

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Барысова Әмина Ниетқызы

«LiDAR датчиктерін қолдана отырып нысандарды терең 3D анықтау желілерін зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Алматы 2023 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Электроника, телекоммуникация

және ғарыштық технологиялар

кафедрасының меңгерушісі,

техн. ғыл. кандидаты


Е. Таштай

«30» 05 2023 ж.



ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «LiDAR датчиктерін қолдана отырып нысандарды терең 3D анықтау желілерін зерттеу»

6B06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Орындаған:

Ә.Барысова

Рецензент:

Халықаралық IT т.ғ.к.,

қауымдастырылған профессоры

 Д.Илипбаева

«01» 06 2023 ж.

Ғылыми жетекші:

ҚазҰТЗУ, т.ғ.м.,

Электроника,

телекоммуникация және

ғарыштық технологиялар

кафедрасының

аға оқылушысы

 У.Сейдалиева

«31» 05 2023 ж.

Алматы 2023 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

6В06201 – «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

БЕКІТЕМІН

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты

Е.Таштай

« 22 » XII 2022 ж.

**Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Барысова Әмина

Тақырыбы «LiDAR датчиктерін қолдана отырып нысандарды терең 3D анықтау желілерін зерттеу».

Университет ректорының «23» қараша 2022 ж. № 408-П/Ө бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: «30» сәуір 2023 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- 1) Velodyne Lidar сенсоры арқылы жиналған KITTI деректер жинағын қолданады;
- 2) Бағдарлама көмегімен *Lidar Labeler* қосымшасы арқылы нүктелік бұлттағы (point clouds) немесе нүктелік бұлт тізбегіндегі (point cloud sequence) нысандарды белгілеуге мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- 1) Нысандарды терең 3D анықтау желілеріне кіріспе. LIDAR сенсоры: жұмыс принципі. Лидар диапазоны мен сканерлеу принциптері.
- 2) LIDAR негізінде 3D нысандарды анықтау әдістеріне әдеби шолу.
- 3) *PointPillars Deep Learning* көмегімен Lidar 3-D нысанды анықтау әдісі сипаттамасы, блок-сұлбасы, математикалық моделі.
- 4) Эксперименттік бөлім: Lidar деректер жинағын пайдаланып, *Lidar Labeler* қосымшасымен деректерді таңбалау, анықталатын класстар санын бекіту, деректерді бағдарламаға жүктеу, деректерді алдын ала өңдеу, оқыту үшін деректерді сақтау объектілерін құру, деректерді ұлғайту, нысандардың нүктелік детекторын құру, нүкте негізді әдіспен нысан детекторын оқыту, анықтауларды жасау, сынақ жинағы арқылы детекторды бағалау.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

- 1) Y. Wu, Y. Wang, S. Zhang and H. Ogi, "Deep 3D Object Detection Networks Using LiDAR Data: A Review," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 2, pp. 1152-1171, 15 Jan.15, 2021 doi: 10.1109/JSEN.2020.3020626.
- 2) Alaba, Simegnew Yihunie, and John E. Ball. 2022. "A Survey on Deep-Learning-Based LiDAR 3D Object Detection for Autonomous Driving" Sensors 22, no 24: 9577.
- 3) <https://www.mathworks.com/help/lidar/segmentdetectlabel.html>

Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
1)Шолу бөлімі. 1.1 Нысандарды терең 3D анықтау желілеріне кіріспе.	31.01.2023 ж	орындалды
1.2 LIDAR негізінде 3D нысандарды анықтау әдістеріне әдеби шолу.	15.02.2023 ж	орындалды
2) Негізгі бөлім. LIDAR сенсоры: жұмыс принципі. Лидар 3D анықтау әдістеріне сипаттама, нүкте негізді әдістің сипаттамасы, математикалық моделі.	01.03.2023 ж	орындалды
3) Эксперименттік бөлім: Lidar деректерін пайдаланып, деректерді таңбалау, деректерді алдын ала өңдеу, нүкте негізді әдіспен нысан детекторын оқыту, анықтауларды жасау.	15.03.2023 ж	орындалды
Эксперимент нәтижелерін талдау. Қорытынды.	30.04.2023 ж	орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Диплом жұмысының тақырыбын талдау	ж.ғ.м., ЭТжҒТ каф. аға оқытушысы Сейдалиева У.О.	1.03.2023	
Теориялық ақпарат	ж.ғ.м., ЭТжҒТ каф. аға оқытушысы Сейдалиева У.О.	30.03.2023	
Норма бақылаушы	т.ғ.м., ЭТжҒТ каф. ассистенті Ақылжан П.Б.	1.05.2023.	

