

Олжаев Олжас Мұратұлының
«Видеодеректер негізінде терең оқыту әдістерін қолдану арқылы жолдың
зақымдануын анықтау жүйесін әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық
жұмысына, 8D06105 – «Деректер ғылымы» білім беру бағдарламасы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған
АҢДАТПА

Өзектілігі

Жол инфрақұрылымының пайдалану сенімділігін қамтамасыз ету экономикалық даму қарқынын ғана емес, сонымен қатар қоғамдық қауіпсіздік деңгейін де анықтайтын маңызды фактор ретінде қарастырылуы керек. Кенептің нашарлау процесі, әдетте, уақтылы араласу болмаған кезде сөзсіз терең шұңқырларға айналатын микрокректердің торын қалыптастырудан басталады. Мұндай ақаулар қозғалысқа қатысушыларға тікелей қауіп төндіреді. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының жаһандық есептеріне сәйкес, жолдағы оқиғалардан болатын жыл сайынғы өлім-жітім 1,19 миллионға жетеді. Сонымен қатар, көбінесе тұрақты мүгедектікке әкелетін өлімге әкелмейтін жарақат ауқымы 50 миллионға дейін зардап шеккендерді қамтиды. Жол жамылғысының жағдайы барлық тіркелген апаттардың кем дегенде 10% - анықтайтынын ескеру маңызды. Осыған байланысты жол желілерінің мониторингіне көшу тар техникалық міндеттен денсаулық сақтау саласындағы басым стратегияға ауысады.

Жол көлік оқиғасы салдарын жоюға арналған тікелей шығындар тозған жол желілерін пайдалануға байланысты қаржы аспектісіне тікелей әсер етеді. Жаһандық зерттеу тәжірибесі жол-көлік жарақаты мен жабынның деградациясынан болатын жиынтық залал мемлекеттің жалпы ішкі өнімінің (ЖІӨ) 3% - на жетуі мүмкін екенін көрсетеді. Медицинаға тікелей шығындар, еңбек өнімділігінің ұзақ мерзімді төмендеуі, сондай-ақ инженерлік құрылыстар мен көлік құралдарының мәжбүрлі тозуы бұл көрсеткішті қалыптастырады. Сонымен қатар, ақаулы кенепте автопаркті пайдалану салдарынан жыл сайын жоспардан тыс сервистік қызмет көрсетуге миллиардтаған шығындар жұмсалады, бұл машиналардың техникалық ресурсының мерзімінен бұрын таусылуына әкеледі. Жол ведомстволары операциялық шығындарды оңтайландыруға ұмтылатын осы жағдайларды ескере отырып, белсенді мониторинг стратегияларына көшу активтерді қолдаудың баламасыз құралына айналады.

Бүгінгі таңда эксплуатациялық қызметтердің персоналына берілген визуалды тексеру Жол шаруашылығы аудитінің танымал әдісі болып қала береді. Алайда, мұндай сараптамалық бағалаудың ықтимал тереңдігі техникалық ресурстардың шектеулілігімен теңестіріледі. Шындығында, қолмен басқару-бұл өте инертті процесс, ол жоғары операциялық шығындармен және деректердің дәлдігі үшін маңызды, субъективті бұрмаланудың маңызды қаупімен байланысты. Адам факторының физикалық шектеулері нақты уақыт режимінде жол желілерін үздіксіз бақылау үшін қажетті кеңістікті қамтуды қамтамасыз етуге мүмкіндік бермейді. Жылдам урбанизация және көлік тораптары топологиясының күрделенуі аясында дәстүрлі визуалды инспекция өзінің тиімділігін жоғалтты және жолдарға техникалық қызмет көрсетудің цифрлық ортасының дамуын тежейді.

Компьютерлік көру мен терең оқыту алгоритмдерінің қарқынды эволюциясы автономды жол инфрақұрылымын бақылау жүйелерін құруға түбегейлі жаңа мүмкіндіктер ашты. Жіктеу, объектіні анықтау және семантикалық сегментация мәселелерінде қол жеткізілген серпінді нәтижелер жол ақауларын іздеуді автоматтандыруға зерттеу қызығушылығын шоғырландырды. Осы технологиялық Вектор шеңберінде терең конволюциялық нейрондық желілерді (CNN) және заманауи детекторларды қолдану басым тәсіл болды. Мұндай архитектуралар күрделі визуалды контекст жағдайында зақымдануды дәл анықтауға мүмкіндік беретін жоғары ажыратымдылықтағы суреттерден жоғары деңгейлі визуалды белгілерді алуға мүмкіндік береді.

