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Ўзбекистон Миллий университетда бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Марахимов Авазжон Рахимович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Исмаилов Мирхалил Агзамович
техника фанлари доктори, профессор

Каипбергенов Батирбек Тулабергенович
техника фанлари доктори, профессор

Ташманов Ержан Байматович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:


Тошкент давлат транспорт университети


Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети хузуридаги DSc.03/30 12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «9» 12 соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@edu.uz).

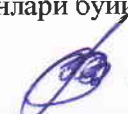
Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (180 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «27» 11 куни тарқатилди.
(2020 йил «19» 11 даги 28 рақамли реестр баённомаси).




Н.Р.Юсупбеков
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
т.ф.д., профессор, академик


У.Ф.Мамиров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)


Х.З. Игамбердиев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
т.ф.д., профессор, академик

КИРИШ (фалсафа доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сўнги пайтларда технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш соҳасида турли хил функционал вазифали технологик объектларнинг мослашувчан бошқариш тизимларини синтезлаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Транспорт оқимларини технологик объектларга тўлиқ киритиш мумкин. Ушбу соҳада йирик шаҳарлардаги транспорт оқимларини мослашувчан бошқаришни нейро-норавшан алгоритмларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Транспорт оқимларининг мураккаб тизимларини автоматлаштирилган бошқаришни мослашувчан тизимларини булутли-мантикий ёндашув ва тасвир объектларини таниб олувчи сунъий нейрон тармоқлари асосида яратиш тез ривожланаётган мегашаҳарлар шароитида, шунингдек бошқа интеллектуал тизимларда муҳим аҳамиятга эга. Ноаниқлик шароитларида турли хил ва турли жинсли ахборотларга ишлов бериш орқали тизимлардаги тасвирларни таниш ва аниқлаш ҳамда оптималлаш масалаларини ечиш мақсадида уларни идентификациялаш глобал ақлли тизимлар доирасида мураккаб тизимларни яратиш ва лойиҳалашда муҳим роль ўйнайди.

Жаҳонда тўлиқсиз ёки ноаниқ бошланғич ахборотлар шароитида йўл ҳаракати объектлари ва иштирокчиларини идентификациялашда транспорт оқимини ўсиб боровчи жадаллиги ва зичлиги шароитида қийинчиликларсиз ҳаракатланишни таъминлашнинг қатор масалаларини транспорт оқимларини бошқариш жараёнларини автоматлаштириш тизимларини лойиҳалашга бўлган интеллектуал ёндашувни яратиш бўйича илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада мураккаб тақсимланган объектларни бошқариш усуллари ва алгоритмларини кирувчи визуал маълумотларга интеллектуал ишлов беришнинг нейро-норавшан ёндашуви, усуллари ва алгоритмлари концепцияси асосида такомиллаштириш ва модификациялаш муҳим масала ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикасида транспорт оқимларининг объектларини таниб олувчи ва идентификацияловчи кўп агентли ёндашув, норавшан мантиқ концепцияларини қўллаб, йўл ҳаракатини бошқариш қарорларини қўллаб-қувватлаш асосида транспорт тизимлари, мураккаб объектларни бошқаришни адаптив тизимларини яратиш ва лойиҳалаш бўйича тадқиқотлар ўтказилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «... илмий ва инновацион ютуқларни амалиётга жорий этиш, ... замонавий технологияларни жорий этиш ва улардан фойдаланишнинг самарали механизмларини яратиш»¹ вазифалари белгилаб берилган. Ўзбекистон Республикаси Ҳукумати томонидан республикада инновацион

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

технологияларни кенг жорий этиш ва ривожлантириш бўйича олиб борилаётган сиёсат «ақлли» шаҳар транспорт тизимини ривожлантиришга, янги транспорт хизматлари ва транспорт турларининг пайдо бўлишига, транспорт оқимларини назорат қилиш ва бошқариш тизимларига йўналтирилган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони ва 2012 йил 21 мартдаги ПҚ-1730-сон «Замонавий ахборот-коммуникация технологияларини янада жорий этиш ва ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2017 йил 27 июлдаги ПҚ-3151-сон «Олий маълумотли мутахассислар тайёрлаш сифатини оширишда иктисодиёт соҳалари ва тармоқлари иштирокини янада кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологиялари ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи². Транспорт оқимларини бошқариш масалаларини ечиш учун бошқариш назариясининг математик асосларини, усуллар, самарали алгоритмлар, дастурий таъминотларни ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий тадқиқотлар дунёнинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан, Бауман номидаги Москва давлат техника университети, Москва физика-техника институти, Петербург давлат алоқа йўллари университети, Красноярск космик ва ахборот технологиялари институти, Тула давлат университети, Томск давлат бошқариш тизимлари ва радиоэлектроника университети (Россия), Калифорния университети марказлари ва лабораториялари, Princeton University, State University of New York, Stanford University, University of Texas at Austin, University of Oklahoma, University of Science and Technology (АҚШ), Берлин миллий университети, Мюнхен университети (Германия), Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, Турин политехника институти, Тошкент ахборот технологиялари университетининг инновацион маркази (Ўзбекистон) да фаол ривожлантирилмоқда.

²Диссертация мавзуси бўйича илмий тадқиқотлар шарҳи <https://elibrary.ru>, <http://ieeexplore.ieee.org/document/824819>, <http://www.mathnet.ru/rus/agreement>, www.asucontrol.ru, www.sial.iias.spb.su, <http://www.ipu.ru>, <http://cyberleninka.ru>, <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=21073>, https://nl.wikipedia.org/wiki/Pieter_Eykhoff, https://books.google.ru/books/about/Optimum_systems_control.html, https://books.google.ru/books/about/System_identification.html, <http://terraelectronica.ru>, http://uk.farnell.com/static/findings/DF10/findings10_aducs.htm ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

Дунёда транспорт оқимини бошқаришнинг адаптив тизимларини синтезлаш усуллари ва алгоритмларини яратиш ҳамда мавжудларини такомиллаштириш бўйича олиб борилган тадқиқотлар таҳлили натижасида қатор натижалар олинган, жумладан, норавшан хулосалаш мантиғига асосланган адаптив бошқариш усуллари ва алгоритмлари яратилган (University of California, Massachusetts Institute of Technology, Princeton University, State University of New York, Stanford University, University of Texas at Austin, University of Oklahoma, University of Science and Technology, АҚШ; Czech Technical University, Чехия); нейро-норавшан ростлагичли бошқариш тизимлари ишлаб чиқилган (Helsinki University of Technology, Финляндия); сунъий нейрон тармоқлари асосида бошқариш тизимлари ишлаб чиқилган (Taegu University, Корея); интеллектуал бошқариш тизимлари ишлаб чиқилган (Москва автомобиль-йўллар институти, Санкт-Петербург давлат темир йўллари университети, Красноярск космик ва ахборот технологиялари институти, Россия); кўп поғонали норавшан-мантиқий ростлагичли адаптив бошқариш тизимларини синтезлаш усуллари ишлаб чиқилган (Puerto Rico University, Пуэрто-Рико; Pamukkale University, Туркия; Mohammadia School of Engineers, Марокко; University of Nevada, АҚШ).

Транспорт оқимларини бошқаришнинг мослашувчан тизимларини синтезлашнинг янги усуллари ва алгоритмларини яратиш ҳамда мавжудларини янада ривожлантириш қуйидаги истиқболли йўналишлар бўйича амалга оширилади: ростлашнинг талаб этилган аниқлиги ва сифатини таъминлайдиган мураккаб динамик тизимларни идентификациялаш, баҳолаш ва бошқариш усуллари такомиллаштириш; ташқи ва ички ғалаён таъсирларига боғлиқ бўлмаган адаптив ва робаст бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш; локал ва глобал бошқариш тизимларида транспорт оқимларини адаптив бошқариш усуллари ишлаб чиқиш; норавшан мантиқ ва сунъий нейрон тармоқлари асосидаги алгоритмларни ишлаб чиқиш; интеллектуал бошқариш тизимларида йўл ҳаракати қатнашчиларининг видео тасвирлари объектларини идентификациялаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Норавшан хулосалар асосида қурилган транспорт оқимлари ва тизимларини бошқариш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича сўнгги йиллардаги илмий-техник адабиётларнинг таҳлили ушбу соҳада муҳим назарий ва амалий натижаларга эришилганлигидан далолат беради. Транспорт оқимини интеллектуал бошқариш соҳасидаги муаммоларга бағишланган кўплаб илмий ишлар нашр этилган, нейро-норавшан бошқаришнинг мураккаб тизимларини умумназарий концепциялари ишлаб чиқилган ва ечилган амалий масалалар сони ортиб бормоқда. Транспорт оқимларини бошқаришнинг интеллектуал тизимларини ривожига Л.Заде, Р.А.Алиев, М. James Lighthill, Х.Иносэ, Т.Хамада, К.Негойце, Д.Дрю, Ф.Хейт, Д.Рюель, В. S.Kerner, J.G.Bender, R.Chandler, P.Varaiya, Lai. Guan Rhung Н.О.Брайловский, Е.Б.Хилажев, В.С.Соколовский, В.М.Гурулёв, Я.И.Зайденберг, Е.М.Васильева, А.В.Гасников, Т.И.Михеева, Ю.В.Белов, А.Н.Полетайкин, В.Т.Капитанов, Д.В.Капский, В.Л.Бурковский,

С.Ю.Брегеда, А.П.Буслаев, В.М.Новиков каби кўплаб хорижлик ва мамлакатимиздан Н.Р.Юсупбеков Т.Ф.Бекмуратов, Х.З.Игамбердиев, Ш.М.Гулямов, А.Р.Марахимов, Т.Р.Нурмухамедов, М.А.Рахматуллаев, И.Х.Сиддиқов, Ш.Х.Фозилов каби олимлар ўзларининг улкан ҳиссаларини кўшишган.

Бирок, илмий тадқиқотлар доирасининг доимий мураккаблашиши ва кенгайиши ноаниқлик шароитларида бошқариш ва ҳолатни баҳолаш, заиф детерминанланган объектларни адаптив бошқаришнинг янги самарали усул ва алгоритмларини ишлаб чиқишни талаб қилади. Юқорида айтиб ўтилган олимлар он-лайн шароитда ўзгарувчан ахборотларни олишни ҳисобга олмаган ҳолда детерминанланган ва стохастик бошқариш объектларида ахборотларга ишлов беришнинг мумтоз усулларини таклиф қилишган. Кўрсатилган муаллифларнинг ишларида йўл ҳаракатининг кўп сонли объектларини таниб олишда ва гибрид нейрон тармоқлари ёрдамида нейро-норавшан мантиқий хулоса асосида бошқариш тизимларини яратишда транспорт оқимининг математик моделлари кўриб чиқилмаган.

Шаҳар миқёсидаги кўча-йўл тизимларида ишлаш қобилиятига эга бўлган кўп агентли ёндашувга асосланган адаптив бошқариш усуллари ҳам ўзгаришларга робастлиги ва турғунлиги бўйича ривожланишни талаб этмоқда. Бундан ташқари, эҳтимоллик синфидаги бошқаришнинг нейро-норавшан усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш, шунингдек транспорт оқимларини бошқаришнинг интеллектуал тизимларида фойдаланиш ва уларнинг иш самардорлигини ошириш учун сунъий нейрон тармоқлари асосида визуал маълумотларга ишлов бериш бўйича ишланмаларни амалга ошириш мақсадга мувофиқдир. Юқорида айтиб ўтилганлардан келиб чиқиб, нейро-норавшан ёндашув концепциялари асосида динамик тақсимланган объектлар учун адаптив бошқариш тизимларини синтезлашнинг самарали усуллари ва алгоритмларини яратиш ва янада такомиллаштиришнинг зарурати юзага келмоқда.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий Университети ва Тошкент ахборот технологиялари университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг Ф.1.1.8 – «Ночизикли диффузион жараёнларни ташқи таъсирларни ҳисобга олган ҳолда мультимедиали технологиялар асосида компьютерли моделлаштириш» (2011-2013); И-2015-4-8 – «Ахборот-коммуникация технологиялари тизимига ОС GNU юқори технологик виртуал амалиёт тизимини жорий этиш» (2015-2017); И-2016-4-14 – «Маълумотларга интеллектуал ишлов бериш моделларини яратиш ва ахборот тизимларига жорий этиш» (2017-2018) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади йўл ҳаракати объектларининг шовқинли видео тасвирларига ишлов берувчи мураккаб бошқариш тизимларини лойиҳалашда узлуксиз ишлашни таъминлаш учун транспорт оқимларини бошқаришнинг самарали усуллари, математик моделлари ва алгоритмларини яратишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

транспорт оқимларини бошқаришнинг норавшан ёндашув концепциялари асосидаги адаптив тизимини синтезлаш усуллари ва алгоритмлари ривожини тизимли таҳлил қилиш;

бошқариш тизимларини лойиҳалашда норавшан-мантиқий усуллар аппарати ва гибрид нейрон тармоқлари асосида йўл ҳаракатини бошқариш концепцияси ва услубиятини ишлаб чиқиш;

кўча-йўл тармоғи учун светофор сигналлари асосида йўл ҳаракатини бошқариш тизимининг структурасини синтезлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

адаптив синфидаги кўп поғонали ёндашув асосида транспорт оқимларини бошқаришнинг кўп агентли тизимларини бошқаришни моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш;

транспорт оқимларини бошқариш ва объектни таниб олиш учун гибрид алгоритм ва дастурий мажмуани ишлаб чиқиш;

нейро-норавшан ёндашув асосида тақсимланган объектларни адаптив бошқариш концепцияси ва услубиятини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти кўча-йўл тармоғи шароитларидаги транспорт оқимлари каби тақсимланган объектларни бошқариш жараёни ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети мураккаб бошқариш тизимларидаги транспорт оқимларининг параметрларини нейро-норавшан бошқариш усуллари ва алгоритмлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида тизимли-солиштирма ва тизимли-функционал ёндашувлар, бошқариш тизимларини таҳлил қилиш, бошқариш тизимларини синтезлашнинг структуравий-параметрик усуллари, статистик ва эҳтимолий таҳлил, моделлаштириш ва башоратлаш, ҳисоблаш математикаси, сонли ва компьютерли моделлаштириш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

транспорт оқимларини бошқаришнинг концепцияси ва услубияти ишлаб чиқилган ҳамда асосий тамойиллари аниқланган;

априор ахборотлар етарли бўлмаган шароитлардаги дитерминанланган характерли тадқиқот объектининг хоссаларини эътиборга олган ҳолда йўл ҳаракатини бошқариш тизимлари структуралари синтезланган;

транспорт оқимларини бошқариш тизимларининг норавшан-мантиқий хулосага асосланган гибрид математик моделлари ишлаб чиқилган;

транспорт оқимларини бошқаришнинг мультиагентли тизимларини бошқаришнинг кўп поғонали ёндашувга асосланган моделлари ва алгоритмлари ишлаб чиқилган;

адаптивлик синфидаги нейро-норавшан эҳтимоллик тармоқларини таснифлаш усули асосида бошқариш тизими моделининг структураси ишлаб чиқилган;

юқори ҳисоблаш имкониятлари мавжуд бўлганда аномал таъсирларга нисбатан натижавий баҳоларнинг юқори сезгирлигини талаб этувчи ҳолатлар учун априор ноаниқликдаги блокли шакл асосида Калман типидagi филтрни қуришнинг гибрид алгоритми ишлаб чиқилган;

танланма кичик ҳамда аппликатив ҳалақит мавжуд бўлган шароитларда турли хил ядроли функциялар билан ўраб олиш усулини қўллаб, параметрик бўлмаган усуллар асосида тасвирларни таниб олишнинг гибрид алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

кўча-йўл тармоғи учун светофор сигнализацияси асосида йўл ҳаракатини бошқаришнинг кўп поғонали бошқариш тизимлари синфига кирувчи тизими структураларини синтезлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

транспорт оқимини бошқариш бўйича қарорларни қўллаб-қувватлаш тизимларида транспорт оқими тасвирлари объектларини таниб олиш, идентификациялаш ва таснифлаш учун мўлжалланган, ўраб олувчи нейрон тармоқлари ва Калман филтрининг блокли шакллари асосида дастурий мажмуа ишлаб чиқилган;

меъёрий ишлаш шароитларидаги тажрибаларнинг натижалари асосида нейро-норавшан эҳтимолий тармоқли таснифлашнинг адаптив тизимлар синфига кирувчи тизимини математик моделлари яратилган;

филтрлаш алгоритмларининг робастлиги ва ишлаб чиқилган моделларнинг монандлигини исботловчи тажрибавий тадқиқотлар ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Илмий натижаларнинг ишончлилиги ечими амалий аҳамиятга эга бўлган сўнгги натижагача етказилган муаммонинг математик қўйилиши билан асосланади. Ишончлилик даражаси тизимли таҳлил ва математик моделлаштириш, тажрибавий олинган бошланғич маълумотлардан фойдаланиб, тизимларни синтезлаш ва таҳлил қилиш назарияларини илмий концепцияларини тўғри қўлланилиши, назарий ҳамда тажрибавий тадқиқотларнинг зарурий ҳажми билан уйғунлиги орқали таъминланади. Илмий қоидалар, хулосалар ва тавсияларнинг ишончлилиги реал бошқариш объектларида олинган ва sanoat-синов тажрибалари баённомалари ҳамда ишлаб чиқаришга жорий этиш далолатномалари билан тасдиқланган маълумотларга асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти йўл ҳаракатини бошқаришнинг мураккаб кўп поғонали интеллектуал тизимлар синфига кирувчи конструктив усуллари, моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат. Автотранспортни бошқаришнинг автоматлаштирилган тизимларини ишлаб чиқувчилар учун диссертация иши натижаларининг амалий аҳамияти бошқариш самарадорлиги мезонларини номувофиқ бўлган шароитларда адаптив дастурий таъминот қарорини қарор қабул қилувчи шахс қарорини қўллаб-қувватлашдан иборат. Иш натижалари шахар бўлинмалари доирасида транспорт оқимларини назорат қилиш ва бошқаришни амалга оширувчи корхоналар учун фойдалидир.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Транспорт оқимларининг объектларини таниш, идентификациялаш ва таснифлаш; транспорт оқимларини бошқаришнинг ишлаб чиқилган алгоритмлари, усуллари ва дастурий таъминотлари асосида:

ишлаб чиқилган транспорт оқимларини бошқаришнинг мультиагентли тизимларини бошқаришнинг кўп поғонали ёндашувга асосланган моделлари ва алгоритмлари Ўзбекистон Республикаси Мудофаа вазирлигининг 64562, 49479, 71201-ҳарбий қисмларининг кузатув жараёнларига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Мудофаа вазирлигининг 2020 йил 22 июлдаги 25/10/685-сон маълумотномаси). Натижада, ҳаракатланувчи объектлар ва транспорт воситаларини кузатиш сифати 10-12 % га ошган;

ишлаб чиқилган адаптивлик синфидаги нейро-норавшан эҳтимоллик тармоқларини таснифлаш усули асосида бошқариш тизими моделининг структураси Ўзбекистон Республикаси Мудофаа вазирлигининг 64562, 49479, 71201-ҳарбий қисмларининг кузатув жараёнларига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Мудофаа вазирлигининг 2020 йил 22 июлдаги 25/10/685-сон маълумотномаси). Натижада, таниб олиш коэффиценти 80% ни ташкил этган, бу эса фреймдаги объектлар сонини таснифлаш ва ҳисоблаш имконини берган;

юқори ҳисоблаш имконияти мавжуд бўлганда аномал таъсирларга нисбатан натижавий баҳонинг юқори сезгирлиги талаб этиладиган ҳоллар учун апроир ноаниқликдаги блокли шакллар асосида Калман туридаги филтрани куришнинг гибрид алгоритми ҳамда у асосида яратилган «Видеотасвирдаги объектларни таниб олиш, таснифлаш ва уларнинг сонини санаш учун чуқур нейрон тармоқлари асосидаги дастурий таъминот» мажмуаси спорт мусобақаларини ўтказишда турли хил объектларни таниб олиш учун жорий этилган (Ўзбекистон Гандбол Федерациясининг 2020 йил 3 майдаги 118-сон хулосаси). Натижада, қоида бузарликларни аниқлаш мақсадида спорт тадбирларини ўтказишда ва транспорт бирликларини кузатиш тизимларида ҳаракатни аниқлаш кўрсаткичларини 22 % га яхшиланишига эришилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқотнинг назарий ва амалий натижалари 15 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 42 та илмий иш, жумладан 3 та монография, улардан 1 таси хорижда, ЎзР ОАК нинг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, шундан 3 таси хорижий журналларда нашр қилинган, шунингдек, ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилинганлиги тўғрисида 6 та гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 192 бетни ташкил қилади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги асосланган, мақсад ва вазифалари белгиланган, тадқиқотнинг объекти ва предмети аниқланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш рўйхати, иш натижаларининг апробацияси рўйхати келтирилган, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши тўғрисида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Йўл ҳаракатини бошқаришнинг моделлари, усуллари ва тизимларини таҳлил қилиш**» номли биринчи бобида транспорт оқимлари ва бошқариш тизимларини математик моделлаштириш бўйича адабиётларга умумий қарашлар ва таҳлили баён этилган. Бошқариш объектининг хусусиятлари, асосий ривожланиш тенденциялари ва ҳаракатни бошқариш тизимларини математик моделлаштириш ва синтезлаш муаммоларининг ҳозирги ҳолати ўрганилган. Йўл ҳаракатини бошқариш тизимлари самарадорлиги мезонларининг қарама-қаршиликлари кўриб чиқилган.