Ғылыми жетекшісі

У. О. Сейдалиева

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

Ә.Н. Барысова

Күні

« 22 » 12 2022 ж.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Автономды жүргізуге арналған лидар 3D нысандарын анықтау әдістері/технологияларына шолу	9
1.1 3D нысандарын радар, камера технологияларымен анықтау әдістеріне шолу	9
1.2 3D нысандарын лидар технологиясымен анықтау әдісіне шолу	11
2 Лидар технологиясы	13
2.1 LIDAR сенсоры: жұмыс принципі. Лидар диапазоны мен сканерлеу принципі	13
2.2 Нүктелік бұлтқа (Point Cloud) анықтама	15
2.3 Лидар түрлері	16
2.4 Лидар деректерін дайындау	19
2.5 Лидар негізіндегі 3D нысандарын терең анықтау әдістері	22
3 Ұсынылатын әдіс	26
3.1 Ұсынылатын әдістің (Нүкте негізді әдіс (Point-based method)) математикалық моделі	26
4 Тәжірибе және модельдеу нәтижелері	29
4.1 Нысандарды BasicAI платформасында өңдеу	29
4.2 Бағалау көрсеткіштері	32
4.3 Нәтижелер және талдау	33
5 Нысандардың қашықтығын анықтаудың макеттік жобасы	36
Қорытынды	42
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	43

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста өзін-өзі басқару көліктері үшін нысандарды 3D анықтау желілері лидар технологиясымен зерттеледі. Автономды жүргізуге арналған нысандарды анықтау әдіс/технологияларына шолу жүргізіледі. Лидар датчиктерінен алынған деректерді пайдаланып, дайындау кезеңдері бойынша нысандарды өңдеп, таңбалап, анықталады.

Лидар негізіндегі 3D нысандарын терең анықтау әдістері, соның ішінде нүкте негізді әдістің математикалық моделі талданады.

Нысандарды BasicAI платформасында өңдеп, бағалау көрсеткіштері бойынша талдау жасап, нәтижелер алынады. Виртуалды түрде зерттеген VL53L0x лидар модулінің көмегімен объектілердің қашықтығын анықтаудың макеттік жобасы ұсынылады.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе изучаются сети 3D обнаружения объектов для транспортных средств самоуправления с лидарной технологией. Проводится обзор методов/технологий обнаружения объектов для автономного вождения. Используя данные, полученные от лидарных датчиков, объекты обрабатывают, маркируют и определяют по этапам подготовки.

Анализируются методы глубокого обнаружения 3D-объектов на основе лидара, в том числе математическая модель точечного метода.

Обрабатывают объекты на платформе BasicAI, проводят анализ по оценочным показателям и получают результаты. Предлагается макет проекта определения расстояния объектов с помощью лидарного модуля VL53L0x, который мы исследовали виртуально.

ABSTRACT

The thesis examines 3D object detection networks for self-government vehicles with lidar technology. An overview of object detection methods/technologies for autonomous driving is being conducted. Using data received from lidar sensors, objects are processed, labeled and determined by preparation stages.

Methods of deep detection of 3D objects based on lidar, including a mathematical model of the point method, are analyzed.

They process objects on the Basic AI platform, perform an analysis based on estimated indicators and get results. A mock-up of a project for determining the distance of objects using the VL53L0x lidar module, which we studied virtually, is proposed.

КІРІСПЕ

Өзін-өзі басқару технологиясы немесе жүргізушісіз технология деп те аталатын автономды жүргізу көлік құралының адамның араласуынсыз басқару және шарлау қабілетін білдіреді. Автономды көліктерге қатысты оқиғалар мен апаттар болғанына қарамастан, автономды жүргізу технологиясы әлі де дамып келе жатқанын және технология дамыған сайын автономды көліктердің жалпы қауіпсіздік көрсеткіші жақсарады деп күтілуде. Дегенмен, автономды жүргізу кезінде объектілерді 3D анықтаудың өзектілігін көрсететін бірнеше мысалдар келтірілген. Мысалы, 2018 жылдың наурызында Tesla автокөлігі Калифорниядағы Маунтин-Вьюдегі 101 тас жолында апатқа ұшырап, адамдардың өмірін қиды [1]. 2016 жылдың мамырында автопилотта жұмыс істейтін Tesla Model S қатысуымен өлімге әкелетін апат болды [2]. Автокөлік тіркемесі бар трактормен соқтығысып, көлік құралының алдында солға бұрылды. Автопилот жүйесінің камералары ашық аспанға қарсы тіркеме тракторының ақ жағын тани алмады, нәтижесінде көлік тежегішті баса алмады. Лидар негізіндегі 3D нысандарын анықтау қосымша тереңдік сезімін қамтамасыз ете алады және соқтығысуды болдырмай, трейлерді дәл анықтай алады.