Ағымдағы күндерде компьютерлік көруді қолдана отырып, жол ақауларын автоматтандырылған анықтау саласы өзекті міндеттердің бірі болып саналады және біз осы саладағы қызығушылықтың экспоненциалды өсуін көреміз. Профильді әдебиеттерге талдау жасай отырып, біз ғылыми белсенділіктің бұл өсуін анық көре аламыз: егер 2015 жылы тек 50-ге жуық тиісті басылым болса, онда 2025 жылға қарай олардың саны 900 жұмыс белгісінен асып түсті. Мұндай динамика үш факторға байланысты: жоғары ажыратымдылықтағы датчиктерді кеңінен енгізу, ауқымды өкілдік датасеттердің қалыптасуы және көп қабатты нейрондық желілерді оқытуға қажетті жоғары өнімді есептеу қуаттарының болуы.

Егер біз қазіргі ғылыми жұмыстарды талдайтын болсақ, онда олардағы басты назар тіркеушілерден немесе смартфондардан бір кадрларды өңдеуге бағытталғанын байқауға болады. Бірақ тәжірибе көрсеткендей: нақты бақылау үшін бұл жеткіліксіз. Біз бейне ағынды пайдаланып динамиктегі кенептің күйін көруіміз керек. Бұл жүйеге ақауларды дәлірек тануға және кездейсоқ кедергілерді жоюға көмектесетін "уақыт координатын" қосатын бейне жұмысы. Көліктегі камера көлік жүргізу кезінде тікелей үзіліссіз бейне жазғанда, бұл жол желісінің үлкен бөліктерін қамтуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде зақымдануды нақты уақыт режимінде диагностикалауға арналған құрал алынады, бұл магистральдарға жедел қызмет көрсету үшін өте маңызды.

Қол жеткізілген жетістіктерге қарамастан, қашықтықтан зондтау құралдарымен жол ақауларын автоматтандырылған анықтау сегменті әлі де бірқатар іргелі кедергілерге тап болады. Қолданыстағы жүйелердің тиімділігі қоршаған ортаның өзгергіштігіне өте тәуелді: динамикалық жарық диапазоны, терең окклюзиялардың (көлеңкелердің) болуы, ландшафттың маусымдық Метаморфозы және ауа-райының тұрақсыздығы. Сонымен қатар, өткір бұрыштарда қашықтықтан түсірудің күрделі ерекшеліктерін ескеру қажет, бұл сөзсіз объектілердің перспективалық бұрмалануына әкеледі. Сонымен қатар, ақаулардың морфологиясы – олардың құрылымы, сызықтық емес пішіндері және геометриялық өлшемдердің кең ауқымы – оларды стандартты әдістермен дәл саралау процесін қиындатады. Бұл қиындықтар терең оқытудың күрделі, иерархиялық архитектураларына көшу қажеттілігін талап етеді. Атап айтқанда, визуалды шуға жоғары ұялшақтығы бар және көріністің төмен контраст жағдайында зақымданудың тиісті үлгілерін бөліп көрсетуге қабілетті белгілерді алудың мамандандырылған модульдерін енгізу қажет.

Диссертациялық зерттеудің негізгі **мақсаты** – жол инфрақұрылымының ақауларын анықтаудың дәлдігін арттыруды және оларды кейіннен картаға түсіру

мүмкіндігін қамтамасыз ететін компьютерлік көру және терең оқыту әдістері негізінде нақты уақыт режимінде жол жамылғысының зақымдануын автоматты түрде анықтау мен талдаудың интеллектуалды жүйесін әзірлеу.

Зерттеудің келесі **міндеттері** қойылды:

- жоғары ажыратымдылықтағы камералар мен басқа да жазу құралдарын пайдалана отырып, бейне деректерді жинауды жүргізу.
- жарықтар, шұңқырлар және деформациялар сияқты жол жамылғысының зақымдануының әртүрлі түрлерін бөлектеу арқылы деректерді қолмен белгілеуді орындаңыз.
- терең оқыту үлгілерін оқыту және сынау үшін жоғары сапалы белгіленген деректер жинағын жасаңыз.
- деректер сапасына және терең оқыту модельдерінің тұрақтылығына әсер ететін жол жамылғысы кескіндерінің көрнекі белгілері мен сипаттамаларына талдау жүргізу.
- жолдың зақымдануын жіктеу және сегментациялау үшін терең оқыту моделін әзірлеу және оқыту.
- әртүрлі түсіру жағдайларына жоғары дәлдік пен тұрақтылыққа қол жеткізу мақсатында құрастырылған деректер жиынында әзірленген модельдерді тестілеуді жүргізу.
- интерактивті зақымдану карталарын құру мүмкіндігін қамтамасыз ете отырып, оқытылған модельді жолдардың жай-күйін автоматты бақылау қосымшасына біріктіру.

