ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCE

CENTRAL ASIAN SCIENTIFIC JOURNAL
ISSN 3135-3061
2026. №4 (32), 3-том. 41–48 б.
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24540611
Журнал сайты: https://cajournal.kz

ӘОЖ 004.932:004.7

COMPUTER VISION ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ IOT НЕГІЗІНДЕГІ АВТОТҰРАҚ ЖҮЙЕСІНДЕ ҚОЛДАНУ

Д.М. Алькеева, Г.Г. Касен
Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Алькеева Дана Мирасовна — Магистрант 2 курс, IoT - та программаланатын электроника, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан.

Касен Гаухар Галымжанкызы — Магистрант 2 курс, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан.

Ғылыми жетекші: Жетписбаева Айнур Турсынкановна — PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан.

© Д.М. Алькеева, Г.Г. Касен, 2026

Аңдатпа: Мақалада жерасты автотұрақтарындағы тұрақ орындарының толу күйін бейнебақылау арқылы анықтауға арналған компьютерлік көру әдісі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – YOLO11n-seg моделін қолдану арқылы бейнекадрлардан көлік құралдарын анықтау және олардың сегментациялық маскалары негізінде тұрақ орындарының геометриялық аймақтарымен байланысын бағалау мүмкіндіктерін зерттеу. Эксперимент барысында жерасты автотұрағы жағдайында түсірілген бейнелерден құралған деректер жиынтығы пайдаланылып, модельдің нысандарды анықтау және сегментациялау көрсеткіштері бағаланды. Нәтижесінде модельдің көлік құралдарын анықтау дәлдігі 86,5%, ал mAP@50 көрсеткіші 96,9% болды. Сонымен қатар, тұрақ орнының шекарасын көпбұрыш түрінде белгілеу және көлік маскасының осы аймақпен қиылысуын бағалау арқылы орынның толу күйін анықтау тәсілі қарастырылды. Зерттеу нәтижелері компьютерлік көру әдістерін жерасты автотұрақтарындағы тұрақ орындарын бақылау және автоматтандыру жүйелерінде қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

Түйін сөздер: жерасты автотұрағы, компьютерлік көру, YOLO11n-seg, бейнебақылау, нысандарды анықтау, кескіндерді сегментациялау, тұрақ орындарының толуы, көлік құралдары.

Кіріспе

Қазіргі уақытта қалалардың қарқынды урбандалуы мен автомобильдер санының өсуі автотұрақ инфрақұрылымын тиімді басқару мәселесін өзекті етіп отыр. Дәстүрлі автотұрақ жүйелерінде бос орындарды іздеу, көлік қозғалысын бақылау және инженерлік жабдықтардың жұмысын басқару көбінесе оператордың қатысуына немесе жеке сенсорларға тәуелді болады. Мұндай тәсіл нақты уақыттағы жағдайды толық бағалауға әрдайым мүмкіндік бермейді және жер асты автотұрақтарында ерекше маңызды болып табылатын жарықтандыру, желдету, қауіпсіздік және көлік қозғалысын бақылау процестерін біртұтас жүйеге біріктіруді қиындатады. Осыған байланысты Internet of Things технологияларын компьютерлік көру және жасанды интеллект әдістерімен біріктіру автотұрақ инфрақұрылымын автоматтандырудың перспективалы бағыты болып табылады. Smart parking жүйелеріне арналған зерттеулер IoT, сымсыз сенсорлық желілер және компьютерлік көру технологияларының нақты уақыттағы бос орындар туралы ақпаратты қалыптастыруға,

тұрақ кеңістігін тиімді пайдалануға және басқару шешімдерін автоматтандыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді [1]. Сонымен бірге компьютерлік көру жүйелері сенсорлардың санын азайтуға мүмкіндік бергенімен, олардың тиімділігі камералардың орналасуына, жарықтандыру жағдайына, деректер жиынына және объектілерді анықтау алгоритмінің сапасына тәуелді [1, 2].