Сондықтан бұл оқиғалар автономды жүргізу технологияларын, соның ішінде 3D нысандарын анықтау мүмкіндіктерін үнемі жетілдіру қажеттілігін көрсетеді. Басқа сенсорлық технологиялармен және озық алгоритмдермен қатар лидар датчиктерін әзірлеу және біріктіру автономды көліктердің қабылдау дәлдігі мен сенімділігін арттыруға, апаттар қаупін азайтуға және жалпы қауіпсіздікті арттыруға бағытталған.

Автономды жүргізу технологиясы адам қателіктерінен туындаған жол - көлік оқиғалары мен өлім-жітім санын айтарлықтай төмендетуі мүмкін. Мазасыздық, шаршау және көлік жүргізу ережелерін бұзу сияқты адам факторларын жою арқылы автономды көліктер қауіпсіздіктің жоғарылауымен жұмыс істей алады.

Автономды жүргізу көлік ағынын арттырып, кептелісті азайтуы мүмкін. Жетілдірілген алгоритмдер мен нақты уақыттағы деректерді өңдеу арқылы автономды көліктер маршруттарын оңтайландыруға, жылдамдықты реттеуге және жол қозғалысының максималды тиімділігі үшін үйлестірілген шешімдер қабылдауға қабілетті.

Автономды жүргізу қарт адамдар, мүгедектер немесе жүргізуші куәлігі жоқ адамдар сияқты көлік жүргізе алмайтын адамдар үшін көлікті түрлендіруі мүмкін. Сұраныс бойынша ұтқырлық қызметтерін ұсына отырып, автономды көліктер автокөлікті өздігінен басқара алмайтын адамдардың қол жетімділігін, тәуелсіздігін және өмір сүру сапасын жақсарта алады. Лидар негізіндегі 3D нысандарын анықтау барлық пайдаланушылар үшін қауіпсіз және сенімді тасымалдауды қамтамасыз етеді.

Қоршаған ортаға әсері: автономды жүргізу отын шығынын және парниктік газдар шығарындыларын азайтуы мүмкін. Оңтайландырылған

жүргізу үлгілері, тиімді маршрутты жоспарлау және автономды көліктерді ортақ пайдалану мүмкіндіктері арқылы жалпы энергия шығынын азайтуға болады. Лидар негізіндегі 3D нысандарын анықтау экологиялық таза көлік шешімдерін қолдай отырып, автономды көліктердің қауіпсіз және тиімді навигациясына ықпал етеді.

Осылайша, автономды жүргізудегі лидар сенсорларын қолдана отырып, 3D нысандарын анықтаудың өзектілігі оның қауіпсіздігін жақсарту, жол қозғалысын басқаруды жақсарту, барлығына қол жетімділік, қоршаған ортаға әсерді азайту, өнімділік пен жайлылықты арттыру және болашақ қала құрылысын қалыптастыру әлеуетін қоса алғанда, ұсынатын маңызды артықшылықтар болып табылады. Бұл артықшылықтар көлік пен ұтқырлықты өзгертудегі автономды жүргізу технологиясының трансформациялық әлеуетін көрсетеді.

Автономды жүргізу жүйелерінде жиі қолданылатын объектілерді анықтаудың бірнеше әдістері мен технологияларына лидар (жарықты анықтау және диапазонды анықтау), радар (радио анықтау және диапазон), камералар, және т.б. жатады. Бұл технологияларды қолданудың артықшылықтары мен кемшіліктерін келесі бөлімде жазылады.

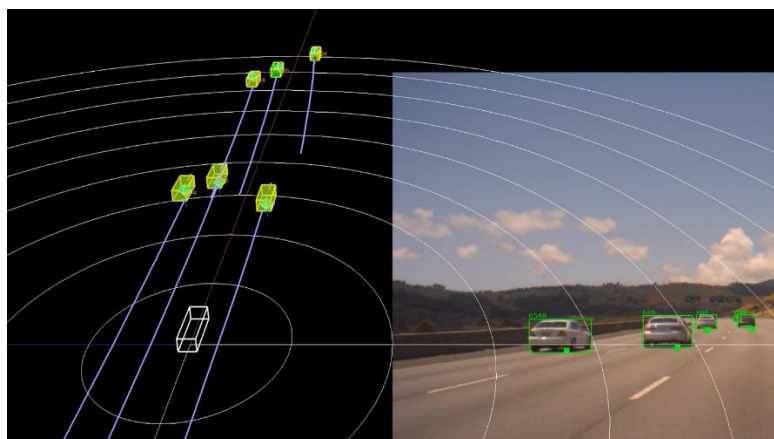
Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты нысан ретінде көлік, велосипед, жаяу жүргіншілерді таңдап, әртүрлі жағдайларда оларды сенімді түрде анықтайтын және бақылай алатын жүйені әзірлеуге баса назар аудара отырып, нысандарды анықтау үшін LiDAR технологиясын пайдалануды зерттеу болып табылады. Бұл LIDAR негізіндегі жүйені әзірлеуді және енгізуді қамтиды, ол нысандарды анықтай және бақылай алады және оның әртүрлі сценарийлердегі өнімділігін бағалайды.