Зерттеу нысаны – автомобиль жолдары және бейне деректерді талдау арқылы алынған жол жамылғысының зақымдануының визуалды.

Зерттеу пәні – нақты уақыт режимінде жол жамылғысының зақымдануын анықтауға, жіктеуге және сегментациялауға арналған компьютерлік көру, терең оқыту және көп тапсырмалы нейрондық желілердің әдістері мен алгоритмдері.

Әдіснамасы

Жұмыстың әдіснамалық негізі сандық кескінді өңдеу әдістері, компьютерлік көру алгоритмдері және терең машиналық оқытудың заманауи әдістері болып табылады. Жұмыста интеллектуалды жол зақымдануын анықтау жүйесін құру үшін конволюциялық нейрондық желілер (CNN), трансформаторлық зейін механизмдері, көп тапсырмалы оқыту және бейне деректерді талдау әдістері қолданылады. Сондай-ақ, деректерді алдын-ала өңдеу, кескінді күшейту, нейрондық желілерді оңтайландыру және анықтау және сегменттеу көрсеткіштерін қолдана отырып модельдердің сапасын эксперименттік бағалау әдістері қолданылады.

Қорғауға ұсынылатын ғылыми тұжырымдар:

- нақты уақыт режимінде жол жамылғысының зақымдануын бір уақытта анықтау, жіктеу және сегменттеу үшін әзірленген көп тапсырмалы нейрондық желі архитектурасы (TCR-RoadNet).
- күрделі және фрагменттелген ақауларды локализациялау дәлдігін арттыратын кросс-масштабты трансформаторлық назар негізінде ерекшеліктерді контекстік нақтылау модулі.

- ақауларды танудың жарықтың, фондық шудың және ауа-райының өзгеруіне тұрақтылығын қамтамасыз ететін инвариантты визуалды белгілерді қалыптастырудың ұсынылған әдісі.

Зерттеудің негізгі нәтижелері:

- компьютерлік көру және терең оқыту әдістерін пайдалана отырып, нақты уақыт режимінде жол инфрақұрылымының үздіксіз мониторингін қамтамасыз ететін бейне деректерді талдау негізінде жол жамылғысының зақымдануын автоматты түрде анықтаудың зияткерлік жүйесі әзірленді;
- жол ақауларын бір уақытта анықтауға, жіктеуге және сегменттеуге арналған TCR-RoadNet нейрондық желісінің көп тапсырмалы архитектурасы ұсынылған. Архитектураға көп масштабты конвульсиялық белгілерді алу блогы, трансформаторлық контексті қалпына келтіру (TCR) модулі және мамандандырылған өңдеу тармақтары кіреді, бұл локализацияның дәлдігін және күрделі зақымдануды танудың тұрақтылығын жақсартуға мүмкіндік берді;
- әртүрлі масштабтағы объектілер арасындағы кеңістіктік тәуелділіктерді тиімді талдауды қамтамасыз ететін трансформаторлық зейін механизмі негізінде ерекшеліктерді контекстік нақтылау модулі әзірленді және іске асырылды. Бұл модульді пайдалану сегменттеу сапасын жақсартуға және асфальттың көлеңкелері, жарқырауы және біркелкі емес құрылымы болған кезде жалған оң позитивтердің санын азайтуға мүмкіндік берді;
- көлік инфрақұрылымын пайдаланудың нақты жағдайларында тіркелген бойлық және көлденең жарықтар, торлы қираулар мен шұңқырларды қоса алғанда, әртүрлі зақымдардан тұратын жол жабынының өзіндік бейне деректер жинағын жинау, алдын ала өңдеу және белгілеу орындалды;
- әзірленген модельдің тиімділігіне эксперименттік бағалау жүргізілді. Есептеу эксперименттерінің нәтижелері оқу процесінде нейрондық желінің тұрақты конвергенциясын, ақауларды анықтау және сегменттеу дәлдігінің жоғары көрсеткіштерін және жүйенің нақты уақыт режимінде секундына 57 кадрға дейін жұмыс істеу мүмкіндігін көрсетті;
- жүйенің жоғары өнімділігін сақтай отырып, ақауларды анықтау дәлдігінің жоғарылауын және сегменттеу сапасының жақсаруын көрсеткен жол мониторингі міндеттері үшін қолданыстағы терең оқыту модельдерімен әзірленген архитектураға салыстырмалы талдау жасалды;
- анықталған зақымдарды автоматты түрде визуализациялауға, оларды географиялық координаттармен байланыстыруға және талдау нәтижелерін жол қызметтері мен коммуналдық ұйымдар одан әрі пайдалану үшін интерактивті картада көрсетуге мүмкіндік беретін жол инфрақұрылымының интеллектуалды мониторингінің бағдарламалық қамтамасыз етуі мен веб-интерфейсі әзірленді.