Транспорт оқими бошқариш объекти сифатида қуйидаги хусусиятларга эга: жадаллик, ҳаракат тезлиги, оқим таркиби, оқимдаги транспорт воситалари орасидаги интерваллар ва бошқалар.

Транспорт оқимининг тавсифлари сифатида шакллантирилиши мумкин бўлган хусусиятлари:

1. Транспорт оқимининг интенсивлик билан ифодаланувчи динамиклиги доимий бўлмаган характерга эга бўлиб, турли вақт даврларида давомида ўзгариб туриши мумкин.

2. Белгиланган вақт оралиғида оқим параметрларининг даврий ўзгариши транспорт воситаларининг ҳаракати жараёнининг статистик хусусиятини кўрсатади. Транспорт оқимининг эҳтимолий табиати, транспорт воситаларининг ҳар хил турлари, транспорт воситаларининг ҳаракати, ҳаракатланиш мақсадлари, сафар вақти ва масофа билан боғлиқ бўлган транспорт воситаларининг шаклланишига боғлиқ.

3. Ҳаракатларнинг статистик шакллари транспорт воситаларининг ҳаракатида детерминаланган тенденциялар мавжудлиги сабабли барқарор бўлиши мумкин, чунки кўп транспорт ҳаракатлари даврий характерга эга ва маълум маршрут бўйлаб амалга оширилади. Статистик тавсифларга ҳаракатдаги иштирокчиларнинг турли хил мақсадлар ва психофизиологик хусусиятлари билан ўзаро муносабатлари киради.

Барча йўл ҳаракати қатнашчилари ва элементлари битта оқимга бирлашади, ҳаракат вақтида транспорт воситаларининг индивидуал хусусиятлари сезиларли даражада фарқ қилиши мумкин, аммо транспорт оқимининг характеристикалари бир-бирига боғлиқ бўлиб кўринади, чунки транспорт ҳаракати динамикасининг ўзгаришига олиб келадиган ташқи

таъсирлар мавжуд. Шунинг учун, битта чорраҳада бошқариш масаласини ҳал қилишда йўл тармоғининг ушбу алоҳида элементининг ишлаш шароитларини ҳисобга олиш керак ва мураккаб тизимларни яратишда барча элементларнинг механик уланиши транспорт оқимини бошқаришнинг керакли натижасини бермайди. Йўл ҳаракатини бошқариш тизимига киритилган чорраҳалар сонининг кўпайиши билан масала янада мураккаблашади.

Ушбу ўзаро боғлиқлик ҳаракатланиш шароитларини ўзгариши (светофор сигнализациясининг бузилиши, йўлнинг торайиши, йўлни мажбурий таъмирлаш ва бошқалар) билан ифодаланадиган ташқи шароитларга таъсир қилувчи омилларнинг мавжудлиги билан боғлиқ бўлиб, йўлнинг алоҳида қисмларида, шунингдек, бутун транспорт тизимида ҳаракатланиш хусусиятининг ўзгаришига олиб келади.

Шундан келиб чиққан ҳолда, йўл ҳаракатини бошқариш тизимларининг самарадорлик мезонларини оширишга имкон берадиган истиқболли усуллар, бошқариш алгоритмларини тадқиқ этиш зарурати юзага келади.

Диссертациянинг «**Норавшан мантиқ ва агентли ёндашув асосида йўл ҳаракатини оптимал бошқаришнинг математик модели ва усуллари**» номли иккинчи бобида йўл ҳаракати сигналлари тизимини бошқариш учун норавшан-мантиқий хулосага асосланган йўл ҳаракатини бошқариш тизимининг математик модели ишлаб чиқилган, лингвистик ёндашув амалга оширилган.

Транспорт оқими ҳаракат белгиларининг тўпламлари – тезлик v , зичлик ρ , жадаллик Q , оқимдаги вақт оралиғи ва бошқа параметрлар билан тавсифланади:

$$v(x,t) = \frac{Q(t,x)}{\rho(t,x)}. \quad (1)$$

Йўл ҳаракатини бошқаришнинг автоматлаштирилган тизимига киритилган муҳим тизимлардан бири – бу светофорни бошқариш тизими ҳисобланади. Чорраҳада светофорни тартибга солишдан мақсад йўл ҳаракати хавфсизлигини таъминлашдир. Қизил сигнал пайтида назорат қилинадиган чорраҳага келадиган транспорт воситалари яшил сигнал ёқилишини кутишлари керак. Бундан ташқари, улар ҳаракат бошлаганида ҳам ушланиб қолади. Демак, чорраҳада ҳаракатланиш ҳажмининг пасайиши муқаррар.

Йўл ҳаракатини бошқариш тизимларини синтезлаш учун объект қуйидаги тарзда расмий равишда тақдим этилиши мумкин:

$$M = \langle \Omega, G, Y, U, T, \rho, \gamma, \zeta \rangle, \quad (2)$$

бу ерда – $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{n \times m}\}$ - шартлар диапазони (транспорт оқимининг кириш параметрлари); $G = \langle V, (DW) \rangle$. \mathbb{R}^3 майдонидаги G графиги билан ифодаланган кўча-йўл тармоғининг модели; $V = \{v_i\}$ - мумкин бўлган транспорт тармоқлари тугунларига мос келадиган графнинг учлари (тугунлари); $D \subseteq V \times V$ - граф ёйларининг тўплами (мумкин бўлган транспорт тармоқларининг тугунларини боғлайдиган йўл бўлаги), $W = \langle Q, P, V \rangle$ га тегишли вазн коэффицентлари билан граф ёйлари тўплами (йўлнинг мумкин бўлган транспорт тармоқларининг тугунларини

боғлайдиган йўл-транспортнинг жадаллиги, транспортнинг зичлиги ва маълум бир йўл қисмидаги ўртача тезлик); $X=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ - бошқариш объекти Ω ҳолатини тавсифловчи ва уларнинг ҳар бирини ўз қийматлари тўпламига киритадиган хусусиятлар ва аниқловчилар тўплами $\{X_i\}$; $Y=\{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ - чиқиш параметрлари тўплами; $U=\{U_1, U_2, \dots, U_r\}$ - бошқариш параметрлари тўплами; $T=\{t_1, t_2, \dots, t_l\}$ - дискрет вақт оралиқлари; $\rho: X \times T \rightarrow \Omega$ - объект ҳолатининг динамикаси, маълум бир ҳолатдаги динамик тизимнинг ҳаракатларини бошқаришга реакцияси. $\gamma: \Omega \times T \rightarrow Y$ - назорат объекти объектини кузатиш жараёнини тавсифловчи хулоса (баҳоларни олиш); ξ - бошқариш объектининг динамикасига таъсир қилувчи баъзи ташқи бошқарилмайдиган омиллар, шароитлар ва бошқалар.

Тақдим этилган талабларга мувофиқ, бошқариш объектининг умумлаштирилган динамик моделини ҳолатларнинг норавшан фазосида қуйидаги чизиқли тенглама билан аниқлаш мумкин:

$$\bar{x} = \bar{A} \otimes \bar{x} \oplus \bar{B} \otimes \bar{u}, \mu_s(S), S \subseteq \Omega, \bar{y} = \bar{C} \otimes \bar{x}, \quad (3)$$

норавшан бошланғич шартлари билан:

$$\bar{x}_1(0) = \{D_1, \bar{x}_2(0) = D_2, \bar{x}_n(0) = D_n, \quad (4)$$

бу ерда $\otimes \oplus$ -норавшан кўпайиш ва қўшиш операторлари; u - қатъий ўлчовга эга бўлган вектор шаклли бошқариш сигнали; $\bar{X} = \{\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n\}$ - векторнинг ҳолатлар фазоси; $\bar{Y} = \{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_m\}$ - чиқиш ўзгарувчиларининг вектори, $\mu_s(S)$ - ҳолатлар фазосининг ҳади; $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ бошқариш объектларининг функциялари.

Модель коэффициентларининг норавшан матрицалари

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{A}_1^1 & \bar{A}_2^1 \\ \dots & \dots \\ \bar{A}_1^n & \bar{A}_n^n \end{bmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} \bar{B}^1 \\ \dots \\ \bar{B}^n \end{bmatrix}, \quad \bar{C} = \begin{bmatrix} \bar{C}_1^1 & \bar{C}_2^1 \\ \dots & \dots \\ \bar{C}_1^n & \bar{C}_n^n \end{bmatrix},$$

бунда $\bar{A}^1_1 = \left\{ \frac{\bar{A}_1^1}{\mu^1_{\bar{A}_1}(A_1^1)} \right\}, \dots, \bar{A}^n_1 = \left\{ \frac{\bar{A}_n^n}{\mu^n_{\bar{A}_n}(A_n^n)} \right\}, \bar{B}^1_1 = \left\{ \frac{\bar{B}_1^1}{\mu^1_{\bar{B}_1}(B_1^1)} \right\}, \dots, \bar{B}^n_1 = \left\{ \frac{\bar{B}_n^n}{\mu^n_{\bar{B}_n}(B_n^n)} \right\},$

$$\bar{C}^1_1 = \left\{ \frac{\bar{C}_1^1}{\mu^1_{\bar{C}_1}(C_1^1)} \right\}, \dots, \bar{C}^n_1 = \left\{ \frac{\bar{C}_n^n}{\mu^n_{\bar{C}_n}(C_n^n)} \right\}.$$

Маълум вақт моментида ўзгарувчини қуйидаги норавшан тўплам сифатида ифодалаш мумкин:

$$\bar{x}_i = \left\{ \frac{\bar{x}}{\mu^1_{\bar{x}_i}(x_i)} \right\}. \quad (5)$$

j - чиқиш ўзгарувчисини худди юқоридагига ўхшаш тарзда ёзамиз:

$$\bar{y}_j(t) = \left\{ t, \frac{y_j}{\mu_{y_j}^1(y_j)} \right\}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

$$\bar{y}_j = \left\{ \frac{y_j}{\mu_{y_j}^1(y_j)} \right\}. \quad (7)$$

Вектор ўзгарувчиларининг бошланғич шартлари ва сонини қуйидаги норавшан тўпламлар шаклида ҳам тавсифлаш мумкин:

$$\bar{D}_i = \left\{ \frac{x_i}{\mu_{\bar{D}_i}^1(x_i)} \right\}, \quad \bar{S} = \{s / \mu_{\bar{S}}(s)\}. \quad (8)$$

Кириш ва чиқиш лингвистик ўзгарувчиларнинг тегишлилик функциялари қуйидаги аналитик функциялар сифатида аниқланади деб тахмин қиламиз:

$$\begin{aligned} \mu_{x_i}^-(x_i) = \varphi(x, a_{x_i}^-, b_{1x_i}^-, b_{2x_i}^-, \beta_{1x_i}^-, \beta_{2x_i}^-) = & ((b_{1x_i}^-(a_{x_i}^- - x))^{\beta_{1x_i}^-} \frac{\text{sign}(b_{1x_i}^-(a_{x_i}^- - x)) + 1}{2} + \\ & + b_{2x_i}^-(x - a_{x_i}^-))^{\beta_{2x_i}^-} \frac{\text{sign}(b_{2x_i}^-(x - a_{x_i}^-)) + 1}{2} + 1)^{-1}. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mu_{y_j}^-(y_j) = \varphi(x, a_{y_j}^-, b_{1y_j}^-, b_{2y_j}^-, \beta_{1y_j}^-, \beta_{2y_j}^-) = & ((b_{1y_j}^-(a_{y_j}^- - y))^{\beta_{1y_j}^-} \frac{\text{sign}(b_{1y_j}^-(a_{y_j}^- - y)) + 1}{2} + \\ & + b_{2y_j}^-(y - a_{y_j}^-))^{\beta_{2y_j}^-} \frac{\text{sign}(b_{2y_j}^-(y - a_{y_j}^-)) + 1}{2} + 1)^{-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

(9) ва (10) ифодалардаги $a_{x_i}^-, a_{y_j}^-, b_{1x_i}^-, b_{2x_i}^-, b_{1y_j}^-, b_{2y_j}^-, \beta_{1x_i}^-, \beta_{2x_i}^-, \beta_{1y_j}^-, \beta_{2y_j}^-$

коэффициентлар кириш ва чиқиш ўзгарувчиларининг тегишлилик функцияларига мос келади. Бундан ташқари, ушбу коэффициентлар боғлиқлик функциясининг ҳар қандай шаклини яратишга имкон беради. Улар ҳолатлар фазоси тенгламаси (3) кўринишида тақдим этилган транспорт оқимининг расмий модели учун норавшанлик кўрсаткичлари сифатида олиниши мумкин.

Кейин норавшан ҳолатдаги (3) тенгламада ифодаланган ва сифат кўрсаткичлари ва чеклашлар тизимидан фойдаланган ҳолда транспорт оқимини бошқариш тизимини синтезлаш масаласи (5) шаклида ифодаланиши мумкин.

Бошқариш сигнали қуйидаги такомиллашган бошқариш сигналига мувофиқ ҳолатлар фазосининг ўзгарувчан қийматларини норавшан тўпламлари асосида ишлаб чиқилади:

$$u(t+1) = ku(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_{x_i} \sum(t) \cdot x_i \sum(t), \quad (11)$$

$$k_{x_1} \sum[t+1] = k_{x_1} \sum[t] (1 - \omega\gamma_3) + \omega(\gamma_5 - \gamma_4) \delta^* [t+1] x_1 \sum[t+1],$$

$$k_{x_2} \sum[t+1] = k_{x_2} \sum[t] (1 - \omega\gamma_3) + \omega(\gamma_5 - \gamma_4) \delta^* [t+1] x_2 \sum[t+1],$$

.....

$$k_{xn} \sum [t+1] = k_{xn} \sum [t](1 - \omega\gamma_3) + \omega(\gamma_5 - \gamma_4)\delta^*[t+1]x_n \sum [t+1], \quad (12)$$

$$k_u[t+1] = k_u[t](1 - \omega\gamma_1) + \omega(\gamma_6 - \gamma_2)\delta^*[t]u_m[t] - \omega\gamma_6\delta^*[t+1]u_m[t+1], \quad (13)$$

бу ерда $t=m\omega$, $\omega>0$ - дискретлаш кадами; $\gamma=\{\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3,\gamma_4,\gamma_5,\gamma_6\}$ - адаптив ростлагичнинг параметрлари; $e_i \sum = \int_{x_i} (x_i, x_{im}) \mu_{e_i}(e_i) dx_i$ - ҳақиқий ҳолат вектори

ўзгарувчилари ва исталган модель параметрлари ўртасидаги номувофиклик сигнали; $\mu_{e_i}(e_i) = \varphi(e_i, a_{ei}, b_{1ei}, b_{2ei}, v_{1ei}, v_{2ei})$ - (9) шаклида берилган номувофиклик сигналининг функцияси;

$a_{ei} = a_{xi} - x_{im}, v_{1ei} = v_{1xi}, v_{2ei} = v_{2xi}, b_{1ei} = b_{1xi}, b_{2ei} = b_{2xi}$; $x_i \sum = \int_{x_i} x_i dx_i$ - ҳолат векторининг

интегралланган ўзгарувчиси; $\delta^*[t] \sum_{i=1}^n h_i \sum h_i$ - ҳал қилувчи Ляпунов тенгламаси ва эталон модели матрицали тенглама ёрдамида олинган коэффицентлар.

Кейинчалик, назорат қонуни норавшан модел асосида синтезланади, бу транспорт оқимини бошқариш алгоритмининг ишончилигини сезиларли даражада оширади. Транспорт оқимини бошқариш тизимининг сифат кўрсаткичлари нафақат $a_{xi}(t), a_{yi}(t)$ бўлганда транспорт оқимининг мумкин бўлган энг яхши динамик тавсифлари асосида, балки унинг норавшанлиги параметрлари асосида ҳам аниқланади.

Ҳаракатланишнинг маълум жадаллиги билан тенг йўлакларнинг кесишиши, кесишган бўлакларнинг тенг сони ва маълум ҳаракат жадаллиги $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ билан тавсифланади. Бундан ташқари, 1 ва 3-ҳаракатларнинг йўналиши 2 ва 4-йўналишларга перпендикуляр. Қуйидаги ҳадни киритамиз: ΔT^u_1 - яшил сигналнинг давомийлиги, яъни йўл тармоғи чорраҳасида транспорт воситаларининг кечикишини умумий вақти V_m минимал бўлиши учун ҳаракатни бошқариш тизимининг параметрларини топиш керак:

$$J(t) = \int_{t_0}^t [y^*(\tau, x(\tau), u(\tau)) - y(\tau, x(\tau), u(\tau))] d\tau \rightarrow \min \quad (14)$$

ёки

$$\sum_i \sum_j [e_i^{13} f^*(u_i^{13} e_i^{13}) + l_i^{13} f_{pn}^{13}(u_i^{13} l_i^{13}) + e_i^{24} f^*(u_i^{24} e_i^{24}) + l_i^{24} f_{pn}^{24}(u_i^{24} l_i^{24})] \rightarrow \min. \quad (15)$$

Чегаравий шартларга кўра,

$$e_i^{13} = q_i^{leaving(13)} - q_i^{arm(13)} \leq 0, \\ e_i^{24} = q_i^{leaving(24)} - q_i^{arm(24)} \leq 0. \quad (16)$$

$$u_{min}^{13} \leq u_i^{13} \leq u_{max}^{13}, u_{min}^{24} \leq u_i^{24} \leq u_{max}^{24}, \quad (17)$$

$$0 \leq l_i^{13} \leq L_{max}^{13}, 0 \leq l_i^{24} \leq L_{max}^{24}, \quad (18)$$

бу ерда $f^*(u_i^{13} \lambda_i^{13})$ ва $f_{pn}^{13}(u_i^{13} l_i^{13})$ мос равишда 1- ва 3-йўналишлардаги транспорт воситаларининг тўхташини баҳолаш функцияси ва светофорнинг тўхташ чизиғи олдидаги навбатнинг узунлиги бўйича жарима функцияси; $f^*(u_i^{24} \lambda_i^{24})$ ва $f_{pn}^{24}(u_i^{24} l_i^{24})$ - мос равишда 2- ва 4-йўналишлардаги транспорт воситаларининг тўхташини баҳолаш функцияси ва светофорнинг тўхташ

чизиғи олдидаги навбатнинг узунлиги бўйича жарима функцияси; u_i – i - даврдаги яшил сигналнинг давомийлиги; $q_i^{leaving(13)}$, $q_i^{arriv(13)}$, $q_i^{leaving(24)}$, $q_i^{arriv(24)}$ – светофорнинг яшил сигналида назорат ҳудудидан ўтаётган транспорт воситаларининг рақамланиши; u_{min} , u_{max} – яшил сигналнинг минимал ва максимал давомийлиги; l^3_i , l^4_i – 1-,3- ва 2-, 4-ўйналишлардаги навбатнинг узунлиги; L_{max} – тўхташ чизиғидан олдин рухсат этилган максимал узунлик. Транспорт оқимларини бошқаришнинг норавшан тизими куйидаги кўринишга эга (1-расм).