Зерттеудің өзектілігі жер асты автотұрақтарының кеңістіктік ұйымдастырылуы мен қауіпсіздік талаптарының ерекшеліктерімен де анықталады. Мұндай нысандарда табиғи жарықтың болмауы, көлеңкелер, тар маневрлік аймақтар және көлік құралдарының бір-бірін жартылай жабуы визуалды талдауды күрделендіруі мүмкін. Сондықтан тек ультрадыбыстық немесе магниттік сенсорларға негізделген жүйені қолдану орнына визуалды ақпаратты басқа IoT құрылғыларынан алынатын деректермен біріктіру жүйенің функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтеді. Бұған дейінгі зерттеулерде IoT негізіндегі автотұрақ жүйелерінде ультрадыбыстық және магниттік сенсорларды қолдану, LoRaWAN арқылы деректерді беру және нақты уақыт режимінде автотұрақ жағдайын бақылау тәсілдері қарастырылған [3]. Басқа жұмыстарда сымсыз сенсорлық желілерді компьютерлік көру арқылы оптикалық тексерумен біріктіру арқылы бос және бос емес тұрақ орындарын анықтаудың сенімділігін арттыру ұсынылған [4]. Осы нәтижелер компьютерлік көруді дербес компонент ретінде ғана емес, IoT архитектурасының сенсорлық қабатының бір бөлігі ретінде қарастыру қажеттігін көрсетеді.

Зерттеудің мақсаты — жер асты автотұрағының жұмысын автоматтандыруға арналған IoT архитектурасында компьютерлік көру әдістерін қолданудың мүмкіндіктерін зерттеу және көлік құралдарының сегментациясы негізінде тұрақ орындарының бос немесе бос емес күйін анықтауға арналған практикалық тәсілді әзірлеу. Осы мақсатқа жету үшін автотұрақ кескіндерінен көлік құралдарын анықтау, олардың пиксельдік маскаларын алу, тұрақ орындарының геометриялық аймақтарымен қиылысуын есептеу және алынған ақпаратты кейінгі IoT басқару процестеріне беруге болатын құрылымдық дерекке айналдыру міндеттері қарастырылды. Ұсынылған тәсілдің ерекшелігі тек көліктің шекаралық қорабын анықтаумен шектелмей, объектінің сегментациялық маскасын пайдалануында жатыр, себебі көлік құралының нақты алып жатқан аумағы тұрақ орнының шекарасымен салыстырылған кезде бос орын күйін анықтау кеңістіктік тұрғыдан дәлірек ұйымдастырылуы мүмкін.

Компьютерлік көру негізіндегі автотұрақты басқару саласындағы зерттеулер объектілерді анықтау, жеке тұрақ орындарын жіктеу және тұрақ орындарының координаттарын автоматты түрде анықтау сияқты бірнеше негізгі бағыттардың қалыптасқанын көрсетеді. Almeida және авторлар [2] жүргізген жүйелі шолу компьютерлік көру әдістерінің икемділігі мен салыстырмалы экономикалық тиімділігін атап көрсете отырып, қолданыстағы жұмыстардың маңызды бөлігі дайын тұрақ орындарының классификациясына бағытталғанын анықтайды. Сонымен қатар зерттеушілер тұрақ орындарының позициясын автоматты түрде анықтау, әртүрлі жарық жағдайларын қамтитын деректер жиындарын қалыптастыру және әртүрлі деректер жиындарында әдістерді сынау мәселелерін ашық зерттеу бағыттары ретінде көрсетеді [2]. Huang және авторлар [5] тұрақ орындарын визуалды анықтауға терең оқыту әдістерін қолдану арқылы күрделі кескін жағдайларында тұрақ аймақтарының координаттарын анықтауды зерттеген. Бұл жұмыстар тұрақ кеңістігінің геометриясын компьютерлік көру жүйесінің маңызды құрамдас бөлігі ретінде қарастыру қажеттігін негіздейді.

Автотұрақтарды басқарудың IoT негізіндегі архитектураларында компьютерлік көру моделі сенсорлық деректермен қатар жұмыс істейтін қосымша ақпарат көзі ретінде қарастырылуы мүмкін. Мысалы, SDIoTPark архитектурасында IoT, бағдарламалық анықталатын желі және жеңілдетілген компьютерлік көру моделін біріктіру арқылы тұрақ орындарының жағдайын нақты уақытта көрсету тәсілі ұсынылған [6]. Ал басқа зерттеуде LoRaWAN технологиясы арқылы сенсорлық түйіндерден автотұрақ жағдайы туралы ақпаратты жинау және пайдаланушыға нақты уақыттағы деректерді ұсыну қарастырылған [3]. Мұндай архитектуралардан шығатын негізгі қорытынды — автотұрақты автоматтандыру

үшін тек объектіні тану жеткіліксіз, анықталған ақпаратты желілік және басқару қабаттарына жеткізетін толық жүйелік архитектура қажет.