Ғылыми жаңалығы

Зерттеудің ғылыми жаңалығы TCR-RoadNet көп тапсырмалы нейрондық желі моделін жасау болып табылады, ол нақты уақыттағы жол ақауларын бір уақытта табады, таниды және сегменттейді. Жаңалықтың негізгі элементі – жол сахнасының ғаламдық кеңістіктік тәуелділіктерін талдауды қамтамасыз ететін трансформаторлық зейін

механизмін енгізу. Бұл жүйенің көлеңкелерді, шалшықтарды және көрнекі шуды елемей, кез келген ауа-райында және кез келген жарықта зақымдануды тұрақты тануға мүмкіндік беретін бірегей бейімделу әдісін жасауға мүмкіндік берді.

Ғылыми үлес:

- көлік инфрақұрылымын пайдаланудың нақты жағдайларында тіркелген зақымданудың әртүрлі түрлерін қамтитын жол жабыны бейнелерінің бірегей бейне деректер жиынтығы (деректер жиынтығы) әзірленді және белгіленді.
- маусымдық жағдайлардың әсері және динамикалық жарықтандырудың өзгергіштігі сияқты қосымша көрнекі белгілер анықталды және алгоритмдік түрде ескерілді, бұл модельдің күрделі түсіру жағдайларына тұрақтылығы мен ұялшақтығын едәуір арттыруға мүмкіндік берді.
- нақты уақыт режимінде үздіксіз бейне ағынын өңдеуге және интеграцияланған веб-интерфейс арқылы аналитикалық есеп беруге қабілетті жол инфрақұрылымының автоматтандырылған мониторингінің кешенді жүйесі әзірленді.

Диссертациялық жұмыстың **теориялық маңыздылығы** жол талдауының үздіксіз мониторингін қамтамасыз ету мәселесін шешу үшін компьютерлік көру және терең оқыту әдістерін қолданумен байланысты. Статикалық кескіндерді өңдейтін көптеген өзекті тәсілдерден айырмашылығы, бұл жұмыс бейне тізбектерінің кеңістіктік-уақыттық сипаттамаларын талдау үшін ғылыми және әдістемелік базаны арттырады. Әзірленген әдістер күрделі жағдайларда сенімді машиналық көру жүйелерін әзірлеу үшін интеллектуалды жүйелерді алгоритмдік қолдауға ықпал етеді.

Зерттеудің **практикалық маңыздылығы** жол жамылғысының ақауларын анықтау процесін автоматтандыратын және қол инспекцияларынан жол инфрақұрылымын бақылаудың интеллектуалды жүйелеріне көшуге ықпал ететін енгізуге дайын бағдарламалық қамтамасыз етуді және мамандандырылған ақпараттық жүйені құруда көрінеді. Зерттеудің нәтижесі нақты уақыттағы жабдықтың бейне мониторингіне негізделген жол ақауларын (шұңқырлар, жарықтар) жіктеуге және оқшаулауға арналған нейрондық желінің зерттелген және негізделген моделі, сондай-ақ интерактивті Басқару тақтасы ретінде енгізілген арнайы веб-қосымша болды. Оқытылған нейрондық желі моделін веб-интерфейс деректерімен біріктіру анықталған Жол ақауларын автоматты түрде байланыстыруға және оларды картада көрсетуге мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер мен әзірленген бағдарламалық құралдар жол қызметтеріне жедел ден қою үшін, жолдарды жөндеудің басым тәртібін объективті айқындау үшін және мамандандырылған коммуналдық қызметтердің, жол-құрылыс компанияларының және көлік және жол инфрақұрылымы министрліктерінің техникалық қызмет көрсетуге бюджеттің жұмсалуды болдырмау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Нәтижелердің сенімділігі және негізділігі