1-Расм. Норавшан мантиққа асосланган ҳаракатни бошқариш тизимининг тузилиши.

Тизим куйидагича ишлайди (1-расм): кириш маълумотлар блокаи кузатув камералари, интеллектуал видео сенсорлар, оқим сенсори ва бошқалардан маълумотларни олади. Кейин кириш параметрларини қайта ишлайди, уларни топшириқ – жадаллик хусусиятлари, лингвистик ўзгарувчиларни параметрлари, светофор фазаларининг давомийлиги билан таққослайди ва уларни ишлов бериладиган шаклда норавшан мантиқий блокка ўтказди. Визуаллаш бирлиги кириш ва чиқиш маълумотларини визуал шаклда беради, қабул қилади ва норавшан мантиқий блокка узатади. Фаззификация, норавшанлаштириш ва қарорларни қабул қилиш блоklarини ўз ичига олган норавшан мантиқий блок маълумотлар базаси, шу жумладан лингвистик ўзгарувчилар базаси ва қоидалар базаси ва уларнинг боғлиқлик функциялари билан боғлиқ. Қоидалар базасига асосланиб, бошқариш таъсири тўғрисида қарорлар қабул қилинади.

Декомпозиция ва вазиятли бошқариш усулларига асосланиб, транспорт оқимини бошқаришнинг кўп агентли тизимлар синфидаги тизими синтезланади. Иерархик кўп агентли тақсимланган бошқариш тизимларининг амалга оширилиши ахборотларни ажратиш ва локал ечимларни координациялашни таъминлайди. Ахборотни ажратиш икки канал орқали амалга оширилади, агентларнинг локал қарорларини координациялаш юқори агентнинг тизим ва атроф-муҳитни баъзи кузатувлари асосида локал бирликларга таъсир кўрсатиш ҳуқуқига эга бўлишидан иборат.

Диссертациянинг «**Норавшан усуллар аппарати асосида йўл ҳаракатини бошқариш концепцияси**» номли учинчи бобида, тақсимланган нейро-норавшан бошқариш тизимининг тузилишини синтезлаш масаласи ҳал

қилинаган, энг оптимал структурани қидириш билан реал вақт режимида қайта ишланадиган параметрларни техник жиҳатдан мураккаблиги билан расмийлаштириш қийин бўлган тизим, ўлчаб бўлмайдиган параметрлар, сенсорлардаги хатолик, аниқ математик моделнинг йўқлиги шароитида масала ечилган.

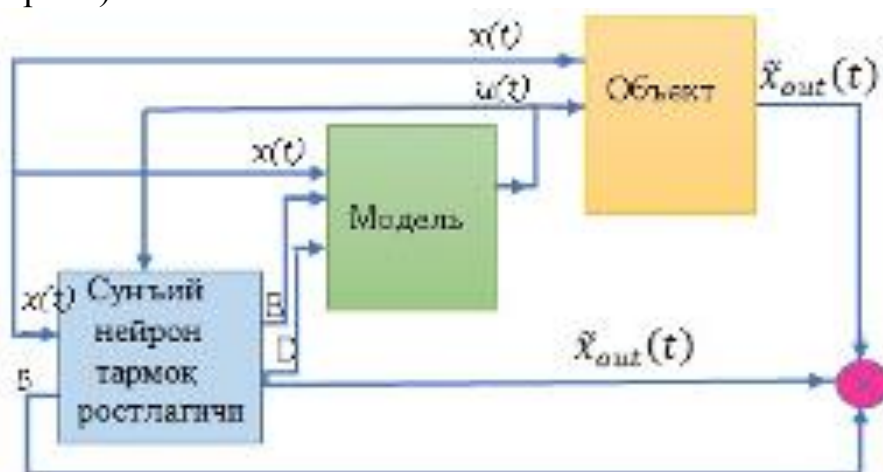
Норавшан мантиқий нуқтаи-назаридан транспорт оқимини тавсифлаймиз:

$$x_{out}(t) = ((x(t)l_L^T) \circ A(u(t)) \circ D - ((x(t)l_L^T) \circ A(u(t)) \circ D - A(u(t)) \circ D - A(u(t) \circ B))l_L^T,$$

бу ерда $x_{out}(t)$ манёврни амалга оширган автомобиллар сони; $u(t)$ – бошқариш таъсири бўлиб, (3) даги бўлгани каби A ва B матрицаларидан ҳам фойдаланамиз.

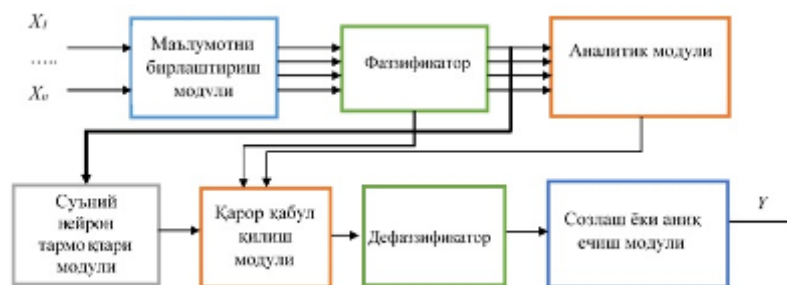
Аниқликни баҳолаш учун $\tilde{x}_{out}(t)$ - манёврни амалга оширган машиналарнинг ҳақиқий сонидан фойдаланамиз. Унда биз $\delta = \|\tilde{x}_{out}(t) - x_{out}(t)\|$, $\delta < \xi$ га эга бўламиз, бу ерда ξ – берилган параметр.

Чорраҳанинг светофор сигнализациясини бошқариш учун кириш параметрлари, модель параметрлари ва белгиланган бошқариш аниқлигини ҳисобга олишга имкон берувчи кўп қаватли сунъий нейрон тармоғида (СНТ ростлагичи) қурилган модель ва ростлагични ўз ичига олган тизим ишлаб чиқилган (2-расм).



2-расм. Транспорт оқимларини бошқаришнинг сунъий нейрон тармоқлари асосида қурилган ростлагичли тизимнинг модели.

Бирок, мураккаб тизимларда бир нечта локал тизимлар иштирок этади, шунинг учун локал светофорлар учун тизимлар (2-расм) каттароқ ва мураккаб тизимларга бирлаштирилган. Ташқи таъсирга эга бўлган бир нечта локал тизимларни бирлаштирган мураккаб тизимнинг тузилиши нейрон тармоқ шаклида ҳал қилувчи элемент (СНТ ростлагичи) томонидан бошқарилади, бу тизимнинг маълум параметрларига кириш ҳуқуқига эга. Сунъий нейрон тармоғи ростлагичи нейрон тармоқ кириш X ва чиқиш Y ўртасида функционал муносабатни амалга оширади ва тизимнинг ахборот модели бўлиб хизмат қилади (3-расм).



3-расм. Транспорт оқимларини бошқаришнинг нейро-норавшан тизимининг архитектураси.

Тизим моделини қуйидаги тенглама билан тавсифлаймиз:

$$x_k(t) = A^k x(t) + \sum_{i=0}^{k-1} A^{k-j-1}(t)Bu(t), \quad (19)$$

бу ерда $x_k(t)$ и $u(t)$ - норавшан тўпламлар. Бошқариш масаласи k кадамда қандайдир бошланғич ҳолатидан собит ҳолатига ўтишини ўз ичига олади. Нейрон тармоқларни рекуррент тескари боғланишлар билан ишлатишда, тенглама мураккаб тизимларни бошқариш имконини беради. Юқоридаги модуллар асосида қурилган нейро-норавшан тизимнинг тузилиши қисқа вақт ичида норавшан тўпламлар билан ишлайдиган кириш маълумотларини ўзгартиришга, юқори даражадаги барқарорликни қўлга киритиб, объектнинг кўп ўлчовлилиги учун зарур бўлган ўзгарувчини танлашга имкон беради. Бир гуруҳ чорраҳалар учун тизимнинг тузилиши 4-расмда кўрсатилгандек кўринишга эга.



4-расм. Бир гуруҳ чорраҳаларни нейро-норавшан бошқариш тизими.

Вазиятли бошқариш парадигмасидан фойдаланган ҳолда нейро-норавшан мантиқ ва содда ҳисоблаш асосида автоматлаштирилган ҳаракатни бошқариш тизимининг модели таклиф этилган, унда мавжуд вазиятни бошқариш қарорига мувофиқ, боғлиқлик функциясининг баъзи қийматлари бўйича таснифлаш, бу эса тўлиқ бўлмаган маълумот шароитида барқарор бошқаришни шакллантириш ва тузилмани ўзгартиришга мослашиш имконини беради. Нейрон тармоқ ва фаоллаштириш функциясига асосланиб,

қарорларни қабул қилиш модули томонидан фаззификациялаш аниқ бошқаришнинг чиқиш сигналларини ҳосил қилади.

Транспорт оқими бошқариш объекти сифатида нотурғунлигини сабаби сифатида куннинг турли вақтларида унинг хусусиятларини ўзгарувчанлиги, нейро-норавшан бошқариш усулларининг эҳтимолий башоратлаш усули билан қўлланилиши кўрсатилган.

Транспорт оқимини бошқаришнинг интеллектуал тизимлари самарадорлигини оширишга нейро-норавшан ёндашувлар ёрдамида эришиш, шунингдек катта маълумотларни қайта ишлаш, уларни тўплаш, таҳлил қилиш ва шу асосда, норавшан бошқариш ва қарорлар қоидаларини ишлаб чиқиш ва устуворлик бериш; норавшан-мантикий ечимлардан фойдаланган ҳолда йўл ҳаракати ҳолатини симуляция қилиш; светофор фазасини бошқаришни нейро-норавшан алгоритминини ишлаб чиқиш; юқори даражадаги тизимларда маълумотларни қайта ишлаш билан локал бошқариш тизимларида ишлатиладиган интеллектуал кузатув воситаларидан фойдаланиш; транспорт воситаларини таснифлашнинг нейро-норавшан усулларини қўллаш; глобал бошқариш доирасидаги барча даражалар ва қуйи тизимларнинг ўзаро таъсири билан эришиш мумкин.

Юқоридаги ёндашувларга мувофиқ ишлайдиган йўл транспорт оқимларини бошқаришнинг интеллектуал тизимининг концептуал схемаси, техник воситаларнинг кенг имкониятлари, маълумотларга марказлаштирилган равишда ишлов бериш, мавжуд бўлган барча манбалардан олинган маълумотлар асосида транспорт оқимини тез таҳлил қилиш ва улар учун автоматик равишда ечимлар яратиш, шу жумладан, чорраҳалар ва пиёдалар ўтиш жойларида светофорлар учун бошқариш маълумотларини ҳисобга олиш имконини беради.

Диссертациянинг «**Транспорт оқимларини бошқариш тизимларида тасвирларга ишлов бериш алгоритмларини ишлаб чиқиш**» номли тўртинчи бобида тасвирларни филтрлаш усулларини қўллаш асосланган; олинган якуний баҳонинг аномал таъсирга нисбатан юқори сезгирлиги талаб қилинадиган ва тахминий аналитик усулларнинг юқори ҳисоблаш қобилияти мавжуд бўлган ҳолатлар учун априор норавшанликдаги блокли шакл асосида Калман типдаги филтрни қуриш алгоритми ишлаб чиқилган.

Агар тасвир стационар бўлмаган тасодифий жараён бўлса, унда унинг статистик хусусиятлари ҳақида априор маълумотнинг йўқлиги, фойдали сигнални баҳолашда хатоликка олиб келади. Калман филтри коэффицентларини махсус усулда танлаш филтрни оқилона бажариш: шовқинни бостириш ва динамик филтрлаш хатоларини кўпайтирмасликка имкон беради. Мослашувчан филтрлаш муаммосини ҳал қилиш учун Калман филтридан фойдаланганда, кузатилаётган жараён оптимал филтр коэффицентларининг векторидир. Бундай ҳолда, Калман филтрининг мақсади $i(k)$ векторнинг тасодифий жараёни тахмин қилинган қийматнинг σ тафовутини минималлаштиришдир, у вақт бўйича қуйидагича ўзгаради:

$$i(k+1) = \Lambda(k)i(k) + v(k), \quad (20)$$

бу ерда $\Lambda(k)$ – ўтиш матрицаси; $R_p(k)$ корреляцион матрица билан нормал тақсимотга эга бўлган $v(k)$ тасодифий вектор (жараён шовқини). Кузатиш учун чизикли ўзгартирилган $j(k)$ жараён кузатув шовқини кўшилади:

$$j(k) = H(k)i(k) + w(k), \quad (21)$$

бу ерда $H(k)$ – кузатиш матрицаси, $w(k)$ – шовқин, бу $Q_M(k)$ корреляция матрицаси билан нормал тақсимотга эга бўлган тасодифий вектор.

Калман филтрлаш усуллари доирасида кириш маълумотларини ишлов беришнинг дискрет алгоритми қуйидагича:

$$\begin{aligned} i_0(k|k-1) &= \Lambda(k)i_0(k-1) + B(k)U(k) + D(k)F(k); \\ i_0(k) &= i_0(k|k-1) + \sum_{i=1}^N K_i(k)\{z_i(k) - H(k)i_0(k|k-1)\}; \\ K_i(k) &= S_i(k)P(k|k-1)H^T\{H(k)P(k|k-1)H^T(k) + V_{vi}[k]\}^{-1}; \\ P(k|k-1) &= G(k)V_w(k)G^T(k) + \Delta(k)P(k-1)\Lambda^T(k); \\ P(k) &= P(k|k-1) - \sum_{i=1}^N K_i(k)H(k)P(k|k-1), \quad i=1, \dots, N, \end{aligned} \quad (22)$$

бу ерда $z_i(k)$ – кузатиш вектори; $z_0 = H(n)i_0(n/n-1)$ – кузатув баҳоларининг вектори; $i_0(n)$ – ҳолат векторининг баҳоси; $i_0(k|k-1)$ – ҳолатни башорат қилиш векторини баҳолаш; $\Lambda(k)$ – ўтиш матрицаси; $H(k)$ – кузатиш матрицаси; $K_i(k)$ – коэффицентлар матрицаси; $P(k|k-1)$ – ҳолат векторининг дисперсия матрицаси; $P(k)$ – ҳолат векторини баҳолаш дисперсияси матрицаси; $U(k)$ – бошқариш вектори; $F(k)$ – объект чиқишида ўлчанган сигналларнинг вектори; $B(k)$ – бошқариш коэффицентларининг матрицаси; $D(k)$ – ўлчаш коэффицентларининг матрицаси; $S_i(k)$ – ўлчаш турининг белгиси ёки ўлчашнинг йўқлиги $S_i(k)=0$.

Калманнинг узлуксиз филтри қуйидаги шаклга эга:

$$\begin{aligned} \frac{di_0}{dt} &= \Lambda(t)i_0(t) + B(t)U(t) + D(t)F(t) + \sum_{i=1}^N K_i(t)z_i(t) - H(t)i_0(t); \\ \frac{dP(t)}{dt} &= V_w(t) + \Phi(t)P(t) + P(t)\Phi^T(t) - P(t)H^T(t)V_v^{-1}(t)H(t)P(t), \end{aligned} \quad (23)$$

бунда $z_i(t)$ – кузатишлар вектори; $z_0(t) = H(t)i_0(t)$ – кузатув баҳоларининг вектори; $x_0(t)$ – ҳолат векторининг баҳоси; $\Lambda(t)$ – ўтиш матрицаси; $P(t)$ – корреляция матрицаси; $H(t)$ – кузатиш матрицаси; $K_i(t) = S_i(t)P_i(t)H^T(t)V_{vi}^{-1}(t)$ – коэффицентлар матрицаси; $U(t)$ – бошқариш вектори; $F(t)$ – объект чиқишида ўлчанган сигналларнинг вектори; $B(t)$ – бошқариш коэффиценти матрицаси; $D(t)$ – ўлчаш коэффицентлари матрицаси; $S_i(t)$ – ўлчаш турининг кўрсаткичи ёки ўлчашларнинг йўқлиги $S_i(t) = 0$.

Кузатилган сигналнинг башорат қиймати: $(k) = j(k) - \hat{j}(k)$, кейин

$$\begin{aligned} P(k-1)C^T(k) \times (C(k)P(k)C^T(k) + Q_M(k))^{-1} &= \Gamma(k), \\ \hat{j}(k) &= C(k)\Lambda(k)\hat{i}(k-1). \end{aligned}$$

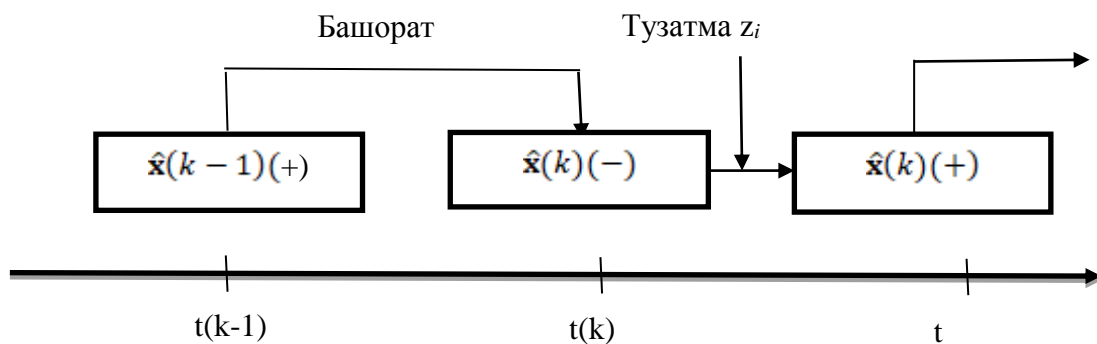
Башорат қилинган ва амалда кузатилган сигналлар ўртасидаги фарқ ёки фарқлар бўлса: $e(k) = j(k) - \hat{j}(k)$, унда

$P(k-1)C^T(k) \times (C(k)P(k)C^T(k) + Q_M(k))^{-1} = \Gamma(k)$, – Калман кучайтириш коэффициентлари. Тизим ҳолат векторини, ҳолат векторини баҳолаш орқали экстраполяциялаш ва бошқариш векторига нисбатан $(k-1)$ босқичдан k босқичгача: $\hat{i}(k) = \Lambda(k)\hat{i}(k-1) + \Gamma(k)e(k)$ – k кадр учун ҳолат векторининг апостериор баҳоси, векторнинг ўлчами филтърнинг тартиби билан аниқланади (5-расм).