Осы зерттеуде компьютерлік көру компонентін іске асыру үшін Ultralytics YOLO11 моделінің instance segmentation нұсқасы, атап айтқанда YOLO11n-seg қолданылды. YOLO11 моделі 2024 жылы ұсынылып, объектілерді анықтау және instance segmentation сияқты компьютерлік көру міндеттерін орындауға бағытталған [7]. Модельдің n-нұсқасы салыстырмалы түрде жеңіл архитектура ретінде нақты уақыт режиміндегі және ресурстары шектеулі құрылғыларда қолдануға бейімделген. Бұл қасиет оны болашақта камералық модульдерді IoT жүйесінің edge деңгейіне орналастыру мүмкіндігін қарастыру кезінде маңызды етеді. YOLO11 үшін Ultralytics ресми құжаттамасында модельдің instance segmentation міндетін қолдайтыны және нақты уақыттағы компьютерлік көру сценарийлеріне бағытталғаны көрсетіледі [7].

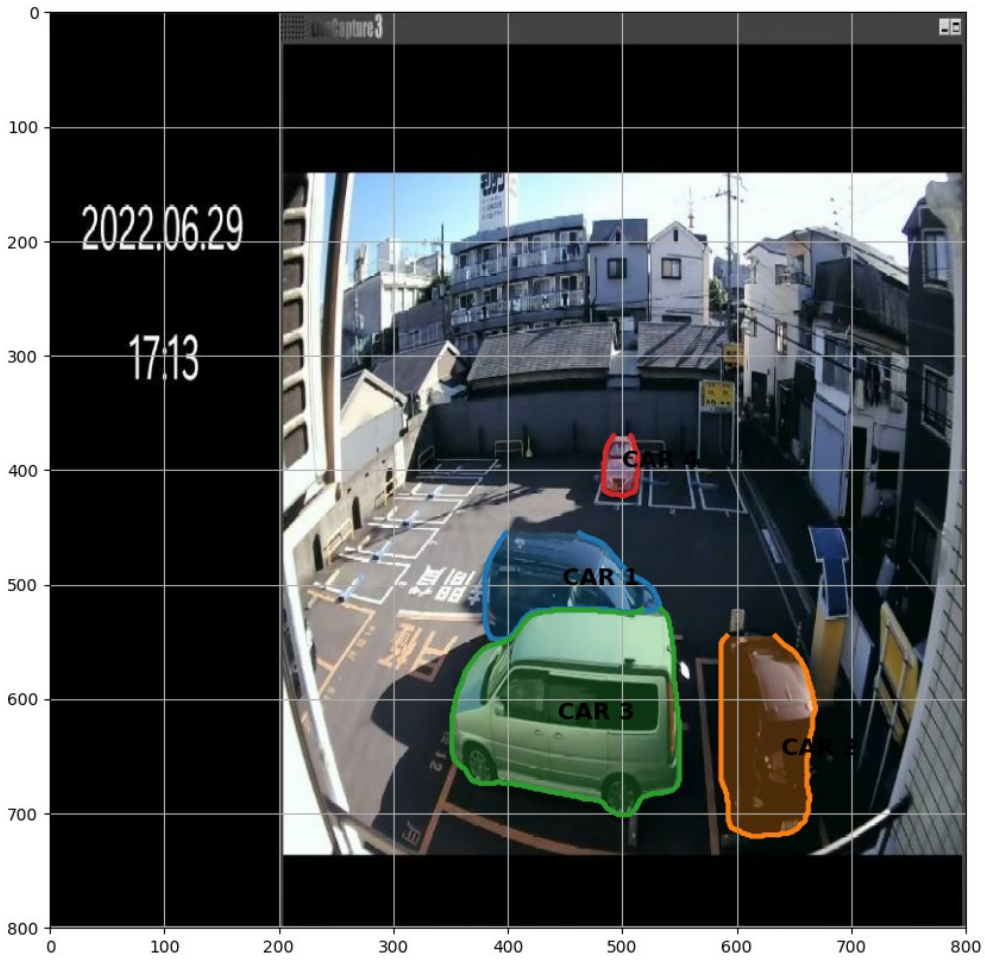
Материалдар мен әдістер

Практикалық экспериментте жер асты автотұрағына қатысты арнайы дайындалған деректер жиыны пайдаланылды. Деректер Roboflow платформасында қалыптастырылып, YOLO форматына экспортталды. Деректер жиынында көлік құралдарын ғана емес, сонымен қатар автотұрақтағы басқа визуалды объектілерді сипаттайтын төрт класс қарастырылды: car, lane, license_plate және wheel. Оқыту барысында YOLO11n-seg алдын ала оқытылған салмақтар негізінде іске қосылып, модель 640×640 пиксель кескін өлшемінде 30 epoch бойы оқытылды. Batch size 16 мәніне тең болды. Оқыту нәтижесінде