Алынған нәтижелердің дұрыстығы компьютерлік көру мен терең оқытудың заманауи әдістерін қолдану, конволюциялық нейрондық желілерді (CNN) және трансформаторлық назар аудару механизмдерін қолдану, сондай-ақ нақты пайдалану жағдайында жиналған жол жамылғысының белгіленген бейне деректер жиынтығында есептеу эксперименттерін жүргізу арқылы қамтамасыз етіледі. Нәтижелердің сенімділігі

қолданыстағы архитектуралармен және жол ақауларын анықтау алгоритмдерімен салыстырмалы талдаумен, сапаны бағалаудың жалпы қабылданған көрсеткіштерін (mAP, IoU, Precision, Recall, F1-score), оқу процесінде модельдің тұрақты конвергенциясымен және әртүрлі жарық жағдайларында, ауа-райы факторларында және фондық шу кезінде алынған нәтижелердің қайталануымен расталады.

Диссертациялық жұмысты апробациясы

Жұмыстың негізгі нәтижелері «ХАТУ» АҚ «Математикалық және компьютерлік модельдеу» кафедрасының семинарларында (2024-2026 жж.), Asia Metropolitan University, Малайзия университетінде (2026 ж.) ұсынылды және талқыланды. Диссертация тақырыбы бойынша 4 жарияланым, оның ішінде Scopus базасында индекстелетін рейтингтік ғылыми басылымдарда 2 жарияланым; халықаралық конференция материалдарында 2 жарияланым; 1 авторлық куәлік алынды.

1. Olzhayev, O. M., Kulambayev, B. O., Sakenkyzy, N., & Belisbek, M. (2026). A Real-Time Multi-Scale Feature Pyramid YOLO Architecture for Accurate and Deployment-Efficient Road Damage Detection. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 17(3). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2026.0170350>

2. Kulambayev, B. O., Olzhayev, O. M., Altayeva, A. B., & Zhunisbekova, Z. (2025). A Multi-Scale ROI-Aligned Deep Learning Framework for Automated Road Damage Detection and Severity Assessment. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 16(12). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2025.01612107>

3. Olzhayev, O., Kulambayev, B., & Omarov, B. (2025). Real-Time Pixel-Wise Segmentation of Road Surface Damage Using a 2D U-Net Architecture. *Procedia Computer Science*, 269, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.08.266>

4. Kulambayev, B., & Olzhayev, O. (2025). A Mask R-CNN Algorithm for Automated Segmentation of Asphalt Road Cracks. *Procedia Computer Science*, 269, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.08.257>

5. О. Олжаев Қазақстан Республикасының № 69666 ЭЕМ үшін бағдарламаны қорғау құқығына куәлік. TCR-RoadNet бағдарламалық жасақтамасы 7.04.2026 ж

Барлық аталған басылымдарда ізденуші жетекші рөлге ие және зерттеудің негізгі нәтижелері, автор жасаған талдаулар, модельдер, бағдарламалар, ізденушінің жұмысы мен зерттеуінен алынған нәтижелер негізінде тұжырымдар жасалады.

Мемлекеттік бағдарламалармен байланысы

Диссертациялық зерттеу «Компьютерлік көру және жасанды интеллектті пайдалана отырып, нақты уақыт режимінде жол жамылғысының зақымдануын анықтау жүйесін әзірлеу» тақырыбында гранттық қаржыландыру (ЖРН AP23487192) шеңберінде орындалды.

Зерттеу Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2024 жылғы 24 шілдедегі №592 қаулысымен бекітілген Қазақстан Республикасында жасанды интеллектті дамытудың 2024-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасын іске асыруға компьютерлік көрудің Зияткерлік жүйелерін әзірлеу және енгізу, бейнедеректерді талдау және көлік инфрақұрылымының автоматтандырылған мониторингі бөлігінде Қазақстан Республикасы дамуының стратегиялық басымдықтарына сәйкес келеді және үлес қосады. TCR-RoadNet нейрондық желісінің әзірленген көп тапсырмалы архитектурасы және жол жабынының зақымдануын анықтау жүйесі отандық жасанды интеллект

технологияларын, зияткерлік көлік жүйелерін дамытуға және Қазақстан Республикасының жол инфрақұрылымын цифрландыруға ықпал етеді.