Филтърлаш хатоларининг корреляция матричасини янгиланган баҳоси қуйидагича:

$$P(k) = \Lambda(k)[P(k-1) - \Gamma(k)C(k)P(k-1)]\Lambda^T(k) + Q_M(k),$$

бу ерда $Q_M(k)$ – баъзи бир тасодифий ўзгарувчининг ковариацион матричаси, шунинг учун унинг изи манфий эмас. Излашнинг минимал қийматига охириги қўшилувчи нолга тенг бўлганда эришилади: $\Gamma(k) = P(k-1)H^T(k)S^{-1}(k)$.



5-расм. Калман филтърини $k-1$ -қадамда ишлашини кўрсатувчи схема.

Ушбу матрица керакли бўлган ва Калман филтърда коэффициентлар матричаси сифатида фойдаланилганда ҳолат векторини баҳолаш хатоликларининг ўртача квадратлари йиғиндисини минималлаштиради. Коэффициентларда детерминистик ўзгаришлар мавжуд эмас, деб фарз қилинади, шунинг учун ўтиш матричаси бирлик матрицадир: $\Lambda(k) = I$. Кузатиш матричаси сифатида $u(k)$ филтърнинг кечикиш чизиғининг таркибий вектори ишлатилади. Шундай қилиб, филтърнинг чиқиш сигнали кузатилаётган сигналнинг тахмин қилинган қиймати бўлиб, адаптив филтърнинг намунавий сигнали $d(k)$ кузатилган сигналнинг ўзи каби ишлайди. Кузатиш шовқини бу ҳолда мос ёзувлар сигналини такрорлашда хатолик бўлади ва Q_M матричаси скаляр параметрга, хатолик сигналнинг ўртача квадратига айлантирилади. Агар стационар тасодифий жараён филтърланган бўлса, оптимал филтърнинг коэффициентлари доимий бўлиб, биз $R_p = 0$ ни оламиз.

Диагональ матричаси Q_p сифатида филтърни кириш сигналлари статистикасида секин ўзгаришларни кузатиб бориш учун ишлатилиши мумкин. Натижада, юқоридаги формулалар (21-22) қуйидаги шаклни олади: $j(k) = u^T(k)\hat{w}(k-1)$ – филтърнинг апостериор чиқиш сигнали (намунавий сигналнинг башорат қилинган қиймати); $e(k) = d(k) - j(k)$ – филтър қолдиғи;

$$\Gamma(k) = \frac{P(k-1)u(k)}{u^T(k)P(k-1)u(k) + Q_M(k)}$$
 – фильтрнинг қидирилаётган кучайтириш коэффициентлари; $\hat{w}(k) = \hat{w}(k-1) + \Gamma(k)e(k)$ – фильтр коэффициентларининг баҳолари; $P(k) = P(k-1) - \Gamma(k)u^T P(k-1) + R_p$ – баҳолаш хатолиги.

w векторнинг бошланғич қиймати одатда нолга тенг бўлади ва CI матричасининг диагонал матричаси P матричасининг бошланғич баҳоси сифатида ишлатилади. Калман филтридан фойдаланиб, таниб олиш жараёнида қайта ишлаш учун зарур бўлган объектлар танланди, баъзи объектлар олиб ташланди. Бу Калман филтрининг камчиликларидан бири бўлиб, аномал кузатувлар, объектларнинг сояси, бузилган тасвир соҳаларининг кўриниши каби аномал таъсирларнинг таъсири билан боғлиқ ҳолда олинган баҳолашнинг юқори сезгирлиги билан боғлиқ. Калман филтри ёрдамида тасвирларга ишлов беришда тизим матрицаларининг катта ўлчамлари билан боғлиқ муаммо юзага келади, натижада ҳисоблашнинг вақтини ва ҳажмини, шунингдек ҳисоблаш ресурсларини истеъмол қилишга олиб келди.

Диссертациянинг «**Чуқур нейрон тармоқларини математик аппарати ва машинали ўқитиш усуллари ишлаб чиқиш**» номли бешинчи бобида транспорт оқимлари объектларининг шовқинларини бартараф этиш ва тасвирларни тиклаш учун параметрларни аниқлаш ва таниб олишнинг параметрик бўлмаган усуллари кўриб чиқилган; ўрамли нейрон тармоқлари ёрдамида тасвирларни таниш усуллари ва алгоритмларини қўллаш натижалари келтирилган.

Тасвирларни танишда эҳтимоллик зичлигини тиклаш масалаларини ечиш учун ўлчаш натижаларини тақсимланиш қонунлари ва регрессия функциялари ҳақидаги априор ахборотни билишни талаб эмайдиган нопараметрик усуллардан фойдаланилган. Параметрик бўлмаган ҳисоб-китобларни куришда силлиқлаш параметрини танлаш энг муҳим ролни бажаради, бунда олинган ҳисоб-китобларнинг тўғрилигига жиддий боғлиқдир.

Зичликни тиклаш усуллари кўриб чиқилаётган нуқтанинг маълум бир атрофига тушган танлангани ўқийдиган объектларнинг сонини ҳисобга олиш учун ишлатилади. Кўрилаётган нуқта атрофида жойлашган объектлар сони қанчалик кўп бўлса, бу нуқтадаги зичликнинг қиймати шунчалик катта бўлади. Ядро усуллари, k яқин кўшнилари усули билан солиштирилиб, қўлланилиши кўриб чиқилган.

Ойнали (ядроли) функциялар ёрдамида ҳисобланадиган тақсимланиш зичлиги куйидаги ифода билан тавсифланади:

$$\hat{p}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right), \quad (24)$$

бу ерда n – намуна ҳажми; K – ядроли (ойнали) функцияси; h – ойна кенглиги; x – тасодифий намуна; x_i – i -тасодифий ўзгарувчининг бажарилиши. Кўп ўлчамли ҳолатда, зичликни зичликнинг баҳоси

$\hat{p}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \frac{1}{h_j} K\left(\frac{x^j - x_i^j}{h^j}\right)$ каби ёзилади, бу ерда m – фазо катталиги, ядро -

тақсимланиш зичлигини қайта тиклаш учун ишлатиладиган функция, узлуксиз бирлик интеграл билан чегараланган функция:

$$\begin{aligned} \int K(y)dy &= 1 \\ \int yK(y)dy &= 0, \quad \int y^i K(y)dy = k_i(K) < \infty. \end{aligned} \quad (25)$$

(25) функция $K(y) \geq 0$, $K(y) = K(-y)$ хусусиятларига эга. Ядро номанфий чегараланган симметрик ҳақиқий функцияда бўлиб, унинг интеграллари бирга тенг, статистик моментлари чексиз бўлиши керак. Ойнининг оптимал ўлчами

$$\left(\frac{R(K)}{k_2^4(K)S_D(a(h_{opt}))}\right)^{1/5} n^{1/5} - h_{opt} = 0 \text{ шартдан топилади.}$$

Парзен-Розенблатт усулидан фойдаланиб, тасодифий кетма-кетликнинг тақсимланиш функциясини тарқоклик чегараланган соҳаси билан аппроксимацияси қурилган:

$$F(x, x_0, \sigma, l) = \int_{x_{\min}}^x f(\xi, x_0, \sigma, l) d\xi, \quad (26)$$

бу ерда

$$f_{\text{lim}}(x, x_0, \sigma, l) = R[\phi(x, x_0, \sigma, l) + \sum_{n=0}^{\infty} \phi_{2n+1}^{\pm}(x, x_0, \sigma, l) + \sum_{n=1}^{\infty} \phi_{2n}^{\pm}(x, x_0, \sigma, l)],$$

x_0 – координата боши $[x_{\min}, x_{\max}]$ кесманинг марказида жойлашган координаталар тизимида тарқалиш маркази жойлашган нукта, σ - чекловлар бўлмаганида тасодифий функциянинг ўртача квадратик оғиши (ЎҚО), $l = x_{\min} - x_{\max}$ – тарқалиш соҳаси, R – нормаллаштирувчи коэффициент, $x_{2n+1}^{\pm}, x_{2n}^{\pm}$ қуйидаги формулалар билан аниқланади:

$$x_{2n}^{\pm} = \pm 4nl + x_0, \quad x_{2n+1}^{\pm} = \pm(4n-2)l - x_0.$$

Тасвирдаги объектларнинг тақсимланиши жуда нотекис бўлганлиги учун Парзен усулидан фойдаланган ҳолда ҳал қилувчи қоида билан ўзгарувчан кенгликдаги ойнани ишлатамиз:

$$a(x, X^l, k, K) = \arg \max_{y \in Y} \lambda_y \sum_{i=1}^l [y_i \equiv y] K\left(\frac{\rho(x, x_i)}{h}\right), \quad (27)$$

$$h = \rho(x, x^{(k+1)}),$$

$X_{i,j}, i = \bar{1}, \bar{N}$, шаклнинг зичлигини қуйидагича баҳолаш билан оламиз:

$$\rho_{y,h}(x) = \frac{1}{lV(h)} \sum_{i=1}^l [y_i \equiv y] K\left(\frac{\rho(x, x_i)}{h}\right), \quad (28)$$

бу ерда $K(\theta) - h$ кенгликдаги ойна ёки ядронинг ихтиёрий жуфт функцияси, ўсмайди ва $[0,1]$ сегментда w вазн билан мусбат бўлади:

$$w(i, x) = K\left(\frac{\rho(x, x^i)}{h}\right), \quad K(z) = \frac{1}{2} [|z| < 1].$$

Намунанинг кичик ўлчамларида икки ўлчамли тақсимот параметрларининг матрицаси сингуляр бўлади ва ойна кенглигининг кичик

қийматлари учун бу усул танланган қадамга боғлиқлик ва хатоларга беқарорлик каби ўзига хос хусусиятларга эга бўлган k -яқин қўшнилар усулига туширилади. Бундай ҳолда, тақсимланиш зичлигига $\rho_{yh}(x)$, функция ва ойна кенглигига шарт қўйиш керак бўлади. Шунга кўра, тасвирлар тўпламидаги маълумотлар миқдори ўсади. Аммо шунга ўхшаш муаммони ўлчамларни камайтириш усуллари билан ҳал қилиш мумкин. Катта маълумотлар тўпламига эга бўлган ҳолда, сўров нуқтасига энг яқин қўшни нуқталарни топишнинг самарали механизми талаб қилинади, чунки ҳар бир нуқтага масофани ҳисоблаш усули жуда узоқ давом этади. Бу каби муаммоларни ҳал қилиш учун ўралувчи нейрон тармоқлари муқобил ёндашув сифатида қаралади.

Тўқнашувларни куриш усулларидадан фойдаланиб, тасвирни таниб олиш механизми ишлаб чиқилган, шундан сўнг ўралувчи нейрон тармоқлари асосида шовқин ва қоришмалар мавжудлигида кичик танланмадаги тасвирларни таниб олиш ва тиклаш алгоритми яратилган. Хатоликларни қайта тарқалиш усулига асосланган ўралувчи нейрон тармоғини ўрганиш механизми ишлаб чиқилди. 6-расмда кўрсатилган ўрамли (тугунли) нейрон тармоғи турли хил: ўралган қатламлар, танловости қатламлардан иборат. Йиғиш жараёнида фақат кичик вазнининг чекланган матрицаси ёки 3×3 ойнадан фойдаланилади, у бутун ишлов бериладиган қават бўйлаб ҳаракатланади (энг бошида - тўғридан-тўғри кириш тасвири устида) ва ҳар сурилишдан кейин худди шундай позицияга эга бўлган кейинги қават нейрони учун сигнализация ҳосил қилади.

Ўралган ва субдискретланган (пулинг) қатламларнинг навбатма-навбат келиши етарлича кам ўқитилган параметрлар билан хусусиятларни ажратиб олишни таъминлаш учун амалга оширилади.

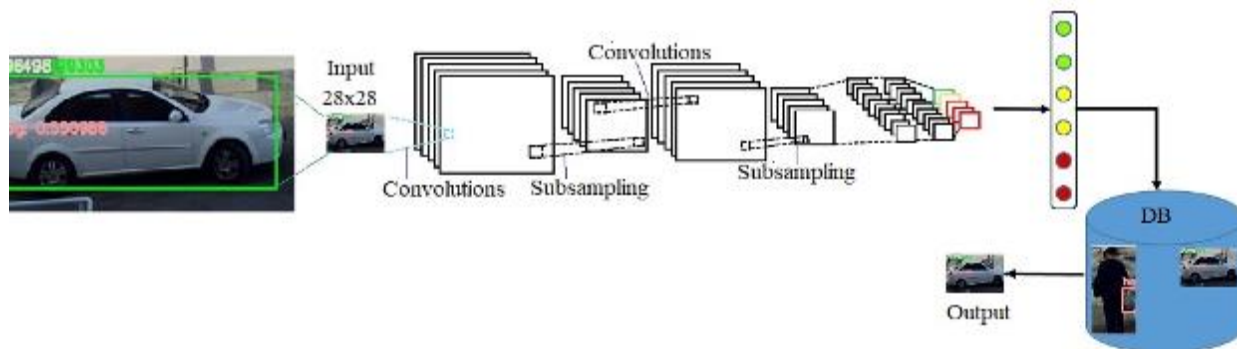


6-расм. Тасвирлар объектларини таснифлаш учун қурилган ўралган (тугилган) нейрон тармоғининг структураси.

Объектлар маълумотлар базасини шакллантириш жараёнида ўралган нейрон тармоғини ўргатиш жараёнида улар кетма-кет ўқув маълумотлар тўпламидан фойдаланишга асосланган градиентни ҳисоблаш босқичларидан ўтказилади. Катта маълумотлар базасида ўқитилган модель яхшироқ

умумлаштирилиши аниқланди. Шовқин пайдо бўлганда, шовқин турига қараб филтрлаш усуллариинг қўлланилиши кўрсатилган.

Ушбу ишда битта кириш қатлами, иккита ўралган ва иккита суюдискретланган қатламли сунъий нейрон тармоғи яратилган бўлиб, кириш қатлами $1 \times 28 \times 28$, биринчи ўралган қатлами $32 \times 24 \times 24$ ва биринчи осттанланма қатлами $32 \times 12 \times 12$ ўлчамга эга. Берилган қатламлар белгиларнинг 10 та харитасидан иборат. Ўрамнинг иккинчи қатлами 10×10 , субдискретлаш қатлами 5×5 ўлчамга эга. Тармоқнинг тузилиши 6-7-расмларда келтирилган.



7-расм. Тасвирларни объектларини таснифлаш учун маълумотлар базасини шакллантириш

Танланган тармоқни ўқитиш, вариациялаш ва тестдан ўтказиш йўли билан давр (итерация) ларнинг оптимал сони аниқланган. Натижада, йўқотиш функцияси 3-12 ни ташкил этди ва турли хил объектларда таниб олиш фоизи 56 дан 97 гачани ташкил этди. Дастур объектлари маълумотлар базасида 80 га яқин объектлар, шу жумладан одамлар, хайвонлар, ўсимликлар, турли хил транспорт воситалари ва бошқалар мавжуд. Хатоликлар сони 3-12 % ни ташкил этди.

Диссертация ишининг натижалари дастурий таъминотни тажриба-синовидан ўтказилган.

Синов натижалари тасвирларни идентификациялашнинг таклиф этилган моделлари, алгоритмлари ва дастурий мажмуасининг техник-иқтисодий самарадорлигини кўрсатди.

Диссертация ишида таклиф қилинган усул ва алгоритмларнинг турли объектлардаги реал шароитларда амалга оширилиши ижобий натижаларни берди.

Ҳарбий объектларда тасвирларни таниб олиш алгоритмлари ва дастурларини амалга оширилиши натижасида транспорт воситаларининг ҳаракати пайтида критик вазиятларни аниқлаш ҳамда таҳлилнинг осттизимлари унумдорлигини 12-15 % га ошириш имконини берди.

ХУЛОСА

Диссертацияда тизимли таҳлил, тизимлар назарияси, математик таҳлил, статистик таҳлил усуллари, шунингдек, норавшан мантиқ ва сунъий нейрон тармоқлари усуллари асосида транспорт оқимлари каби тақсимланган объектларни бошқаришнинг адаптив тизимларини яратиш концепцияси ишлаб чиқилган. Натижада қуйидаги илмий натижалар олинган:

1. Транспорт оқимини бошқаришнинг оптималлаштириш муаммоларини ҳал қилишга асосланган усуллар, транспорт оқимлари моделлари, бошқариш мезонлари таҳлили натижасида бошқариш объекти анъанавий бошқариш тизимини қуриш учун априор маълумотлар етарли бўлмаган мураккаб тизим эканлиги ва ушбу муаммони ҳал қилиш учун мураккаб динамик заиф детерминанланган кўп параметрли тизимларнинг математик моделларини қуриш ва адаптациялашни таъминловчи ёндашувларнинг зарурлиги аниқланган, априор ноаниқликни бартараф этиш учун танланмаларнинг етарли бўлмаган сони мавжуд бўлмаганда маълумотлар ҳажми катта ва шовқинланганлик шароитларида нейрон тармоқли ва норавшан алгоритмларни қўллаш лозимлиги кўрсатилган.

2. Декомпозициялаш усули билан йўл ҳаракатини бошқаришнинг мураккаб тизими амалга оширилган бўлиб, транспорт оқимининг жадаллиги ошганда бошқариш объектининг нотурғунлигидан келиб чиқиб, норавшан-мантиқий ва мультиагентли ёндашувдан фойдаланиб, амалга оширилган тизим учун мураккаб объектларни бошқаришнинг норавшан қоидалари олинган.

3. Светофорли сигналлаш тизимини бошқариш учун норавшан-мантиқий хулоса асосида йўл ҳаракатини бошқариш тизимининг модели ишлаб чиқилган, светофорларни адаптив бошқаришни таъминлаш ва берилган йўналиш бўйича яшил кўча режимини яратиш учун алоҳида светофор ва уларни гуруҳи ҳамда кўча-йўл тармоғи учун лингвистик ёндашув амалга оширилган.

4. Экспертли тизимлар турига мансуб бўлган, нейрон тармоқларини ўқитиш асосида ўтказилган робастли бошқаришни ечимига мос равишда тегишлилик функцияларини баъзи қийматлари бўйича жорий вазиятни таснифлаш ҳамда вазиятли бошқариш парадигмасидан фойдаланиб, нейро-норавшан мантиқ ва юмшоқ ҳисоблашлар асосида йўл ҳаракатини бошқаришнинг автоматлаштирилган тизимини модели ишлаб чиқилган.

5. Адаптив синфдаги нейро-норавшан эҳтимолий тармоқни таснифлаш усули асосида бошқариш тизими моделларининг тузилиши ишлаб чиқилган бўлиб, у иш шароитларини ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда ахборотларни келиши бўйича маълумотларга ишлов бериш тезлиги ва имкониятини юқорилиги, амалга оширишнинг соддалиги билан тавсифланади.

6. Аномал таъсирга нисбатан натижаловчи баҳоларнинг юқори сезгирлигини талаб қилувчи ҳолатлар учун априор ноаниқликдаги блокли шакл асосида Калман типидagi филтрни қуриш алгоритми ишлаб чиқилган бўлиб, у тасвирларни қайта тиклаш масаласини ҳал қилиш имконини беради.

7. Кичик танланма ва аппликатив халақитлар (объектни сояга қолиши натижасида тасвирни шовқинланиши, бузилган соҳалар, суркалишлар) мавжуд бўлган шароитларда Парзен-Росенблатнинг нопараметрик усули асосида тасвирларни таниб олишнинг гибрид алгоритми олинган бўлиб, у априор ахборотлар мавжуд бўлмаган шароитларда ҳам яхши турғунлик ва мувофиқликни кўрсатди.

8. Ўралган нейрон тармоғини яратиш, уни кичик танланмалар ва аппликатив халақитлар мавжудлиги шароитларида ўқитиш масалалари ечилган, ўралган нейрон тармоғининг архитектураси қурилган; таснифлагични қуриш ва тасвирдаги объектларни ажратиш, ўрамдаги қатламларни қуриш, белгиларни ажратиб олиш билан субдискретлаш орқали ўралган нейрон тармоқларини яратиш механизми амалга оширилган.