алынған best.pt салмақтары кейін тестілік кескіндерде inference кезеңінде қолданылды. Бұл кезеңде confidence threshold 0,5 деңгейінде орнатылды, яғни визуалды талдау кезінде осы шектен төмен сенімділік мәніне ие болжамдар нәтижелер жиынына енгізілмеді.

Тестілеу үшін деректер жиынының test/images бумасынан 800×800 пиксель өлшеміндегі кескін таңдалды. Модельдің болжам жасау кезеңінде кескін өлшемі 640 пиксельге орнатылып, confidence threshold мәні 0,5 деңгейінде белгіленді. Бұл шектен төмен сенімділік көрсеткішіне ие болжамдар нәтижелерге енгізілмеді. Модель нәтижелері арқылы анықталған объектілердің саны, олардың кластары және confidence мәндері алынды. Сонымен қатар бастапқы кескін мен анықталған объектілердің шекаралық қораптары визуалды түрде көрсетілді. Бұл кезең модельдің тестілік кескіндегі объектілерді анықтау қабілетін бастапқы бағалауға мүмкіндік берді.

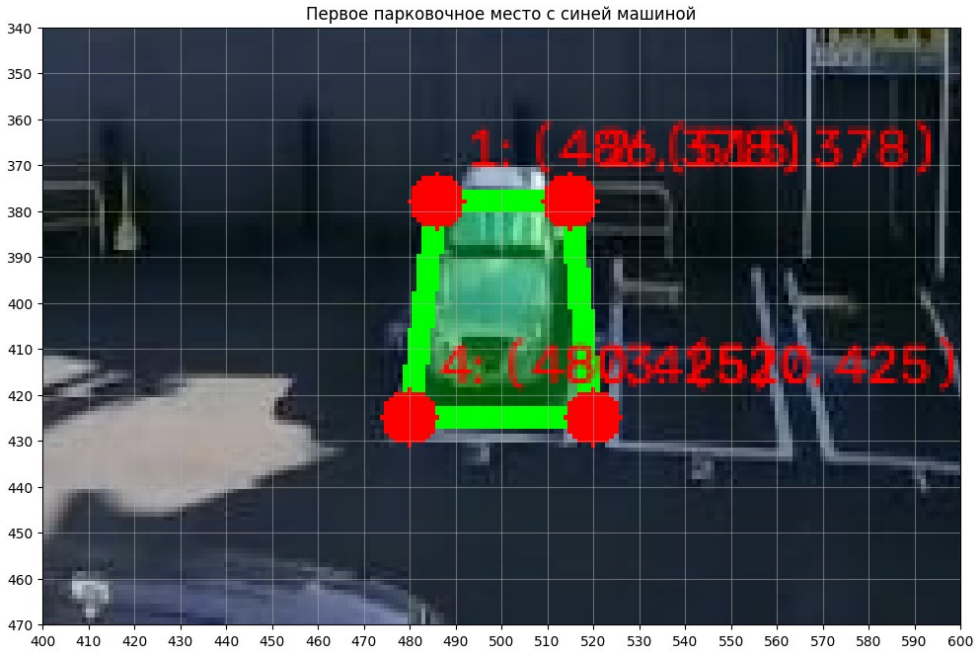
Эксперимент нәтижесінде тестілік кескіннен барлығы 15 объект анықталды. Оның ішінде 11 объект lane класына, ал 4 объект car класына жатқызылды. Төрт көлік үшін модельдің confidence мәндері сәйкесінше 0,72, 0,66, 0,65 және 0,55 болды. Бұл мәндер модель болжамдарының сенімділік көрсеткіштері болып табылады және оларды абсолютті ықтималдық ретінде түсіндіруге болмайды. Алынған нәтижелер модельдің көлік құралдарын басқа визуалды объектілерден ажыратып анықтай алатынын көрсетті.