Диссертацияның негізгі мазмұны

Диссертациялық жұмыс терең оқытудың озық әдістері қолданылатын бейне деректерді талдау негізінде жол жамылғысының зақымдануын анықтау, жіктеу және сегменттеу міндеттері бойынша ақауларды табу мәселесіне бағытталған.

Бірінші бөлімде жол инфрақұрылымының деградациясы проблемасының өзектілігі және ресурстарды қажет ететін қол инспекцияларынан интеллектуалды мониторинг жүйелеріне көшу қажеттілігі негізделеді. Зерттеудің мақсаты мен міндеттері тұжырымдалады, сонымен қатар дамыған көп тапсырмалы нейрондық желілік архитектура мен бағдарламалық-аналитикалық кешеннің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы анықталады.

Екінші бөлімде жол ақауларының түрлерін жүйелеуді және оларды анықтау әдістерінің эволюциясын талдауды қамтитын әдебиеттерге ауқымды шолу жасалады. Классикалық компьютерлік көру алгоритмдерінен терең оқытудың заманауи архитектураларына (конволюциялық желілер, YOLO детекторлары, визуалды трансформаторлар) Тарихи көшу қарастырылуда. Қолданыстағы зерттеулердегі іргелі олқылықтар, мысалы, уақыттың сәйкес келмеуіне байланысты үздіксіз бейне ағындарын өңдеудің күрделілігі, бейнелеу датасеттерінің жетіспеушілігі және ауыр модельдерді перифериялық есептеулерге бейімдеу проблемасы, қазіргі жұмыс бағытын алгоритмдік негіздейді.

Үшінші бөлімде зерттеу материалдары мен әдістері егжей-тегжейлі сипатталған. Нақты пайдалану жағдайларында тіркелген бейне деректердің бірегей жиынтығын жинау, алдын ала өңдеу және дәл аннотациялау процесі ұсынылады. TCR-RoadNet инновациялық көп тапсырмалы нейрондық желі архитектурасының математикалық және құрылымдық дизайнына баса назар аударылады. Көп масштабты конвульсиялық магистральдың, кросс-масштабты трансформаторлық назар (TCR) негізінде контекстік нақтылау Модулінің, сондай-ақ үш мамандандырылған Шығыс тармағының жұмысы егжей-тегжейлі сипатталған: бөлек анықтау модулі, жіктеуді нақтылау блогы және шекараларды ескере отырып сегменттеу тармағы. Оңтайландыру стратегиясы, көп тапсырмалы шығын функциялары (CIoU, Focal Loss және BCE+Dice комбинациясы) қосымша сипатталған.

Төртінші бөлімде дамыған жүйені кешенді есептеу және эксперименттік бағалау нәтижелері келтірілген. Оқу процесінде модельдің конвергенция динамикасын талдау және MaP және mIoU стандартталған көрсеткіштерін қолдана отырып, семантикалық дәлдікті сандық бағалау жүргізіледі. Әрбір енгізілген есептеу Модулінің архитектуралық орындылығын эмпирикалық түрде дәлелдейтін егжей-тегжейлі абляциялық зерттеу жүргізіледі. Алдыңғы қатарлы әлемдік аналогтармен салыстырмалы талдау жасалды, ұсынылған TCR-Roadnet моделі егжей-тегжейлі танудың жоғары дәлдігі мен 57 кадр / сек жылдамдықпен нақты уақыт режимінде жұмыс істеу мүмкіндігі арасындағы оңтайлы компаны қамтамасыз ететінін растайды. Сапалы талдау желінің фондық шу мен көлеңкелерді елемей қабілетін көрсетеді.

Бесінші бөлім диссертациялық зерттеудің жалпы қорытындыларын шығаруға арналған. Қойылған мақсатқа табысты қол жеткізу расталады, негізгі ғылыми нәтижелер

жинақталады және әзірленген аппараттық-бағдарламалық кешеннің көлік желілерін автоматтандырылған аудит міндеттеріне іс жүзінде енгізуге дайындығы туралы тұжырымдар тұжырымдалады.

Диссертацияның жалпы көлемі 104 бетті құрайды, оның ішінде 28 иллюстрация, 8 кесте және пайдаланылған 154 дереккөзден алынған әдебиеттер тізімі.