9. Кўча йўл транспорти тармоғи каби мураккаб тизимлар синфидаги тақсимланган объектларни адаптив бошқариш концепцияси ва услубияти ишлаб чиқилган. Таклиф этилган концепция ва услубият юзага келиши мумкин бўлган критик ҳолатларга қарши чораларни, шунингдек кўча йўл тармоғи объектларини узлуксиз ишлаши ва адаптив бошқарилишини таъминлаш имконини беради.

10. Тасвирдаги объектларни таниб олиш, таснифлаш ва идентификациялаш имконини берадиган дастурий таъминот яратилган. Бунда, йўқотишлар функцияси 3-12 ни, турли хил объектларда таниб олиниш фоизи 1,5 секунддан ортиқ бўлмаган созлаш тезлигида 56 дан 97 гачани ташкил этди. Дастурий таъминот объектларининг 80 объектдан иборат базаси яратилди, унга одамлар, ҳайвонлар, ўсимликлар, йўл транспорти ва бошқалар киради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSC.03/30.12.2019.Т.03.02
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА

ВАРЛАМОВА ЛЮДМИЛА ПЕТРОВНА

**НЕЙРО-НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА
АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ
ПОТОКАМИ**

05.01.08 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc)
ДИССЕРТАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2020

Тема докторской (DSc) диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №B2020.3.DSc/T321

Диссертация выполнена в Национальном университете Узбекистана.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный консультант: **Марахимов Авазжон Рахимович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Исмаилов Мирхалил Агзамович**
доктор технических наук, профессор

Каипбергенов Батирбек Тулабергенович
доктор технических наук, профессор

Ташманов Ержан Байматович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Ташкентский государственный транспортный университет**

Защита диссертации состоится «9» 12 2020 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №189). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.)

Автореферат диссертации разослан «27» 11 2020 г.
(реестр протокола рассылки № 28 от «19» 11 2020 г.)



Н.Р.Юсупбеков
Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз

У.Ф.Мамиров
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Х.З. Игамбердиев
Председатель Научного семинара
при научном совете по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации В мире в последнее время в области автоматизации технологических процессов и производств особое внимание уделяется разработке методов и алгоритмов синтеза адаптивных систем управления технологическими объектами различного функционального назначения. Транспортные потоки в полной мере можно отнести к технологическим объектам. В этой области разработка нейро-нечетких алгоритмов адаптивного управления транспортными потоками в крупных городах является одной из важных задач. Создание адаптивных систем автоматизированного управления сложными системами транспортными потоками на основе нечетко-логического подхода и искусственных нейронных сетей с распознаванием объектов изображений имеет особую значимость в условиях быстрорастущих мегаполисов, а также в других интеллектуальных системах. Распознавание и идентификация изображений в системах с обработкой разнотипной и разнородной информации в условиях неопределенности и их последующая идентификация с целью решения задач оптимизации, играют особую роль при создании и проектировании сложных систем в рамках глобальных smart систем.

В мире проводятся научно-исследовательские работы по созданию интеллектуального подхода к проектированию систем автоматизации процессов управления транспортными потоками, направленные на решение ряда задач обеспечения беспрепятственного движения в условиях растущей интенсивности и плотности транспортного потока при идентификации объектов и участников дорожного движения в условиях неполной или нечеткой исходной информации. В связи с чем, совершенствование и модификация методов и алгоритмов управления сложными распределенными объектами на основе концепции нейро-нечеткого подхода, методов и алгоритмов интеллектуальной обработки входных визуальных данных, является важной задачей.

В Республике Узбекистан проводятся исследования по созданию и проектированию адаптивных систем управления сложными объектами, транспортными системами на основе поддержки управленческих решений дорожным движением с применением концепции нечеткой логики, многоагентного подхода с распознаванием и идентификацией объектов транспортных потоков. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг. определены следующие задачи: «создание эффективных механизмов внедрения научных и инновационных достижений в практику, ... внедрение современных технологий и их использование»¹. Проводимая Правительством Республики Узбекистан политика по широкому внедрению и развитию инновационных технологий в республике направлена на «развитие «умной» городской транспортной

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», УП-4947 от 7 февраля 2017 года.

системы, появление новых транспортных сервисов и видов транспорта, систем контроля и управления транспортным потоком.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлениями Президента Республики Узбекистан №ПП-1730 от 21 марта 2012 г. «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий», №ПП-3151 от 27 июля 2017 г. «О мерах по дальнейшему расширению участия отраслей и сфер экономики в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием» и №ПП-3682 от 27 апреля 2018 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов».

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии в Республике – IV. «Развитие информатизации и информационно - коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации². Научные исследования направленные на разработку математических основ теории управления, методов, эффективных алгоритмов, программного обеспечения для решения задач управления транспортными потоками активно развиваются в ведущих научных центрах Мира и высших образовательных учреждениях, в том числе, Московском государственном техническом университете им. Баумана, Московском физико-техническом институте, Петербургском государственном университете путей сообщения, Красноярском институте космических и информационных технологий (Россия), Тульском государственном университете (Россия), Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (Россия), центрах и лабораториях при Калифорнийском университете, Princeton University, State University of New York, Stanford University, University of Texas at Austin, University of Oklahoma, University of Science and Technology (США), Берлинском национальном университете (Германия), University of Munich (Германия), Ташкентском Государственном техническом университете имени Ислама Каримова, Туринский политехнический институт, Инновационный центр при Ташкентском университете информационных технологий (Узбекистан).

В результате анализа исследований, проведенных в мире по совершенствованию существующих и созданию методов и алгоритмов синтеза

² Обзор научных исследований по теме диссертации составлен на основании <https://elibrary.ru>, <http://ieeexplore.ieee.org/document/824819>, <http://www.mathnet.ru/rus/agreement>, www.asucontrol.ru, www.sial.iias.spb.su, <http://www.ipu.ru>, <http://cyberleninka.ru>, <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=21073>, https://nl.wikipedia.org/wiki/Pieter_Eykhoff, https://books.google.ru/books/about/Optimum_systems_control.html, https://books.google.ru/books/about/System_identification.html, <http://terraelectronica.ru>, http://uk.farnell.com/static/findings/DF10/findings10_aducs.htm и других источников.

адаптивных систем управления транспортными потоками, а также совершенствованию систем управления, получен ряд результатов, в том числе созданы методы и алгоритмы адаптивного управления на базе нечетко-логического вывода (University of California, Massachusetts Institute of Technology, Princeton University, State University of New York, Stanford University, University of Texas at Austin, University of Oklahoma, University of Science and Technology, США; Czech Technical University, Республика Чехия); разработаны системы управления с нейро-нечетким регулятором (Helsinki University of Technology, Финляндия) разработаны системы управления на базе искусственных нейронных сетей (Taegu University, Корея); интеллектуальные системы управления (Московском автомобильно-дорожном институте, Петербургском государственном университете путей сообщения, Красноярском институте космических и информационных технологий, Российская Федерация); разработаны методы синтеза адаптивных систем управления с многоуровневым нечетко-логическим регулятором (Puerto Rico University, Пуэрто-Рико; Pamukkale University, Турция; Mohammadia School of Engineers, Марокко; University of Nevada, США).

В мире дальнейшее развитие существующих и созданию новых методов и алгоритмов синтеза адаптивных систем управления транспортными потоками осуществляется по следующим перспективным направлениям: совершенствование методов идентификации, оценивания и управления сложными динамическими системами обеспечивающих требуемые точность и качество регулирования; разработка адаптивных и робастных систем управления не зависящих от внешних и внутренних возмущающих воздействий; разработка методов адаптивного управления транспортными потоками в локальных и глобальных системах управления; разработка алгоритмов на базе нечеткой логики и искусственных нейронных сетей; разработка методов и алгоритмов идентификации объектов видеоизображений участников дорожного движения в системах интеллектуального управления.

Степень изученности проблемы Анализ научно-технической литературы последних лет по разработке методов и алгоритмов управления транспортными потоками и систем, построенных на нейро-нечетких выводах, свидетельствует о достижении значительных теоретических и практических результатов в этой области. Опубликовано большое количество работ, посвященных проблемам в области интеллектуального управления дорожным движением, разработаны общетеоретические концепции сложных систем нейро-нечеткого управления, возрастает число решенных практических задач. Большой вклад в развитие интеллектуальных систем управления транспортными потоками внесли многие зарубежные ученые - такие, как Л.Заде, Р.А.Алиев, М. James Lighthill, Х.Иносэ, Т.Хамада, К.Негойце, Д.Дрю, Ф.Хейт, Д.Рюель, В. S. Kerner, J. G. Bender, R. Chandler, P. Varaiya, Lai. Guan Rhung Н.О.Брайловский, Е.Б.Хилажев, В.С.Соколовский, В.М.Гурулѳв, Я.И.Зайденберг, Е.М.Васильева, А.В.Гасников, Т.И.Михеева, Ю.В.Белов,

А.Н.Полетайкин, В.Т.Капитанов, Д.В.Капский, В.Л.Бурковский, С.Ю.Брегеда, А.П.Буслаев, В.М.Новиков, и др. а также отечественные ученые – Н.Р. Юсупбеков Т.Ф. Бекмуратов, Х.З. Игамбердиев, Ш.М. Гулямов, А.Р. Марахимов, Т.Р. Нурмухамедов, М.А. Рахматуллаев, И.Х Сиддиков, Ш.Х. Фозилов и др.

Однако постоянное усложнение и расширение круга научных исследований требует разработки новых эффективных методов и алгоритмов адаптивного управления слабодетерминированными объектами, оценивания состояния и управления в условиях неопределенности. Вышеупомянутые ученые предлагали классические методы обработки информации в условиях детерминированного и стохастического объекта управления без учета поступления изменяющейся информации в условиях on-line. В работах упомянутых авторов не рассмотрены математические модели транспортных потоков при распознавании большого количества объектов дорожного движения и создание систем управления на основе нейро-нечеткого логического вывода с использованием гибридных нейронных сетей.

Требуют своего развития также методы адаптивного управления на основе мультиагентного подхода со способностью функционирования на улично-дорожных системах в масштабе города с их робастностью и устойчивостью к изменениям. Кроме того, оказывается целесообразным осуществлять разработку нейро-нечетких методов и алгоритмов управления в классе вероятностных, а также обработку визуальных данных на основе искусственных нейронных сетей для использования в интеллектуальных системах управления транспортными потоками и повысить эффективность их функционирования. В связи с вышеотмеченным возникает настоятельная необходимость дальнейшей модификации и создания эффективных методов и алгоритмов синтеза адаптивных систем управления динамическими распределёнными объектами на основе концепций нейро-нечеткого подхода.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, в котором выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов согласно плану научно-исследовательских работ Национального университета Узбекистана, Ташкентского университета информационных технологий Ф.1.1.8. – «Компьютерное моделирование нелинейных диффузионных процессов с учетом внешних воздействий на базе мультимедийных технологий» (2011-2013 гг.); И-2015-4-8 «Внедрение в системе информационно-коммуникационных технологий высокотехнологических виртуальных операционных систем ОС GNU» (2015-2017); И-2016-4-14 «Создание и внедрение моделей интеллектуальной обработки данных в информационных системах» (2017-2018).

Целью исследования является создание эффективных методов, математических моделей и алгоритмов управления транспортными потоками для обеспечения бесперебойного функционирования при проектировании

сложных систем управления с обработкой зашумленных видеоизображений объектов дорожного движения.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

проведение системного анализа развития методов и алгоритмов синтеза адаптивных систем управления транспортными потоками на основе концепций нечеткого подхода;

разработка концепции и методологии управления дорожным движением на основе аппарата нечетко-логических методов и гибридных нейронных сетей при проектировании систем управления;

разработка алгоритмов синтеза структуры системы управления дорожным движением на основе светофорной сигнализации для улично-дорожной сети;

разработка модели и алгоритмов управления мультиагентных систем управления транспортным потоком на основе многоуровневого подхода в классе адаптивных;

разработка гибридного алгоритма и программного комплекса управления транспортным потоком и распознавания объектов;

разработка концепции и методологии адаптивного управления распределенными объектами на основе нейро-нечеткого подхода.

Объектом исследования является процесс управления распределенными объектами, такими как транспортные потоки в условиях улично-дорожной сети.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы нейро-нечеткого управления параметров транспортных потоков в сложных системах управления.

Методы исследования. В процессе исследования применены системно-сравнительный и системно-функциональный подходы, анализа систем управления, структурно-параметрические методы синтеза систем управления, статистического и вероятностного анализа, моделирование и прогнозирование, методы вычислительной математики, численного и компьютерного моделирования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

разработаны концепция и методология, а также определены основные принципы управления транспортными потоками;

проведен синтез структуры систем управления дорожным движением с учетом свойств исследуемого объекта детерминированного характера в условиях недостаточности априорной информации;

разработаны гибридные математические модели системы управления транспортными потоками на основе нечетко – логического вывода;

разработаны модели и алгоритмы управления мультиагентных систем управления транспортным потоком на основе многоуровневого подхода;

разработана структура модели системы управления на основе метода классификации нейро-нечеткой вероятностной сетью в классе адаптивных;

разработан гибридный алгоритм построения фильтра Калмановского типа на основе блочной формы при априорной неопределенности для случаев, требующих высокую чувствительность результирующей оценки по отношению к влиянию аномальных воздействий при наличии высокой вычислительной возможности;

разработан гибридный алгоритм распознавания изображения на основе непараметрических методов в условиях малой выборки и при наличии аппликативных помех с применением метода свёртки с различными ядерными функциями.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны алгоритмы синтеза структуры системы управления дорожным движением на основе светофорной сигнализации для улично-дорожной сети в классе многоуровневых систем управления;

разработан программный комплекс на основе сверточных нейронных сетей и блочной формы фильтра Калмана, предназначенный для распознавания, идентификации и классификации объектов изображений транспортного потока в системах поддержки принятия решений по управлению транспортным потоком;

на основе результатов экспериментов в условиях нормального функционирования созданы математические модели системы классификации нейро-нечеткой вероятностной сетью в классе адаптивных;

проведены экспериментальные исследования, доказывающие робастность алгоритмов фильтрации, адекватность разработанной модели.

Достоверность результатов исследования. Достоверность научных результатов обоснована математической постановкой проблемы, решение которой доведено до конечного результата, имеющего практическую реализацию. Степень достоверности обеспечивается корректным применением научных концепций системного анализа и математического моделирования, теории анализа и синтеза систем с использованием исходных данных, полученных экспериментально, и сочетанием теоретических исследований с необходимым объемом экспериментальных исследований. Надежность научных положений, выводов и рекомендаций основывается на данных, полученных на реальных объектах управления и подтвержденных протоколами опытно-промышленных испытаний и актами внедрения в производство.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования состоит в разработке конструктивных методов, моделей и алгоритмов управления дорожным движением в классе сложных многоуровневых интеллектуальных систем. Практическая значимость результатов диссертационной работы для разработчиков автоматизированных систем управления дорожным движением заключается в поддержке принятия решения лицу, принимающему решение адаптивным программным обеспечением в условиях противоречивости критериев эффективности управления. Результаты работы полезны предприятиям, осуществляющим контроль и управление транспортными

потоками в рамках городских подразделений. Результаты диссертационной работы внедрены на ряде предприятий.

Внедрение результатов исследования. На основе разработанных алгоритмов, методов и программного обеспечения управления транспортными потоками; распознавания, идентификации и классификации объектов транспортных потоков:

разработанные модели и алгоритмы управления мультиагентных систем управления транспортным потоком на основе многоуровневого подхода внедрены в процесс наблюдения войсковых частей 64562, 49479, 71201 Министерства обороны Республики Узбекистан (Справка Министерства Обороны Республики Узбекистан №25/10/685 о внедрении результатов исследований от 22 июля 2020). В результате, повысилось качество наблюдения за движущимися объектами и транспортными средствами на 10-12%;

разработанная структура модели системы управления на основе метода классификации нейро-нечеткой вероятностной сетью в классе адаптивных внедрена в процесс наблюдения войсковых частей 64562, 49479, 71201 Министерства обороны Республики Узбекистан (Справка Министерства Обороны Республики Узбекистан №25/10/685 о внедрении результатов исследований от 22 июля 2020). В результате использования разработанных методов и алгоритмов коэффициент распознавания объектов составил - 80%, что позволяет классифицировать и рассчитывать количество объектов в кадре;

разработанный гибридный алгоритм построения фильтра Калмановского типа на основе блочной формы при априорной неопределенности для случаев, требующих высокую чувствительность результирующей оценки по отношению к влиянию аномальных воздействий при наличии высокой вычислительной возможности, созданный программный комплекс на основе гибридных алгоритмов «Программное обеспечение для распознавания, классификации и подсчета количества объектов в видеоизображении на основе глубоких нейронных сетей» внедрены для распознавания различных объектов при проведении спортивных соревнований (Заключение Федерации гандбола Узбекистана №118 от 3 мая 2020). В результате улучшились показатели распознавания движения в ходе проведения спортивных мероприятий и в системах наблюдения за транспортными единицами с целью выявления нарушений на 22%.

Апробация результатов исследования. Теоретические и прикладные результаты данного исследования докладывались и обсуждались на 15 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации. По теме исследования опубликованы 42 научных работ, из них- 3 монографии, 1 из которых опубликована в зарубежном издательстве, 11 журнальных статей, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них 3 в зарубежных журналах, а также получены 6 свидетельств о регистрации программных средств для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертация содержит 192 страницы и состоит из введения, пяти глав с соответствующими выводами, заключения, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, список апробаций результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ моделей, методов и систем управления дорожным движением»** приведен обзор и анализ литературных источников по математическому моделированию транспортных потоков и систем управления. Изучены особенности объекта управления, основные тенденции развития и современное состояние вопросов математического моделирования и синтеза систем управления дорожным движением. Рассмотрены противоречия критериев эффективности систем управления дорожным движением.

Транспортный поток, как объект управления обладает следующими характеристиками: интенсивностью, скоростью движения, составом потока, интервалами между транспортными средствами в потоке и другими.

На основе анализа, раскрывающих непостоянный характер транспортного потока, заключающийся в следующих свойствах, которые формулируем в виде характеристик:

1. Динамичность транспортного потока, выражаемая интенсивностью, которая носит непостоянный характер и может изменяться в различные периоды времени.

2. При всей динамичности транспортного потока, качественные показатели могут иметь устойчивый характер на основе статических закономерностей в виду детерминированности движения транспортных единиц в следствие периодического характера движения по установленному маршруту. Следует отметить, что к таким статическим закономерностям относятся интервалы движения пассажирского транспорта, движение личного транспорта в утренние и вечерние часы и некоторые запланированные грузовые перевозки. При этом некоторые исследователи характера транспортного потока включают модели психо-физического состояния водителей в моделях движения с лидером.

3. Отличительной особенностью транспортного потока является противоречивость в статичности и периодичности изменения параметров в

фиксированные интервалы времени и случайные моменты. Статичный характер транспортного потока показывает его предсказуемость в следствии повторяемости, но вероятностный характер связан с целым рядом параметров, среди которых выступают внезапные изменения погодных условий, неожиданный характер поездок транспортных средств как служебных (скорая медицинская помощь, службы контроля общественного порядка, коммунальные службы и др.), так и личных, которые не имеют четкой зависимости по времени, дальности и т.д.