Модельдің сегментациялық мүмкіндіктерін зерттеу үшін result.masks.xy атрибуты пайдаланылды. Ол анықталған объектілердің сегментациялық контурларын кескін координаталары түрінде алуға мүмкіндік береді. Нәтижелер арасынан тек car класына жататын объектілер таңдалып, олардың контурлары бастапқы кескінге түсірілді. Әрбір көлік құралының контуры жеке көпбұрыш ретінде көрсетіліп, CAR 1, CAR 2 және басқа белгілермен нөмірленді. Контурдың координаталары бойынша оның кескіндегі орталық нүктесі есептеліп, визуализацияда объектінің орналасуын оңай ажырату үшін пайдаланылды. Бұл тәсіл көлік құралдарының тек орналасуын ғана емес, олардың нақты сегментациялық шекараларын да талдауға мүмкіндік береді.



Сурет 1 - YOLO11n-seg моделі арқылы анықталған көлік құралдарының сегментациялық маскалары

Алынған сегментациялық маскаларды тұрақ орындарының күйін анықтау үшін пайдалану мақсатында келесі кезеңде нақты тұрақ орнының геометриялық аймағы белгіленді. Бұл үшін тестілік кескіннің координаталық торы қолданылып, тұрақ орнының төрт төбесінің координаталары анықталды. Белгіленген аймақ төрт нүктеден тұратын көпбұрыш түрінде берілді: (486, 378), (515, 378), (520, 425) және (480, 425). Мұндай тәсіл камераның көру бұрышына байланысты пайда болатын перспективалық ерекшеліктерді ескеруге мүмкіндік береді. Тұрақ орнының аймағын белгілеу және оны визуалды түрде көрсету үшін OpenCV кітапханасының fillPoly және polylines функциялары пайдаланылды. Бірінші функция көпбұрыштың ішкі бөлігін түспен толтыруға, ал екіншісі оның сыртқы шекарасын көрсетуге арналған. Сонымен қатар әрбір төбенің координаталары кескінде белгіленіп, координаталық тор арқылы аймақтың орналасуы тексерілді.



Сурет 2 - Тұрақ орнының геометриялық аймағын көпбұрыш арқылы белгілеу

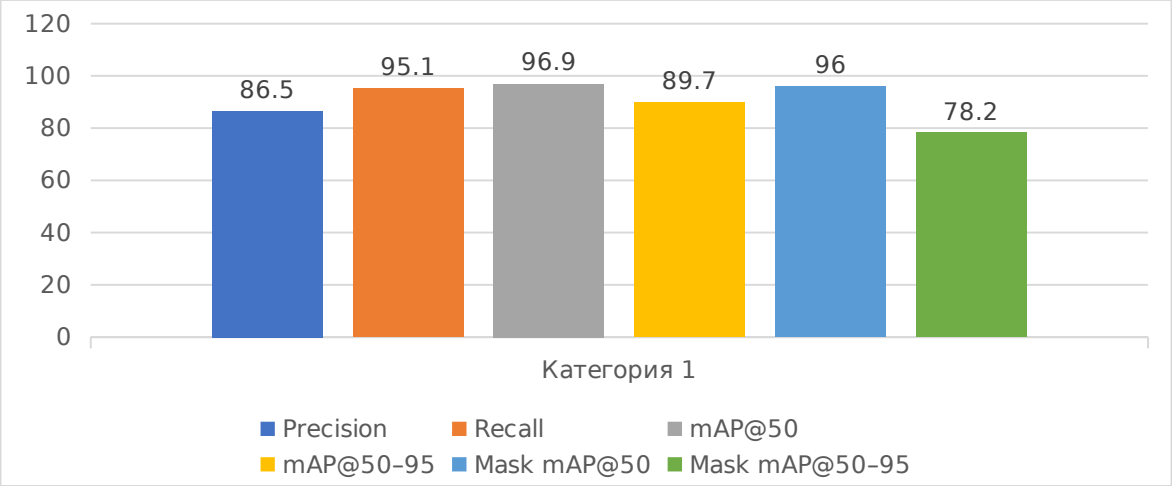


Сурет 3 - Көлік маскасы мен тұрақ орнының қиылысуы негізінде бос орын күйін анықтау нәтижесі