Дипломдық жұмыс төрт бөлімнен тұрады. Алғашқы бөлімінде нысандарды анықтау технологияларына шолу және лидар негізінде нысанды анықтау әдістеріне шолу жазылады. Екінші бөлімде лидар сенсорының жұмыс принципі, оның диапазоны мен сканерлеу принципі, нүктелік бұлт (Point Cloud) туралы анықтама жазылады. Сонымен қатар лидар түрлері, лидар деректерін дайындау, оларды алдын - ала өңдеу, таңбалау, сегменттеу және анықтау қарастырылады. Үшінші бөлімде ұсынылатын әдіс түсіндіріледі. Төртінші бөлімде эксперимент және модельдеу нәтижелері жазылады. Бесінші бөлімде нысандардың қашықтығын анықтаудың макеттік жобасы ұсынылып, сипатталады.

1 Автономды жүргізуге арналған лидар 3D нысандарын анықтау әдістері/технологияларына шолу

1.1 3D нысандарын радар, камералармен анықтау әдістеріне шолу

Автономды жүргізу жүйелері нысандарды анықтау үшін әртүрлі технологияларды пайдаланады. Солардың ішінде нысандары радармен (radio detection and ranging - радио анықтау және диапазонды өлшеу) анықтау - нысандарды анықтау әдістерінің бірі (1.1-сурет) [3]. Радар толқындарды шағылыстыруға кететін уақытты өлшеу арқылы объектілерді анықтау үшін радиотолқындарды пайдаланады. Ол анықталған объектілердің қашықтығы, жылдамдығы және көлбеу бұрышы туралы ақпарат береді, бұл оны көлік құралдары мен кедергілерді анықтауға пайдалы етеді. Алайда, ол объектінің жалпы бағытын ғана анықтай алады, оның пішіні немесе өлшемі туралы егжей-тегжейлі ақпарат бере алмайды. Қолайсыз ауа-райына байланысты радар нысанның орнын қате анықтауы мүмкін. Сондай-ақ, бұл датчик объектінің көлік құралы немесе басқа зат екенін нақты анықтай алмайды [4].



1.1-сурет – Нысандары радармен анықтау әдісі

Shohei Ogawa және т.б. [5] автономды жүргізуді жеңілдету үшін 76 ГГц диапазонында жол бойында радиолокация әзірледі және 34 см ажыратымдылыққа да, 189 м диапазонға да қол жеткізуге болатынына көз жеткізді. Радар ажыратымдылықтың нашарлауынсыз үлкен қашықтықта анықтаумен сипатталатын модуляцияның көп жиілікті сатылы КФК (комплементарлы фазалық кодтау) әдісін қолданды. А. Manjunath және т.б. [6] Ego көлігі бақылайтын нысандар үшін сызықтық емес қозғалыс үлгісін қолданды. Әр объект үшін бірнеше мақсатты анықтау торға негізделген DBSCAN көмегімен топтастырылды, ол радарға негізделген қосымшаларға жақсы сәйкес келеді. Zhou Y және т.б. [7] сигналдарды өңдеу, деректер жиыны, таңбалау, деректер көлемін ұлғайту және тереңдік пен жылдамдықты бағалау, нысандарды анықтау және сенсорларды біріктіру сияқты кейінгі тапсырмаларды қоса алғанда, терең радиолокациялық қабылдау жүйесінің

жалпы көрінісін ұсынды. Авторлар терең радиолокациялық қабылдаудағы назардан тыс қалған үш мәселені, соның ішінде көп жолақты әсерлерді, белгісіздік мәселелерін және ауа-райының қолайсыз әсерлерін қорытындылайды және оларды шешудің кейбір әрекеттерін ұсынады.