Все элементы и участники дорожного движения сливаются в единый поток, при этом индивидуальные характеристики автотранспортных средств во время движения могут значительно отличаться, но характеристики транспортного потока выступают как связанные и взаимозависимые, поскольку имеется влияние внешних возмущающих воздействий, приводящих к изменению динамики транспортного потока. Поэтому решая задачу управления на одном перекрестке, необходимо учитывать условия работы данного отдельного элемента улично-дорожной сети, а при создании сложных систем механическое соединение всех элементов не даст желаемого результата управления транспортным потоком. При увеличении количества перекрестков, включенных в систему управления дорожным движением происходит усложнение задачи

Данная взаимная зависимость связана с наличием внешних возмущающих факторов, выражающихся в изменениях условий движения (нарушение работы светофорной сигнализации, сужение дороги, вынужденный ремонт дорожного полотна и др.) приводят к изменению характера движения на отдельных участках, но и всей транспортной системе.

В этой связи возникает необходимость в исследовании перспективных методов, алгоритмов управления, позволяющих повысить критерии эффективности систем управления дорожным движением.

Во второй главе диссертации **«Математическая модель и методы оптимального управления дорожным движением на основе нечеткой логики и агентного подхода»** разработана математическая модель системы управления дорожным движением на основе нечетко-логического вывода для управления системой светофорной сигнализации, реализован лингвистический подход.

Транспортный поток описывается совокупностью признаков движения – скоростью v , плотностью ρ , интенсивностью Q , временным интервалом в потоке и другими параметрами.

$$v(x, t) = \frac{Q(t, x)}{\rho(t, x)}. \quad (1)$$

Одной из важных систем, входящих в состав автоматизированной системы управления дорожным движением является система управления светофором. Светофорное регулирование предназначено для обеспечения безопасности движения, прибывающих к перекрестку автомобилей за период действия красного сигнала до включения зеленого сигнала светофора. Кроме того, они также задерживаются в процессе трогания с места. В связи с чем

происходит снижение пропускной способности перекрестка. Управление потоками автомобилей с помощью зеленого, желтого и красного сигналов светофоров применяется практически во всех странах мира. Для синтеза систем управления дорожным движением объект может быть формально представлен следующим образом:

$$M = \langle \Omega, G, Y, U, T, \rho, \gamma, \zeta \rangle, \quad (2)$$

где $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{n \times m}\}$ - диапазон условий (входные параметры транспортного потока); $G = \langle V, (DW) \rangle$ - модель улично-дорожной сети, представляемая графом G в пространстве \mathbb{R}^3 ; $V = \{v_i\}$ - вершины (узлы) графа, соответствующие узлам возможных ветвей дорожного движения; $D \subseteq V \times V$ - множество дуг графа (участок дороги, соединяющий узлы возможных ветвей дорожного движения) с соответствующими весовыми коэффициентами как $W = \langle Q, P, V \rangle$ (интенсивность дорожного движения, плотность дорожного движения и средняя скорость на этом конкретном участке дороги); $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ - множество характеристик и определителей, описывающих состояние объекта управления Ω и принимающих их значения каждый в своем собственном наборе значений $\{X_i\}$; $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ - множество выходных параметров; $U = \{U_1, U_2, \dots, U_r\}$ - множество параметров управления; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_l\}$ - дискретные отрезки времени; $\rho: X \times T \rightarrow \Omega$ - динамика состояния объекта, реакции динамической системы в определенном состоянии для управления действиями $\gamma: \Omega \times T \rightarrow Y$ - вывод, описывающий процесс наблюдения за объектом управления (получение оценок); ζ - некоторые внешние неконтролируемые факторы, условия и другие, влияющие на динамику объекта управления.

Согласно представленным требованиям, обобщенную динамическую модель объекта управления можно определить следующим линейным уравнением в нечетком пространстве состояний:

$$\bar{x} = \bar{A} \otimes \bar{x} \oplus \bar{B} \otimes \bar{u}, \mu_s(S), S \subseteq \Omega, \bar{y} = \bar{C} \otimes \bar{x}, \quad (3)$$

с нечеткими начальными условиями как:

$$\bar{x}_1(0) = \{D_1, \bar{x}_2(0) = D_2, \bar{x}_n(0) = D_n, \quad (4)$$

где $\otimes \oplus$ - операторы нечеткого умножения и сложения; u - управляющий сигнал векторной формы, который имеет строгую размерность; $\bar{X} = \{\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n\}$ - пространство состояний вектора; $\bar{Y} = \{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_m\}$ - вектор выходных переменных, $\mu_s(S)$ - член пространства состояний $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ функции объектов управления.

Нечеткие матрицы коэффициентов модели

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{A}_1^1 & \bar{A}_2^1 \\ \dots & \dots \\ \bar{A}_1^n & \bar{A}_n^n \end{bmatrix}, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} \bar{B}^1 \\ \dots \\ \bar{B}^n \end{bmatrix}, \quad \bar{C} = \begin{bmatrix} \bar{C}_1^1 & \bar{C}_2^1 \\ \dots & \dots \\ \bar{C}_1^n & \bar{C}_n^n \end{bmatrix},$$

$$\text{где } \bar{A}_1^1 = \left\{ \frac{\bar{A}_1^1}{\mu_{\bar{A}_1^1}^1(A_1^1)} \right\}, \dots, \bar{A}_n^1 = \left\{ \frac{\bar{A}_n^1}{\mu_{\bar{A}_n^1}^n(A_n^1)} \right\}, \bar{B}_1^1 = \left\{ \frac{\bar{B}_1^1}{\mu_{\bar{B}_1^1}^1(B_1^1)} \right\}, \dots, \bar{B}_n^1 = \left\{ \frac{\bar{B}_n^1}{\mu_{\bar{B}_n^1}^n(B_n^1)} \right\},$$

$$\bar{C}_1^1 = \left\{ \frac{\bar{C}_1^1}{\mu_{\bar{C}_1^1}^1(C_1^1)} \right\}, \dots, \bar{C}_n^1 = \left\{ \frac{\bar{C}_n^1}{\mu_{\bar{C}_n^1}^n(C_n^1)} \right\}.$$

В определенный момент времени переменная может быть выражена в виде следующего нечеткого набора:

$$\bar{x}_i = \left\{ \frac{\bar{x}}{\mu_{\bar{x}_i}^1(x_i)} \right\}. \quad (5)$$

Аналогично опишем j -я выходную переменную:

$$\bar{y}_j(t) = \left\{ t, \frac{y_j}{\mu_{\bar{y}_j}^1(y_j)} \right\}, \quad j=1,2,\dots,n, \quad (6)$$

$$\bar{y}_j = \left\{ \frac{y_j}{\mu_{\bar{y}_j}^1(y_j)} \right\}. \quad (7)$$

Начальные условия и количество переменных вектора состояния также могут быть описаны в виде следующих нечетких множеств:

$$\bar{D}_i = \left\{ \frac{x_i}{\mu_{\bar{D}_i}^1(x_i)} \right\}, \quad \bar{S} = \{s / \mu_{\bar{S}}^1(s)\}. \quad (8)$$

Мы предполагаем, что функции принадлежности входных и выходных лингвистических переменных определяются как следующие аналитические функции:

$$\mu_{\bar{x}_i}^1(x_i) = \varphi(x, a_{\bar{x}_i}^1, b_{\bar{x}_i}^1, b_{\bar{x}_i}^2, \beta_{\bar{x}_i}^1, \beta_{\bar{x}_i}^2) = ((b_{\bar{x}_i}^1(a_{\bar{x}_i}^1 - x))^{\beta_{\bar{x}_i}^1} \frac{\text{sign}(b_{\bar{x}_i}^1(a_{\bar{x}_i}^1 - x)) + 1}{2} +$$

$$+ b_{\bar{x}_i}^2(x - a_{\bar{x}_i}^1))^{\beta_{\bar{x}_i}^2} \frac{\text{sign}(b_{\bar{x}_i}^2(x - a_{\bar{x}_i}^1)) + 1}{2} + 1)^{-1}, \quad (9)$$

$$\mu_{\bar{y}_j}^1(y_j) = \varphi(y, a_{\bar{y}_j}^1, b_{\bar{y}_j}^1, b_{\bar{y}_j}^2, \beta_{\bar{y}_j}^1, \beta_{\bar{y}_j}^2) = ((b_{\bar{y}_j}^1(a_{\bar{y}_j}^1 - y))^{\beta_{\bar{y}_j}^1} \frac{\text{sign}(b_{\bar{y}_j}^1(a_{\bar{y}_j}^1 - y)) + 1}{2} +$$

$$+ b_{\bar{y}_j}^2(y - a_{\bar{y}_j}^1))^{\beta_{\bar{y}_j}^2} \frac{\text{sign}(b_{\bar{y}_j}^2(y - a_{\bar{y}_j}^1)) + 1}{2} + 1)^{-1}. \quad (10)$$

В выражениях (9) и (10) коэффициенты $a_{\bar{x}_i}^1, a_{\bar{x}_i}^2, b_{\bar{x}_i}^1, b_{\bar{x}_i}^2, b_{\bar{y}_j}^1, b_{\bar{y}_j}^2$,

$\beta_{\bar{x}_i}^1, \beta_{\bar{x}_i}^2, \beta_{\bar{y}_j}^1, \beta_{\bar{y}_j}^2$ соответствуют функции принадлежности входных и выходных переменных. Кроме того, эти коэффициенты позволяют сформировать любую форму функции принадлежности. Они могут выступать в качестве показателей неопределенности для формальной модели

транспортного потока, представленного в форме уравнения пространства состояний (3).

Затем задача синтеза системы управления транспортным потоком, представленных как в уравнении (3) нечеткого состояния, так и с помощью индикаторов качества и системы ограничений, может быть сформулирована в виде (5).

Управляющий сигнал генерируется на основе нечетких наборов значений переменных пространства состояний в соответствии со следующим модифицированным управляющим сигналом:

$$u(t+1) = ku(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_{xi} \sum(t) \cdot x_i \sum(t), \quad (11)$$

$$\begin{aligned} k_{x1} \sum[t+1] &= k_{x1} \sum[t](1 - \omega\gamma_3) + \omega(\gamma_5 - \gamma_4) \delta^*[t+1] x_1 \sum[t+1], \\ k_{x2} \sum[t+1] &= k_{x2} \sum[t](1 - \omega\gamma_3) + \omega(\gamma_5 - \gamma_4) \delta^*[t+1] x_2 \sum[t+1], \end{aligned} \quad (12)$$

.....

$$k_{xn} \sum[t+1] = k_{xn} \sum[t](1 - \omega\gamma_3) + \omega(\gamma_5 - \gamma_4) \delta^*[t+1] x_n \sum[t+1].$$

$$k_u[t+1] = k_u[t](1 - \omega\gamma_1) + \omega(\gamma_6 - \gamma_2) \delta^*[t] u_m[t] - \omega\gamma_6 \delta^*[t+1] u_m[t+1], \quad (13)$$

где $t = m\omega$, $\omega > 0$ - шаг дискретизации; $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6\}$ - параметры адаптивного регулятора; $e_i \sum = \int_{x_i} (x_i, x_{im}) \mu_{e_i}(e_i) dx_i$ - сигнал рассогласования между

действительными переменными вектора состояния и желаемыми переменными модели; $\mu_{e_i}(e_i) = \varphi(e_i, a_{ei}, b_{1ei}, b_{2ei}, v_{1ei}, v_{2ei})$ - функция принадлежности сигнала к рассогласованию, представленная в виде (9);

$a_{ei} = a_{xi} - x_{im}, v_{1ei} = v_{1xi}, v_{2ei} = v_{2xi}, b_{1ei} = b_{1xi}, b_{2ei} = b_{2xi}$; $x_i \sum = \int x_i dx_i$ - интегрированная

переменная вектора состояния; $\delta^*[t] \sum_{i=1}^n h_i \sum h_i$ - коэффициенты, полученные с помощью решающего уравнения Ляпунова и матричного уравнения с эталонной моделью.

Далее производится синтез закона управления, основанного на нечеткой модели, что значительно повышает надежность алгоритма управления транспортным потоком. Качественные показатели системы управления дорожным движением определяются не только на основе наилучших возможных динамических характеристик транспортного потока при $a_{xi}(t), a_{yi}(t)$, но и на основе параметров его нечеткости.

Перекресток с пересечением равного количества полос при известной интенсивности движения характеризуется с помощью равного числа пересекающихся полос и хорошо известной интенсивности движения $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$. Кроме того, направление движения 1 и 3 перпендикулярно направлениям 2 и 4. Введем следующий член: ΔT^u_1 - длительность зеленого сигнала. То есть необходимо найти такие параметры системы управления движением, чтобы общее время задержки транспортных средств на перекрестке дорожной сети было V_m минимальным

$$J(t) = \int_{t_0}^t [y^*(\tau, (\tau), u(\tau)) - y(\tau, x(\tau), u(\tau))] d\tau \rightarrow \min \quad (14)$$

или

$$\sum_i \sum_j [e_i^{13} f^*(u_i^{13} e_i^{13}) + l_i^{13} f_{pn}^{13}(u_i^{13} l_i^{13}) + e_i^{24} f^*(u_i^{24} e_i^{24}) + l_i^{24} f_{pn}^{24}(u_i^{24} l_i^{24})] \rightarrow \min . \quad (15)$$

В соответствии с ограничениями,

$$\begin{aligned} e_i^{13} &= q_i^{leaving(13)} - q_i^{armv(13)} \leq 0, \\ e_i^{24} &= q_i^{leaving(24)} - q_i^{armv(24)} \leq 0. \end{aligned} \quad (16)$$

$$u_{\min}^{13} \leq u_i^{13} \leq u_{\max}^{13}, u_{\min}^{24} \leq u_i^{24} \leq u_{\max}^{24}, \quad (17)$$

$$0 \leq l_i^{13} \leq L_{\max}^{13}, \quad 0 \leq l_i^{24} \leq L_{\max}^{24}, \quad (18)$$

где $f^*(u_i^{13} l_i^{13})$ и $f_{pn}^{13}(u_i^{13} l_i^{13})$ - функция оценки задержки транспортных средств и функция штрафа по длине очереди перед стоп- линией светофора в направлениях 1 и 3; $f^*(u_i^{24} l_i^{24})$ и $f_{pn}^{24}(u_i^{24} l_i^{24})$ функция оценки задержки транспортных средств и функция штрафа по длине очереди перед стоп-линией светофора в направлениях 2 и 4; u_i длительность зеленого сигнала в $-i$ м периоде; $q_i^{leaving(13)}, q_i^{armv(13)}, q_i^{leaving(24)}, q_i^{armv(24)}$ - нумерация автотранспортных средств, проходящих контролируемую зону на зеленый сигнал светофора; u_{\min}, u_{\max} - минимальная и максимальная длительность зеленого сигнала; l_i^{13}, l_i^{24} - длина очереди в направлениях 1,3 и 2,4; L_{\max} - максимально допустимая длина очереди перед стоп –линией.

Нечеткая система управления транспортным потоком имеет вид (рис.1).

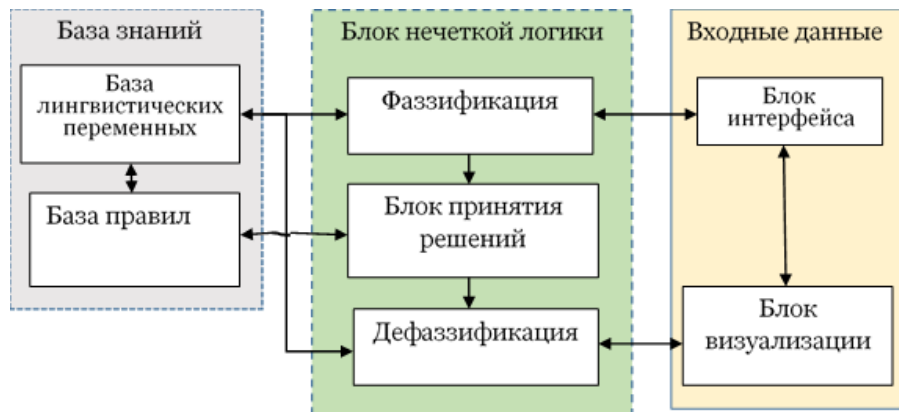


Рис. 1. Модель системы управления транспортным потоком на основе нечеткой логики.

Система работает следующим образом (рис.1): Блок входных данных получает информацию от камер наблюдения, интеллектуальных видеодатчиков, датчиков потока и т.д. Затем обрабатывает входные параметры, сравнивает с заданием – характеристиками интенсивности, параметрами лингвистических переменных, длительности фаз сигналов светофора и передает их в обработанном виде в блок нечеткой логики. Блок визуализации предоставляет входную и выходную информацию в визуальном виде, получает и передает в блок нечеткой

логики, включающий блоки фаззификации, дефаззификации и принятия решений связан с работой базы знаний, включающую базу лингвистических переменных и базу правил и их функции принадлежности. На основе базы правил принимаются решения об управляющем воздействии.

На основе методов декомпозиции и ситуационного управления была синтезирована система управления транспортными потоками в классе мультиагентных. Реализация иерархических мультиагентных распределенных систем управления предусматривает информационное разделение и координацию локальных решений. Информационное разделение осуществляется по двум каналам, координация локальных решений агентов состоит в том, что верхний агент обладает правом влиять на локальные единицы на основании некоторых наблюдений системы и окружающей среды.

В третьей главе диссертации «Концепция управления дорожным движением на основе аппарата нейро-нечетких методов» решается вопрос синтеза структуры распределенной нейро-нечеткой системы управления, с поиском оптимальной структуры, в условиях учета большого объема трудно формализуемых параметров, обрабатываемых в реальном масштабе времени при сложностях технической системы, неизмеряемости параметров, наличии погрешности в датчиках, отсутствии точной математической модели.

Описывая транспортный поток с позиции нечетко-логического вывода $x_{out}(t) = ((x(t)l_L^T) \circ A(u(t)) \circ D - ((x(t)l_L^T) \circ A(u(t)) \circ D - A(u(t) \circ D - A(u(t) \circ B))l_L^T$, где $x_{out}(t)$ – количество автомобилей, совершивших маневр, $u(t)$ – управляющее воздействие, используем, как и в (3) матрицы A и B .

Для оценки точности используем $\tilde{x}_{out}(t)$ – реальное количество автомобилей совершивших маневр. Тогда мы имеем $\delta = \|\tilde{x}_{out}(t) - x_{out}(t)\|$, $\delta < \xi$.

Для управления светофорной сигнализацией перекрестка разработана следующая система (рис.2), включающая модель и регулятор, построенный на многослойной искусственной нейронной сети (ИНС регулятор), позволяющий учитывать входные параметры, параметры модели и заданную точность регулирования. Однако, в сложных системах участвуют несколько локальных систем, поэтому системы (рис.2) для локальных светофоров объединяют в более крупные, сложные.

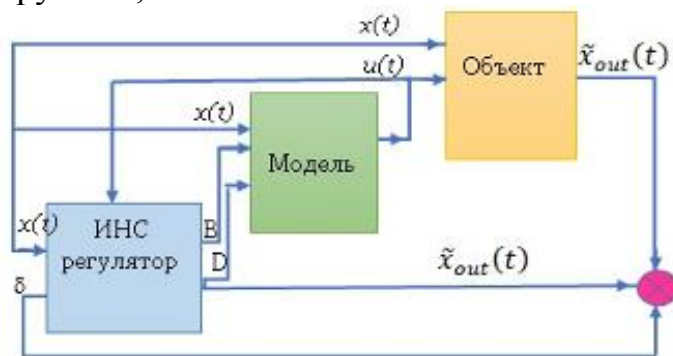


Рис.2. Модель системы управления транспортным потоком с регулятором, построенным на искусственных нейронных сетях.

Структура сложной системы, объединяющая несколько локальных, подверженная внешним воздействиям, управляется решающим элементом в виде нейронной сети (ИНС регулятор), имеющим доступ к определенным переменным системы. ИНС регулятор, где нейронная сеть выполняет функциональное соответствие между входом X и выходом Y и служит информационной моделью системы (рис.3).