Эксперимент нәтижелерін сандық бағалау кезінде модельдің объектілерді анықтау және сегментациялау сапасын сипаттайтын бірнеше көрсеткіш қарастырылды. Оқыту нәтижесінде объектілерді анықтауға арналған precision көрсеткіші 86,5 %, recall — 95,1 %, ал mAP@50 — 96,9 % болды. mAP@50–95 көрсеткіші 89,7 % мәніне жетті. Сегментация үшін mask mAP@50 көрсеткіші 96,0 %, ал mask mAP@50–95 — 78,2 % болды. Бұл нәтижелер модельдің көлік объектілерін анықтау қабілеті жоғары екенін көрсетеді, ал қатаң IoU

талаптары қолданылған кезде сегментациялық маскалардың дәл шекараларын қалыптастыру қиынырақ болатынын көрсетеді. Әсіресе mask mAP@50 мен mask mAP@50–95 арасындағы айырмашылық көлік контурларын пиксель деңгейінде дәл орналастыру мәселесінің кейінгі тұрақ орнының геометриялық аймағымен қиылысуды есептеу кезеңі үшін маңызды екенін көрсетеді. Сондықтан бұл зерттеуде тек объектінің анықталғаны ғана емес, оның маскасының кеңістіктік орналасуы да жүйенің келесі кезеңдері үшін ақпарат көзі ретінде қарастырылады.

Кесте 1 – YOLO11n-seg моделін бағалау көрсеткіштерінің нәтижелері



Тестілік кескіннің өлшемі 800×800 пиксель болды. Осы кескінге жүргізілген inference нәтижесінде барлығы 15 объект анықталды, оның ішінде 11 объект lane класына, ал 4 объект car класына жатқызылды. Төрт көлік үшін модельдің confidence мәндері сәйкесінше 0,72, 0,66, 0,65 және 0,55 болды. Бұл мәндер модельдің нақты болжамдарына қатысты сенімділік көрсеткіштері болып табылады және оларды абсолютті ықтималдық ретінде түсіндіруге болмайды. Көлік объектілерінің сегментациялық маскалары кескіннің бастапқы 800×800 координаталық жүйесінде алынды. Бірінші көлік маскасының шамамен X=380–534 және Y=455–549 аралығында, екінші көлік маскасының X=586–669 және Y=545–720 аралығында, үшінші көлік маскасының X=351–550 және Y=521–701 аралығында, төртінші көлік маскасының X=484–514 және Y=370–422 аралығында орналасқаны байқалды. Бұл координаттар маскалардың минималды және максималды шекараларын сипаттайды және оларды тікбұрышты bounding box ретінде емес, нақты сегментациялық контурдың кеңістіктік шектері ретінде қарастыру қажет.

Алынған маскалар негізінде тұрақ орнының бос немесе бос емес күйін анықтаудың келесі кезеңі тұрақ орындарының геометриялық аймақтарын алдын ала белгілеуді көздейді. Бұл жерде әрбір тұрақ орны тікбұрышпен шектелмей, нақты камера көрінісіндегі сызықтарға сәйкес келетін көпбұрышты аймақ ретінде берілуі мүмкін. Әрбір тұрақ орны үшін S_i көпбұрышты аймақ, ал анықталған көлік құралының сегментациялық маскасы M_{car} ретінде белгіленеді. Көлік пен тұрақ орнының кеңістіктік сәйкестігін бағалау үшін олардың қиылысу үлесін келесі өрнек арқылы анықтауға болады:

$$R_i = \frac{|M_{car} \cap S_i|}{|S_i|} \quad (1)$$

мұндағы R_i— і-тұрақ орнының көлікпен жабылу коэффициенті, M_{car}— көлік құралының сегментациялық маскасы, S_i — тұрақ орнының белгіленген геометриялық аймағы, ал $|\cdot|$— сәйкес аймақтың пиксельдік ауданы. Егер $R_i \leq \tau$ шарты орындалса, тұрақ орны бос емес деп белгіленеді, мұндағы τ\tau — тәжірибе арқылы таңдалатын шекті мән. Ал жалпы бос тұрақ орындарының саны келесі түрде есептеледі:

$$N_{free} = N_{total} - \sum_{i}^{N} O_i$$

(2)

мұндағы O_i— і-тұрақ орнының бос еместігін білдіретін бинарлық көрсеткіш. Бұл тәсілдің маңызды ерекшелігі көлікке тиесілі масканың тұрақ орнының шекарасымен нақты қиылысуын есептеу болып табылады. Осылайша жүйе көлік құралын жай ғана анықтап қоймай, оның нақты тұрақ орнына қатыстылығын бағалай алады.

Нәтижелер және талқылау

Ұсынылған компьютерлік көру модулін жер асты автотұрағының жалпы IoT архитектурасына біріктіру кезінде жүйені бірнеше функционалдық деңгейге бөлуге болады. Бірінші деңгейде камералар мен физикалық сенсорлар бастапқы деректерді жинайды. Камералар көлік құралдарының орналасуын және тұрақ орындарының визуалды жағдайын бақыласа, көміртек тотығы, түтін, температура, жарықтандыру және ультрадыбыстық датчиктер қоршаған орта мен инженерлік жүйелердің жағдайы туралы ақпарат береді. Екінші деңгейде ESP32 сияқты микроконтроллерлерден алынатын сенсорлық деректер және компьютерлік көру модулінің нәтижелері бірыңғай өңдеу қабатына жеткізіледі. Үшінші деңгейде алынған ақпарат өңделіп, бос тұрақ орындарының саны, көлік қозғалысының жағдайы және қауіпсіздік көрсеткіштері анықталады. Соңғы деңгейде операторлық панель немесе басқару модулі қалыптасқан ақпарат негізінде желдету, жарықтандыру және қолжетімділікті басқару сияқты функцияларға әсер ете алады.

Мұндай біріктірілген архитектураның практикалық маңызы компьютерлік көрудің тек тұрақ орындарын есептейтін жеке модуль ретінде емес, автотұрақтың физикалық процестерін басқаратын IoT жүйесінің бір бөлігі ретінде қолданылуымен байланысты. Мысалы, бос тұрақ орындарының саны туралы ақпарат пайдаланушы интерфейсінде көрсетілуі мүмкін, ал көлік қозғалысының тығыздығы немесе қоршаған орта датчиктерінің көрсеткіштері желдету мен жарықтандыру режимдерін өзгерту үшін басқару алгоритміне берілуі мүмкін. Visual IoT бағытындағы қазіргі зерттеулер де камераны жай ғана бақылау құралы емес, IoT жүйесінің ақпараттық сенсоры ретінде қарастырудың маңызын атап көрсетеді [8]. Осыған байланысты компьютерлік көру мен физикалық сенсорларды біріктіру жер асты автотұрағы жағдайын көп параметрлі бақылауға мүмкіндік береді.

Компьютерлік көрудің тұрақ орындарын анықтаудағы артықшылықтарымен қатар бірқатар шектеулері де бар. Камераның көру бұрышы, жарықтандырудың өзгеруі, көлік құралдарының бір-бірін жабуы, бағаналар мен басқа құрылымдық элементтер, сондай-ақ камера мен тұрақ орны арасындағы перспектива масканың дәлдігіне әсер етуі мүмкін. Әсіресе сегментациялық маска тұрақ орнының шекарасымен салыстырылатын жағдайда объект контурының кішігірім қателігі RiR_i көрсеткішінің өзгеруіне әкелуі ықтимал. Сондықтан болашақ тәжірибелік кезеңде әрбір тұрақ орнының көпбұрышты аймағын нақты белгілеу, әртүрлі толу жағдайларын қамтитын бірнеше бейне кадрларын пайдалану және τ\tau шекті мәнін тәжірибелік түрде анықтау қажет. Сонымен қатар жүйені әртүрлі жарық жағдайларында және камераның әртүрлі орналасу нүктелерінде сынау нәтижелердің тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Бұған дейінгі жүйелі зерттеулерде де автотұраққа арналған компьютерлік көру жүйелерін бағалауда әртүрлі жарық жағдайлары мен деректер жиындарының әртүрлілігін қамтамасыз ету қажеттігі көрсетілген [2].