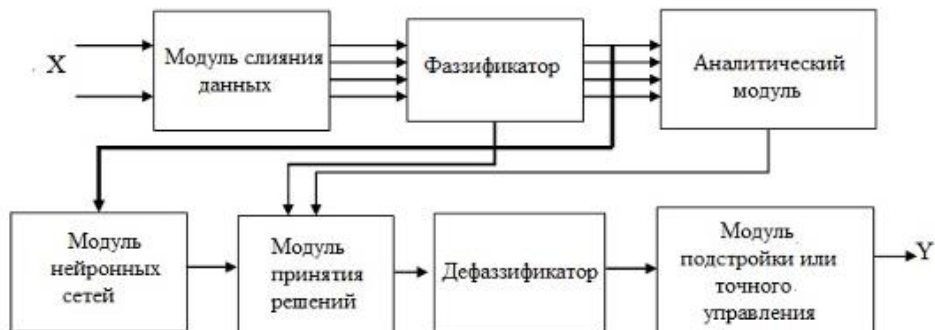


Рис.3. Архитектура нейро-нечеткой системы управления транспортным потоком.

Модель системы опишем уравнением вида

$$x_k(t) = A^k x(t) + \sum_{i=0}^{k-1} A^{k-i-1}(t) B u(t), \quad (19)$$

где $x_k(t)$ и $u(t)$ - нечеткие множества. Задача управления заключается в переходе за k шагов в фиксированное состояние $x_k(t)$ из некоторого начального состояния. При использовании нейронных сетей с рекуррентными обратными связями уравнение дает возможность управления сложными системами. Структура нейро-нечеткой системы, построенная на вышеуказанных модулях, позволяет за короткое время произвести преобразование входных данных, оперируя нечеткими множествами, выделить необходимое число переменных при многомерности объекта, получая повышенную устойчивость. Структура системы для группы перекрестков будет иметь вид, представленный на рис.4.



Рис.4. Нейро-нечеткая система управления группой перекрестков.

Предложена модель автоматизированной системы управления дорожным движением на основе нейро-нечеткой логики и мягких вычислений с использованием парадигмы ситуационного управления, с классификацией текущей ситуации по некоторым значениям функции принадлежности в соответствии решению по управлению, что позволяет формировать робастное управление в условиях неполной информации и адаптированно изменять структуру нейронной сети и на основе функции активации, фаззификации модулем принятия решений формировать выходные сигналы точного управления.

По причине неустойчивости транспортного потока, как объекта управления, изменчивости его характеристик в разное время суток показано применение методов нейро-нечеткого управления с вероятностным подходом прогноза. Повышения эффективности систем интеллектуального управления дорожным транспортным потоком можно добиться, используя нейро-нечеткие подходы, а также обработку больших данных, их накопление, анализ и на их основе выработка нечетких правил управления и решения, расстановка приоритетов; моделирование дорожной ситуации с помощью нечетко-логических решений; выработка нейро-нечеткого алгоритма управления фазами светофора; применение интеллектуальных средств наблюдения, используемых в локальных системах управления с обработкой данных в системах верхнего уровня; применение нейро-нечетких методов классификации транспортных средств; взаимодействие всех уровней и подсистем в рамках глобального управления.

Концептуальная схема системы интеллектуального управления дорожным транспортным потоком, работающей в соответствии с перечисленными выше подходами, в сочетании с широкими возможностями технических средств, централизованной обработкой данных, позволяет оперативно на основе данных, получаемых от всех доступных источников, проводить анализ транспортных потоков и автоматически вырабатывать решения по их регулированию, включая управляющие данные для светофорных объектов на перекрестках и пешеходных переходах.

В четвертой главе диссертации **«Разработка алгоритмов обработки изображений в системах управления транспортными потоками»** обосновывается применение методов фильтрации изображений; разработан алгоритм построения фильтра Калмановского типа на основе блочной формы при априорной неопределенности для случаев, когда требуется высокая чувствительность результирующей оценки по отношению к влиянию аномальных воздействий и имеется высокая вычислительная возможность приближенно-аналитических методов.

Поскольку изображение объектов транспортного потока представляет собой набор пикселей с разной яркостью и возможным наличием шумов и помех или иначе, нестационарный случайный процесс, требующий определенных методов обработки. Отсутствие априорной информации о статистических характеристиках изображения приводит к ошибке оценки полезного сигнала. Использование фильтра Калмана для решения задачи

адаптивной фильтрации отслеживаемым процессом приводит к построению вектора коэффициентов оптимального фильтра, с тем чтобы минимизировать параметр σ - дисперсию оценки векторного случайного процесса $i(k)$, который изменяется во времени следующим образом:

$$i(k+1) = \Lambda(k)i(k) + v(k), \quad (20)$$

где $\Lambda(k)$ — матрица перехода; $v(k)$ — случайный вектор (шум процесса), имеющий нормальное распределение с корреляционной матрицей $R_p(k)$.

Принимая, что для наблюдения доступен линейно преобразованный процесс $j(k)$, к которому добавлен шум наблюдения:

$$j(k) = H(k)i(k) + w(k), \quad (21)$$

где $H(k)$ — матрица наблюдения, $w(k)$ — шум наблюдения, представляющий собой случайный вектор, имеющий нормальное распределение с корреляционной матрицей $Q_M(k)$.

Определим дискретный алгоритм обработки входной информации в рамках методов фильтрации Калмана, который имеет вид:

$$\begin{aligned} i_0(k|k-1) &= \Lambda(k)i_0(k-1) + B(k)U(k) + D(k)F(k); \\ i_0(k) &= i_0(k|k-1) + \sum_{i=1}^N K_i(k)\{z_i(k) - H(k)i_0(k|k-1)\}; \\ K_i(k) &= S_i(k)P(k|k-1)H^T\{H(k)P(k|k-1)H^T(k) + V_{vi}[k]\}^{-1}; \\ P(k|k-1) &= G(k)V_w(k)G^T(k) + \Delta(k)P(k-1)\Lambda^T(k); \\ P(k) &= P(k|k-1) - \sum_{i=1}^N K_i(k)H(k)P(k|k-1), \quad i=1, \dots, N, \end{aligned} \quad (22)$$

где $z_i(k)$ — вектор наблюдений; а $z_0 = H(n)i_0(n/n-1)$ — вектор оценок наблюдений, где $i_0(n)$ — оценка вектора состояния; $i_0(k|k-1)$ — оценка вектора прогнозирования состояния; $\Lambda(k)$ — переходная матрица; $H(k)$ — матрица наблюдения; $K_i(k)$ — матрица коэффициентов; $P(k|k-1)$ — дисперсионная матрица вектора состояния; $P(k)$ — дисперсионная матрица оценки вектора состояния; $U(k)$ — вектор управления; $F(k)$ — вектор измеренных сигналов с выхода объекта; $B(k)$ — матрица коэффициентов управления; $D(k)$ — матрица коэффициентов измерения; $S_i(k)$ — признак типа измерителя или отсутствия измерений; $S_i(k) = 0$. Непрерывный фильтр Калмана имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{di_0}{dt} &= \Lambda(t)i_0(t) + B(t)U(t) + D(t)F(t) + \sum_{i=1}^N K_i(t)z_i(t) - H(t)i_0(t); \\ \frac{dP(t)}{dt} &= V_w(t) + \Phi(t)P(t) + P(t)\Phi^T(t) - P(t)H^T(t)V_v^{-1}(t)H(t)P(t), \end{aligned} \quad (23)$$

где $z_i(t)$ — вектор наблюдений; $z_0(t) = H(t)i_0(t)$; $i_0(t)$ — вектор оценок наблюдений; $i_0(t)$ — оценка вектора состояния; $\Lambda(t)$ — переходная матрица; $P(t)$ — корреляционная матрица; $H(t)$ — матрица наблюдения; $K_i(t) = S_i(t)P_i(t)H^T(t)V_{vi}^{-1}(t)$ — матрица коэффициентов; $U(t)$ — вектор управления; $F(t)$ — вектор измеренных сигналов с выхода объекта; $B(t)$ — матрица коэффициентов управления; $D(t)$ — матрица коэффициентов измерения; $S_i(t)$ — признак типа измерителя или отсутствия измерений $S_i(t) = 0$

Прогнозируемое значение наблюдаемого сигнала: $\hat{j}(k) = j(k) - \hat{j}(k)$. Разница или невязка между прогнозируемым и реально наблюдаемым сигналами: $e(k) = j(k) - \hat{j}(k)$, тогда $P(k-1)C^T(k) \times (C(k)P(k)C^T(k) + Q_M(k))^{-1} = \Gamma(k)$, – коэффициент усиления Калмана. Экстраполяция вектора состояния системы по оценке вектора состояния и примененному к вектору управления с шага $(k-1)$ на шаг k : $\hat{i}(k) = \Lambda(k)\hat{i}(k-1) + \Gamma(k)e(k)$ – апостериорная оценка вектора состояния для k -го кадра, размерность вектора определяется порядком фильтра (рис.5).

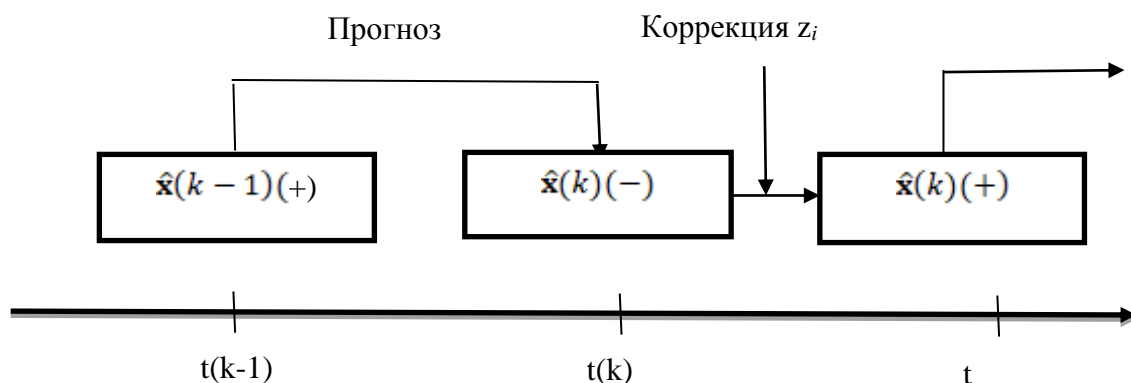


Рис.5. Схема, показывающая работу фильтра Калмана на шаге $k-1$

Обновленная оценка корреляционной матрицы ошибок фильтрации имеет вид:

$$P(k) = \Lambda(k)[P(k-1) - \Gamma(k)C(k)P(k-1)]\Lambda^T(k) + Q_M(k),$$

$Q_M(k)$ - ковариационная матрица некоторой случайной величины, поэтому ее след неотрицателен. Минимум следа достигается при обнулении последнего слагаемого: $\Gamma(k) = P(k-1)H^T(k)S^{-1}(k)$.

Полученная матрица в дальнейшем используем в качестве матрицы коэффициентов в фильтре Калмана, которая минимизирует сумму средних квадратов ошибок оценки вектора состояния.

Предполагается, что детерминированных изменений коэффициентов не происходит, поэтому матрица перехода Λ является единичной: $\Lambda(k) = I$. В качестве матрицы наблюдения выступает вектор содержимого линии задержки фильтра $u(k)$. Таким образом, выходной сигнал фильтра представляет собой прогнозируемое значение наблюдаемого сигнала, а в качестве самого наблюдаемого сигнала выступает образцовый сигнал адаптивного фильтра $d(k)$. Шум наблюдения в данном случае является ошибкой воспроизведения образцового сигнала, а матрица Q_M превращается в скалярный параметр средний квадрат сигнала ошибки.

Если фильтруется стационарный случайный процесс, коэффициенты оптимального фильтра являются постоянными, примем $R_p = 0$. Чтобы дать фильтру возможность отслеживать медленные изменения статистики входного сигнала, в качестве R_p может использоваться диагональная матрица.

В результате приведенные формулы (21-22) принимают следующий вид:

$j(k) = u^T(k)\hat{w}(k-1)$ – апостериорный выходной сигнал фильтра (значение образцового сигнала по прогнозу);

$e(k) = d(k) - j(k)$ – невязка фильтра; искомый коэффициент усиления фильтра

$\Gamma(k) = \frac{P(k-1)u(k)}{u^T(k)P(k-1)u(k) + Q_M(k)}$; $\hat{w}(k) = \hat{w}(k-1) + \Gamma(k)e(k)$ – оценки коэффициентов

фильтра; $P(k) = P(k-1) - \Gamma(k)u^T P(k-1) + R_p$ - ошибки оценивания.

Обычно начальное значение вектора w принимается нулевым, в качестве исходной оценки матрицы P используется диагональная матрица вида CI . С помощью фильтра Калмана были выделены объекты, необходимые для обработки в процессе распознавания, удалена часть объектов. Это является одним из недостатков фильтра Калмана, связанным с высокой чувствительностью результирующей оценки по отношению к влиянию аномальных воздействий таких как аномальные наблюдения, затенение объектов, возникновение пораженных участков изображений. При обработке изображений фильтром Калмана возникла проблема, связанная с большим размером системных матриц, что соответственно привело к увеличению времени и объему вычислений, а также расходу вычислительных ресурсов.

В пятой главе диссертации – **«Разработка математического аппарата и методов машинного обучения глубоких нейронных сетей»** рассмотрено применение параметрических и непараметрических методов распознавания изображений с целью устранения помех и восстановления изображений объектов транспортных потоков; приводятся результаты применения методов и алгоритмов распознавания изображений с помощью сверточных нейронных сетей.

Для решения задач восстановления плотности вероятности при распознавании изображений использованы непараметрические методы, которые не требуют знания априорной информации о виде регрессионной функции и законе распределения результатов измерений. Важнейшую роль при построении непараметрических оценок играет выбор параметра сглаживания, от которого существенно зависит точность получаемых оценок.

Методы восстановления плотности используются для учета количества объектов обучающей выборки, попавших в некоторую окрестность рассматриваемой точки. Чем большее количество объектов находится в окрестности рассматриваемой точки, тем выше значение плотности в этой точке. Рассмотрено применение ядерных методов в сравнении с методом k -ближайших соседей.

Плотность распределения, вычисляемая с помощью оконных (ядерных) функций описывается выражением вида

$$\hat{p}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right), \quad (24)$$

где n - размер выборки; K - ядерная (оконная) функция; h - ширина окна; x - случайная выборка; x_i - i -я реализация случайной величины. В многомерном

случае оценка плотности, $\hat{p}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \frac{1}{h_j} K\left(\frac{x^j - x_i^j}{h^j}\right)$, где m – размер

пространства, ядро – функция, используемая для восстановления плотности распределения, непрерывная ограниченная функция с единичным интегралом

$$\int K(y)dy = 1, \quad (25)$$

$$\int yK(y)dy = 0, \quad \int y^i K(y)dy = k_i(K) < \infty.$$

Функция (25) со свойствами $K(y) \geq 0$, $K(y) = K(-y)$. Ядро – неотрицательная ограниченная симметричная вещественная функция, интеграл которой равен единице, статистические моменты должны быть бесконечны. Нахождение оптимального размера окна производится из условия

$$\left(\frac{R(K)}{k_2^4(K)S_D(a(h_{opt}))} \right)^{1/5} n^{1/5} - h_{opt} = 0.$$

С помощью метода Парзена-Розенблатта была построена аппроксимация функции распределения случайной последовательности с ограниченной областью рассеяния

$$F(x, x_0, \sigma, l) = \int_{x_{min}}^x f(\xi, x_0, \sigma, l) d\xi, \quad (26)$$

где

$$f_{lim}(x, x_0, \sigma, l) = R[\phi(x, x_0, \sigma, l) + \sum_{n=0}^{\infty} \phi_{2n+1}^{\pm}(x, x_0, \sigma, l) + \sum_{n=1}^{\infty} \phi_{2n}^{\pm}(x, x_0, \sigma, l)],$$

x_0 - положение центра рассеяния в системе координат с началом в центре отрезка $[x_{min}, x_{max}]$, σ - среднеквадратическое отклонение (СКО) случайной функции при отсутствии ограничений, $l = x_{min} - x_{max}$ – размах области рассеяния, R – нормировочный коэффициент, $x_{2n+1}^{\pm}, x_{2n}^{\pm}$ определяется по формулам:

$$x_{2n}^{\pm} = \pm 4nl + x_0, \quad x_{2n+1}^{\pm} = \pm (4n - 2)l - x_0.$$

Поскольку распределение объектов в изображении сильно неравномерно применяя метод Парзена будем использовать окно переменной ширины с решающим правилом

$$a(x, X^l, k, K) = \arg \max_{y \in Y} \lambda_y \sum_{i=1}^l [y_i \equiv y] K\left(\frac{\rho(x, x_i)}{h}\right), \quad (27)$$

$$h = \rho(x, x^{(k+1)}),$$

$X_{i,j}, i = \bar{1}, \bar{N}$, с оценкой плотности вида

$$\rho_{y,h}(x) = \frac{1}{l_y V(h)} \sum_{i=1}^l [y_i \equiv y] K\left(\frac{\rho(x, x_i)}{h}\right), \quad (28)$$

здесь $K(\theta)$ – произвольная четная функция ядра или окна шириной h , не возрастает и положительное на отрезке $[0, 1]$ с весом w

$$w(i, x) = K\left(\frac{\rho(x, x^i)}{h}\right), \quad K(z) = \frac{1}{2} [|z| < 1].$$

При малом размере выборки матрица параметров двумерного распределения становится сингулярной, а при малых значениях ширины окна данный метод сводится к методу k -ближайших соседей, который имеет свои

особенности такие как зависимость от выбранного шага и неустойчивость к погрешностям. При этом возникает необходимость наложить условия на плотность распределения $\rho_{y,h}(x)$, функцию и ширину окна. Соответственно растет объем данных в наборе изображений. Однако подобную задачу можно решить методами понижения размерности. При наличии больших наборов данных требуется эффективный механизм поиска соседних точек ближайших к точке запроса, поскольку выполнение метода, в котором вычисляется расстояние до каждой точки, занимает слишком много времени. Альтернативным подходом в решении подобного рода задач выступают свёрточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks).



Рис.6. Структура свёрточной нейронной сети, построенной для классификации объектов изображений

С помощью методов построения свертки был разработан данный механизм распознавания изображения, а затем на основе сверточных нейронных сетей построен алгоритм распознавания и восстановления изображений в условиях малой выборки при наличии шумов и смазов. Был разработан механизм обучения сверточной нейронной сети на основе метода обратного распространения ошибки. Приведенная на рис.6 сверточная нейронная сеть состоит из разных видов слоев: сверточные (convolutional) слои, субдискретизирующие (subsampling, подвыборка) слои. В операции свёртки используется лишь ограниченная матрица весов небольшого размера или окно размером 3×3 , которая передвигается по всему обрабатываемому слою (в самом начале – непосредственно по входному изображению), формируя после каждого сдвига сигнал активации для нейрона следующего слоя с аналогичной позицией.

Чередование слоев свёртки и субдискретизации (пулинга) производится для обеспечения извлечения признаков при достаточно малом количестве тренируемых параметров.

В процессе обучения свёрточной нейронной сети при формировании базы данных объектов происходит их последовательное прохождение этапов вычисления градиента на основе использования подмножества обучающего

набора данных. Было установлено, что модель, обученная на большем наборе данных, обобщает лучше. При возникновении шумов показано применение методов фильтрации в зависимости от типа шума.