Ғылыми жаңалығы — жер асты автотұрағын автоматтандыруға арналған IoT архитектурасында заманауи YOLO11n-seg моделінің сегментациялық мүмкіндіктерін тұрақ орындарының алдын ала анықталған геометриялық аймақтарымен біріктіріп, көлік маскасы мен тұрақ аймағының қиылысу коэффициенті арқылы орынның бос немесе бос емес күйін анықтау тәсілін жүйелік деңгейде қолдануында. Бұл жерде жаңалық YOLO11 моделінің архитектурасын өзгерту немесе жаңа объектіні анықтау алгоритмін ұсыну ретінде қарастырылмайды; негізгі ғылыми-тәжірибелік үлес компьютерлік көру нәтижесін IoT

жүйесінің сенсорлық және басқару қабаттарымен байланыстыратын әдістемелік интеграцияға негізделеді. Мұндай тәсіл автотұрақ жағдайын тек визуалды анықтау міндетінен толыққанды автоматтандырылған мониторинг және басқару жүйесіне көшіруге бағытталған.

Қорытынды

Осылайша жүргізілген бастапқы эксперимент YOLO11n-seg моделін жер асты автотұрағының визуалды мониторингі үшін қолданудың техникалық мүмкіндігін көрсетті. Тестілік кескінде төрт көлік құралының сегментациялық маскалары алынып, олардың координаттары мен confidence көрсеткіштері анықталды, ал модельді бағалау нәтижелері объектілерді анықтау және сегментациялау үшін жоғары mAP мәндерін көрсетті. Сонымен қатар сегментациялық көрсеткіштердің қатаң IoU аралығында төмендеуі тұрақ орнының нақты геометриялық аймағымен қиылысуды есептеу кезінде маска сапасын ескерудің қажеттілігін көрсетті. Келесі тәжірибелік кезеңде нақты тұрақ орындарының көпбұрышты аймақтары белгіленіп, олардың көлік маскаларымен қиылысу коэффициенті есептеледі. Бұдан кейін алынған визуалды деректерді ESP32 негізіндегі сенсорлық модульдермен, желдету және жарықтандыру басқаруымен және операторлық интерфейспен байланыстыру арқылы толық IoT прототипін қалыптастыруға болады. Осы кезеңдер жүзеге асқаннан кейін жүйенің әртүрлі сценарийлердегі тұрақ орындарын анықтау дәлдігі, нақты уақыттағы жұмыс қабілеті және сенсорлық деректермен біріктірілген кездегі сенімділігі кеңейтілген эксперимент арқылы бағаланатын болады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Channamallu S.S., Kermanshachi S., Rosenberger J.M., Pamidimukkala A. A review of smart parking systems // Transportation Research Procedia. – 2023. – Vol. 73. – P. 289–296. – DOI: 10.1016/j.trpro.2023.11.920.
2. Almeida P.R.L. de, Alves J.H., Parpinelli R.S., Barddal J.P. A systematic review on computer vision-based parking lot management applied on public datasets // Expert Systems with Applications. – 2022. – Vol. 198. – Article 116731. – DOI: 10.1016/j.eswa.2022.116731.
3. Jabbar W.A., Tiew L.Y., Ali Shah N.Y. Internet of things enabled parking management system using long range wide area network for smart city // Internet of Things and Cyber-Physical Systems. – 2024. – Vol. 4. – P. 82–98. – DOI: 10.1016/j.iotcps.2023.09.001.
4. Hudda S., Barnwal R., Khurana A., Haribabu K. A WSN and vision based smart, energy efficient, scalable, and reliable parking surveillance system with optical verification at edge for resource constrained IoT devices // Internet of Things. – 2024. – Vol. 28. – Article 101346. – DOI: 10.1016/j.iot.2024.101346.
5. Huang C., Yang S., Luo Y., Wang Y., Liu Z. Visual Detection and Image Processing of Parking Space Based on Deep Learning // Sensors. – 2022. – Vol. 22, No. 17. – Article 6672. – DOI: 10.3390/s22176672.
6. Marshoodulla S.Z., Saha G. SDIoTPark: A Data Analytics Framework for Smart Parking Using SDN Based IoT // IEEE Internet of Things Journal. – 2024. – Vol. 11, No. 11. – DOI: 10.1109/JIOT.2024.3373133.
7. Jocher G., Qiu J. Ultralytics YOLO11. – 2024. – Ultralytics. – URL: https://github.com/ultralytics/ultralytics.
8. Ferrández-Pastor F.J., et al. Artificial intelligence-powered visual internet of things in smart cities: A comprehensive review // Sustainable Computing: Informatics and Systems. – 2024. – Vol. 43. – Article 101004. – DOI: 10.1016/j.suscom.2024.101004.