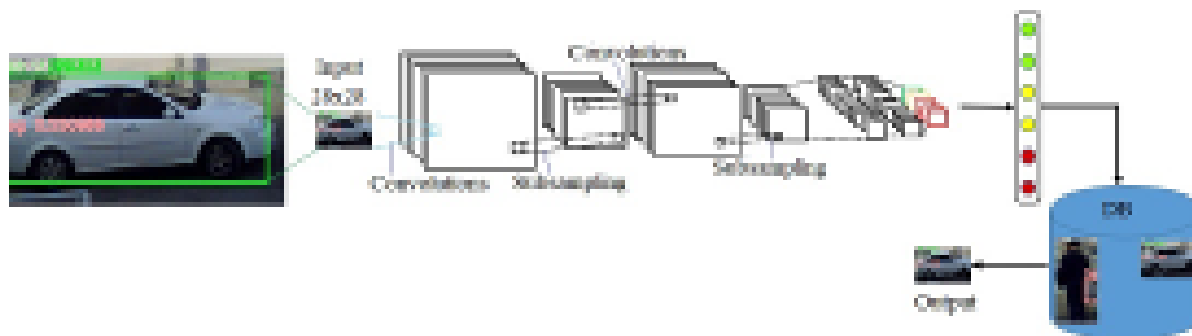


Рис.7. Распознавание изображения, формирование базы данных

Созданная в работе СНС с одним входным слоем, двумя сверточными и двумя слоями субдискретизации имеет размерность входного слоя $1 \times 28 \times 28$, первого сверточного слоя $32 \times 24 \times 24$, первого слоя подвыборки $32 \times 12 \times 12$. Приведенные слои состоят из 10-ти карт признаков. Второй слой свертки имеет размерность 10×10 , слой субдискретизации -5×5 . Структура сети приведена на рис.6-7.

Путем обучения, варьирования и тестирования выбранной сети определялось оптимальное число эпох (итераций). В результате функция потерь составила 3-12, а процент распознавания на различных объектах составил от 56 до 97. В базе объектов программы насчитывается около 80 объектов, включающих людей, животных, растения, различные виды автомобильного транспорта и т.д. Количество ошибок составило 3-12%.

Результаты диссертационной работы прошли опытно-испытательную апробация программного обеспечения.

Результаты испытания показали технико-экономическую эффективность предложенной модели, алгоритмов и программного комплекса идентификации изображений.

Практическая реализация методов и алгоритмов, предложенных в диссертационной работе, на различных объектах в реальных условиях дала положительные результаты.

В результате реализации алгоритмов и программ на военных объектах распознавание изображений позволило определять критические ситуации в период движения транспорта и повысить производительность подсистем анализа на 12-15%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе методов системного анализа, теории систем, математического анализа, статистического анализа, а также методов нечетко-логического вывода и искусственных нейронных сетей разработана концепция создания адаптивных систем управления распределёнными объектами, такими как транспортные потоки. В итоге получены следующие научные результаты:

1. В результате проведенного анализа методов, моделей транспортных потоков, критериев управления, основанных на решении оптимизационных задач управления транспортными потоками, установлено что объект управления является сложной системой с недостаточной априорной информацией для построения традиционной системы управления, поэтому для решения этой проблемы необходимы подходы, которые обеспечивают построение и адаптацию математических моделей сложных динамических слабодетерминированных многопараметрических систем, показано применение нейросетевых и нечетких алгоритмов в условиях зашумленности и больших объемов данных, при отсутствии недостаточного количества выборок для устранения априорной недостаточности.

2. Методом декомпозиции реализована сложная система управления дорожным движением с использованием нечетко-логического и мультиагентного подходов в связи с неустойчивостью объекта управления при увеличении интенсивности транспортного потока, для которых получены положения нечетких правил управления сложными объектами.

3. Разработана модель системы управления дорожным движением на основе нечетко-логического вывода для управления системой светофорной сигнализации, реализован лингвистический подход, как для отдельных светофоров и групп, так и для улично-дорожной сети, для обеспечения адаптивного управления светофорами и создания режима зеленой улицы по заданному маршруту.

4. Разработана модель автоматизированной системы управления дорожным движением на основе нейро-нечеткой логики и мягких вычислений с использованием парадигмы ситуационного управления, классификацией текущей ситуации по некоторым значениям функции принадлежности в соответствии решению робастного управления, проводимого на основе обучения нейронной сети, относящегося к типу экспертных систем.

5. Разработана структура модели системы управления на основе метода классификации нейро-нечеткой вероятностной сетью в классе адаптивных, характеризующаяся простотой реализации, высокой скоростью и возможностью обработки данных по мере поступления информации с учетом изменения условий эксплуатации.

6. Разработан алгоритм построения фильтра Калмановского типа на основе блочной формы при априорной неопределенности для случаев, когда требуется высокая чувствительность результирующей оценки по отношению

к влиянию аномальных, позволяющий также решить проблему реконструкции изображений.

7. Получен гибридный алгоритм распознавания изображения на основе непараметрического метода Парзена-Розенблатта в условиях малой выборки и при наличии аппликативных помех (зашумленность изображения в результате затенения объекта, наличие пораженных участков, смазы), который показал хорошую устойчивость и сходимость даже в условиях отсутствия априорной информации. Применен метод свёртки, который также показал устойчивость алгоритма с различными ядерными функциями и относительную близость аппроксимирующей функции к истинной функции распределения.

8. Решены задачи создания свёрточной нейронной сети, ее обучение в условиях малых выборок и при наличии аппликативных помех: построена архитектура свёрточной нейронной сети; реализован механизм создания сверточных нейронных сетей с построением классификатора и выделением объектов на изображении, построением слоев свертки, субдискретизации с извлечением признаков.

9. Разработаны концепция и методология адаптивного управления распределенными объектами в классе сложных систем таких, как уличная дорожная транспортная сеть. Предложенные концепция и методология позволяют обеспечить противодействие возможным критическим ситуациям, а также бесперебойное функционирование и адаптивное управление объектами уличной дорожной сети.

10. Создано программное обеспечение, позволяющее распознавать, классифицировать и идентифицировать объекты изображения. При этом функция потери составила 3-12, а процент распознавания на различных объектах составил от 56 до 97, при скорости настройки не более 1,5 с. Создана база объектов программного обеспечения насчитывает 80 объектов, включающих людей, животных, растения, автомобильный транспорт и т.д.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc. 03/30.12.2019.T.03.02
ON THE ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

VARLAMOVA LYUDMILA PETROVNA

**NEURO-FUZZY MODELS AND ALGORITHMS FOR THE SYNTHESIS
OF ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL SYSTEMS**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

**ABSTRACT OF THE DISSERTATION OF
DOCTOR OF SCIENCE (DSc) ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2020

The theme of doctoral (DSc) dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.3.DSc/T321.

The dissertation has been prepared at National University of Uzbekistan.

The Abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant: **Marakhimov Avazjon Rakhimovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Ismailov Mirhalil Agzamovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Kaipbergenov Batirbek Tulabergenovich
Doctor of Technical Sciences, Professor,

Tashmanov Erjan Baymatovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization: **Tashkent State Transport University**

Defense of dissertation will take place in «9» 12 2020 at 10⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 180). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41.)

Abstract of the dissertation distributed «27» 11 2020 year.
(mailing report № 28, on «19» 11 2020 year).



N.R. Yusupbekov
Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Professor, Academician

U.F.Mamirov
Scientific Secretary of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
PhD in technical science

Kh.Z.Igamberdiev
Chairman of the Academic Seminar
under the Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The aim of the research work is to create effective methods, mathematical models and algorithms for traffic management to ensure uninterrupted operation in the design of complex control systems with the processing of noisy video images of traffic objects.

The objects of the research work is the process of managing distributed objects, such as traffic flows in the conditions of a street-road network.

Scientific novelty of the research work is as follows:

developed concept and methodology, as well as the basic principles of traffic management by neuro-fuzzy logic;

synthesized the structure of traffic control systems, taking into account the properties of the investigated object of a deterministic nature in conditions of insufficient a priori information;

developed hybrid mathematical models of the structure of the traffic control system based on fuzzy - logical inference;

developed models and control algorithms for multi-agent traffic control systems based on a multilevel approach;

developed the structure of the model of the control system based on the classification method of the neuro-fuzzy probabilistic network in the class of adaptive;

developed a hybrid algorithm for constructing a Kalman type filter based on a block form with a priori uncertainty for cases requiring high sensitivity of the resulting estimate in relation to the influence of anomalous effects in the presence of high computational capabilities;

developed a hybrid image recognition algorithm based on nonparametric methods in a small sample and in the presence of applicative interference using the convolution method with various nuclear functions.

Implementation of the research results. Based on the developed algorithms, methods and software for traffic control; recognition, identification and classification of traffic flow objects:

the developed models and control algorithms for multi-agent traffic control systems based on a multilevel approach have been introduced into the monitoring process of military units 64562, 49479, 71201 of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan (Certificate of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan No. 25/10/685 on the implementation of research results dated July 22, 2020). As a result, the quality of observation of moving objects and transport means increased by 10-12%;

the developed structure of the control system model based on the method of classification of the neuro-fuzzy probabilistic network in the adaptive class is introduced into the observation process of military units 64562, 49479, 71201 of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan (Certificate of the Ministry of Defense of the Republic of Uzbekistan No. 25/10/685 on the implementation of research results from 22 July 2020). As a result of using the developed methods

and algorithms, the object recognition coefficient was - 80%, which makes it possible to classify and calculate the number of objects in the frame;

a hybrid algorithm for constructing a Kalman type filter based on a block form with a priori uncertainty for cases requiring high sensitivity of the resulting estimate in relation to the influence of anomalous influences in the presence of high computational capabilities, a software complex based on hybrid algorithms "Software for recognition, classification and calculation the number of objects in the video image based on deep neural networks "are introduced for the recognition of various objects during sports competitions (Conclusion of the Handball Federation of Uzbekistan No. 118 dated May 3, 2020). As a result, the indicators of motion recognition during sports events and in monitoring systems of transport units in order to detect violations have improved by 22%.

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references and applications. The volume of the thesis is 192 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Варламова Л.П. Машинное зрение на основе искусственного интеллекта. // Монография. ТУИТ им. Мухаммада ал Хорезми, Типография «Zuxra Baraka biznes» MChJ, 2019. -138 С.

2. Марахимов А.Р., Варламова Л.П. Методы, алгоритмы обработки и классификации визуальных данных с использованием сверточных нейронных сетей. // Монография. Publisher: LAP LAMBERT Academic Publishing. Trademark of International Book Market Service Ltd., -2020. -185 P.

3. Varlamova L.P. Convolution of Images Using Deep Neural Networks in the Recognition of Footage Objects. // Springer, part of Springer Nature. Vol. 912, Aboul-Ella Hassanien et al. (Eds): Artificial Intelligence for Sustainable Development: Theory, Practice and Future Applications, 978-3-030-51919-3, 493719_1_En, -PP. 171-191, (Chapter 9). https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-51920-9_9 (3, Scopus)

4. Варламова Л.П., Норинов М.У. Методы обработки изображений. // Монография. –Ташкент.: «Fan va texnologiya», 2020. -220 С.(05.00.00, №25)

5. Юсупбеков Н.Р., Игамбердыев Х.З., Варламова Л.П. Построение мультиагентных распределенных систем управления на основе современных концепций системной оптимизации// Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2004. № 1, -С. 51-58. (05.00.00, №16)

6. Варламова Л.П. Синтез наблюдающего устройства воздействия. // Вестник НУУз. –Ташкент, 2010. -№3, -С. 54-57. (01.00.00, №8)

7. Varlamova L.P. Applications of correlation signal detector with uncertain parameters. // Chemical Technology. Control and Management». –Tashkent, 2019. -№3. -PP. 70-74. <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2019/iss3/>. (05.00.00, №12)

8. Marakhimov A.R., Varlamova L.P. Block form of Kalman filter in processing images with low resolution // Chemical Technology. Control and Management». – Tashkent, 2019. -№4. -PP. 139-150. <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2019/iss4/>. (05.00.00, №12)

9. Marakhimov A.R., Varlamova L.P. Application of convolutional neural network for images recognition. // Chemical Technology. Control and Management».– Tashkent, 2020. -№2. -PP. 69-81. (05.00.00, №12)

10. Varlamova Lyudmila P. Non-parametric classification methods in image recognition. // Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: <http://xajzkjdx.cn/Vol-11-Issue-12-2019/pp.1494-1498> Issn No: 1006-7930. 2019, Volume XI, Issue XII, -PP. 1494-1498. DOI:20.19001.JAT.2020.XI.I12.20.1891. (3, Scopus)

11. Varlamova L., Aripova Z., Ganiev A., Fayzullaev U. Removing Noise During the Filtering Images. // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-9 Issue-1, May 2020. -pp. 2584-

2587. <http://www.ijrte.org/download/volume-9-issue-1/> (3, Scopus)

12. Varlamova L.P. Image processing of technological objects Chemical Technology. Control and Management». — Tashkent, 2020. -№3, -P.66-72. <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2020/iss3/11/>. (05.00.00, №12)

13. Варламова Л.П., Норинов М.У. Идентификация изображений свёрточными методами в условиях малых выборок наблюдений. // Acta of Turin Polytechnic University in Tashkent, Volume-10, Issue-1, Article 18, -P.27-34. <https://uzjournals.edu.uz/actattpu/vol10/iss1/18/>(05.00.00, №25)

14. Варламова Л.П., Тажиев Ж.А. Модель движения мультироторного летательного аппарата. // Вестник ТУИТ. –Ташкент, 2019. -№1, -С. 78-85. (05.00.00, №31)

II бўлим (II часть; II part)

15. Варламова Л.П. Многоуровневая распределенная система управления // Вестник КазНУ. –Алматы, 2008. -№3 (58) т.13. –С. 347-352.

16. Варламова Л.П., Салахова К.Н., Тиллаходжаева Р.С. Нейросетевой подход в задаче обработки данных // Международный журнал «Молодой ученый». –Казань, 2018. -№202, Часть 1, -С. 99-101. Available online at: <https://moluch.ru/archive/202/>.

17. Варламова Л.П. Применение беспилотных летательных аппаратов в обеспечении технологической безопасности // Journal of Technical and Natural Sciences 5(14), 2019 Germany, -pp. 54-90.

<http://scopus.com/scopus/index.php/t-n-sc/article/view/820/826>

18. Варламова Л.П., Тажиев Ж.А. Роботы и дроны // Журнал «Молодой ученый». –Казань, 2018. — № 20 (206). -С. 121-125. URL: <https://moluch.ru/archive/206/50382/>

19. Варламова Л.П., Эшмурадов Б. Разработка нейро-нечеткой системы управления сложными технологическими объектами с использованием технологии мягких вычислений на основе нейронных сетей / Известия ВУЗов. Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы современной математической науки» Ош, -2005. –С. 5-9.

20. Varlamova L.P. To the Problem of Planimetric Decomposition of the Distributed Multiagent Systems / Сборник научных докладов Международная научная конференция “WCIS-2004”. (“Third World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation”, b-Quadrat Verlag. 86916 Kaufering). - Tashkent 2004. -PP.122-124.

21. Варламова Л.П. Применение наблюдающих устройств в системах управления технологическими объектами / Сборник трудов XVI Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-16». -Ташкент -2003. Т.2. –С.117-118.

22. Варламова Л.П., Махаров Т.А. Координация элементов мультиагентных распределенных систем / Труды Международной научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы педагогического образования», -Шымкент, 2006. - С. 13-15.

23. Варламова Л.П., Курмаева Н.Г. Решение задач классификации с помощью искусственных нейронных сетей / Сборник докладов Республиканской научно-практической конференции «Роль женщин-ученых в развитии, научно-техническом прогрессе». Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека. –Ташкент, 2006. -С. 159-162.

24. Варламова Л.П. Многоуровневые мультиагентные распределенные системы управления / Материалы Международной конференции «Новые направления в теории динамических систем и некорректных задач». – Самарканд, 2007. -С. 96-98.

25. Варламова Л.П. Описание многоуровневых мультиагентных распределенных систем управления / «Актуальные проблемы теории управления, топологии и операторных уравнений» Сборник статей Международной научной конференции. –Бишкек, 2008. –С. 109-112.

26. Варламова Л.П. Application of observing devices of influences in control systems / Тезисы докладов международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – аль-Хорезми 2009». –Ташкент, 2009. -С. 131-132.

27. Варламова Л.П. Применение наблюдающих устройств воздействия в системах управления / «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий – Аль-Хорезми 2009»: Труды международной конференции Том II, -Ташкент, 2009. -С. 104-106.

28. Варламова Л.П., Тажиев Ж.А. Применение БПЛА для решения мониторинговых задач в различных отраслях промышленности / Proceedings of the «International Conference on Importance of Information - communication technologies in Innovative development of sectors of economy». –Tashkent. 2018. -PP. 268-272.

29. Варламова Л.П. Применение фильтра Калмана в обработке изображений / Тезисы международной конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий» -Ташкент, 2019. –С. 232.

30. Варламова Л.П. Фильтрация изображений на основе оконных методов / Международная научно-практическая конференция «Инновационные идеи, разработки в практику: проблемы и решения». –Андижан, 2020. –С.97-100.

31. Давыдовский А.Г., Лихачевский Д.В., Дик С.К., Яшин К.Д., Варламова Л.П., Тажиев Ж.А. Проблемы применения беспилотных летательных аппаратов в обеспечении общественной, промышленной и экологической безопасности / Big Data and advanced Analytics. 2019г - BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13–14 марта 2019 года). В 2 ч. Ч. 2. -С. 305-320. https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/34800/1/Davydovskiy_Problemy.PDF

32. Варламова Л.П., Давыдовский А.Г., Яшин К.Д. Processing images of technological objects. / Big Data and advanced Analytics. 2020г -BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 17–18 мая 2020 года). В 2 ч. Ч. 2. -С. 176-182.

33. Варламова Л.П., Тиллаходжаева Р.С. Построение функциональных моделей при распознавании изображений / Тезисы докладов республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных женщин-ученых «Актуальные проблемы математики и механики - SAWMA-2018». - Ургенч, 2018. –С. 32-34.

34. Varlamova L.P., Tajiev J.A. Model of the control system of the unbeiled flying vehicle / Proceedings of the “WCIS-2018”, Tenth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. b-Quadrat Verlag. –Tashkent, 2004. -PP. 324-326.

35. Варламова Л.П., Тажиев Ж.А. Модель системы управления мультироторного летательного аппарата / Материалы республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизации и программирования». –Ташкент. 2018. - С.113-116.

36. Варламова Л.П., Хашимходжаева М.Д. Нейро -лингвистический подход в обработке разнотипной информации / Материалы республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизации и программирования». –Ташкент, 2018. - С.484-486.

37. Варламова Л.П. “Комплекс программ для преобразования изображений” Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 07348 11.12.2019.

38. Варламова Л.П., Мухиддинов А.Т. “Программный комплекс для распознавания изображений на основе глубоких нейронных сетей” Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 07402. 23.12.2019.

39. Варламова Л.П., Мухиддинов А.Т. “Программный комплекс для распознавания, классификации и подсчета количества объектов в видеоизображении на основе глубоких нейронных сетей” Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. DGU 07926, 16.03.2020.

40. Варламова Л.П. “Программа для распознавания лиц на основе искусственных нейронных сетей” Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 07282 06.12.2019.

41. Варламова Л.П., Тажиев Ж.А., Султонова У.А. Программное обеспечение для GPS навигации беспилотного летательного аппарата». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 05932. 04.12 .2018.

42. Варламова Л.П., Тажиев Ж.А., Давлетов И.Ш. Программное обеспечение для автономного определения оптимальной траектории полета беспилотного летательного аппарата Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ DGU 07008. 11.10 .2019.

Автореферат «ТАТУ хабарлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитура рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 4. Адади 100. Буюртма № __.

«Тошкент кимё-технология институти» босмахонасида чоп этилди.
100011, Тошкент, Навоий кўчаси, 32-уй.