Екінші әдіс – камераларға негізделген анықтау технологиясы (1.2-сурет) [8]. Камералар визуалды деректерді түсіреді және нысандарды анықтау және тану үшін кескінді өңдеу алгоритмдерін пайдаланады. Конволюциялық нейрондық желілер (CNN) сияқты терең оқыту әдістері әдетте кескін үлгілері мен ерекшеліктерін талдауға негізделген нысандарды анықтау және жіктеу үшін қолданылады. Нысандарды камерамен анықтаудың артықшылықтары:

- Төмен құны және кең қол жетімділігі;
- Түсті, текстураны және нысанды тануды қоса алғанда, бай визуалды ақпарат береді;
- Өртүрлі жарық жағдайларында нысандарды анықтау және тану кезінде тиімді.
- Кемшіліктері:
 - Төмен жарық немесе жарқын жарық жағдайында шектеулі өнімділік;
 - Тереңдікті қабылдаудың болмауы, бұл қашықтықты дәл өлшеуді қиындатады;
 - Кедергілерден туындаған бітелулерге және нашар көрінуге осал [9].

F. Reway және т.б. [10] модельдеу мен шындық арасындағы алшақтықты өлшеудің сынақ әдісін ұсынды. Осы мақсатта сынақ алаңында құрастырылған және қоршаған ортаны модельдеуге арналған екі бағдарламада ойнатылатын сынақ сценарийі анықталады. Fujiyoshi H және т.б. [11] кескінді тану тапсырмаларында терең оқытудың қалай қолданылатынын түсіндіреді және терең оқытуды қолдана отырып, кескінді танудың соңғы технологиясын ұсынды. M. Schutera және т.б. [12] доменді қайта даярлаусыз және қосымша таңбалауды қажет етпейтін объектілерді анықтаған кезде доменді бұзу әсерін азайту үшін доменді бейімдеудің онлайн шешімін және доменді бастапқы және мақсатты домендердің өзара алмастыру тұрғысынан бейімдеудің модульдік құрылымын шығарды. Wang, Y және т.б. [13] конволюциялық нейрондық желілердің ішкі жұмысын ескере отырып, кескіндерге негізделген тереңдік карталарын псевдолидарлық көріністерге айналдыруды ұсынады. KITTI сынағында авторлар 30 метр радиустағы объектілерді анықтау дәлдігін 22% - дан 74% - ға дейін арттырды. X. Zhao және т.б. [14] KITTI деректер жинағынан алынған бағалау үміткер аймақтар нысандары бойынша бір кадрға орта есеппен 86 нақты үміткер шығарады, ұсынылған әдіспен әрбір кадрдың орташа өңдеу уақыты 66,79 мс құрайды және орташа күрделілік деңгейіндегі автомобильдер мен жаяу жүргіншілер үшін орташа дәлдік сәйкесінше 89,04% және 78,18% құрайды.



1.2-сурет – Нысандарды визуалды камерамен анықтау әдісі

Келесі нысандарды анықтаудың әдісі - перспективалы технологияларының бірі – LIDAR (Light Detection and Ranging), қашықтықты өлшеу және үш өлшемді қоршаған орта карталарын жасау үшін лазерлік импульстарды қолданатын қашықтықтан зондтау әдісі. Соңғы жылдары LiDAR әртүрлі қолданбалар үшін пайдаланылды, соның ішінде картаға түсіру, суретке түсіру және нысанды анықтау [3].

1.2 3D нысандарын лидар (жарықты анықтау және диапазонды анықтау) технологиясымен анықтау әдісіне шолу

Лидар датчиктері арқылы алынған 3D нүктелік бұлттар адамдар, автомобильдер немесе кемелер сияқты объектілерді анықтауға жақсы негіз болды. Бүгінгі таңда қол жетімді сканерлеуші лидар жүйелері қолайлы ажыратымдылық, іске асырылатын жаңарту жылдамдығы және көру өрісі (FOV) арасындағы компромиссті білдіреді. Көптеген лидар датчиктерінің төмен ажыратымдылығы оларды нысандарды анықтауға жарамсыз етеді. Екінші жағынан, лидар негізіндегі анықтау әдістерінің көптеген артықшылықтары бар: объектіні алдыңғы немесе артқы жағынан бөлу салыстырмалы түрде оңай, объектінің дәл үш өлшемді орналасуы оны анықтағаннан кейін бірден белгілі және сенсор күндізгі жарық жағдайларына тәуелді емес [15].

Автономды жүргізу жүйелері объектілерді сенімді анықтауға қол жеткізу үшін сенсорлық біріктіру деп аталатын осы технологиялардың комбинациясын жиі пайдаланады. Лидар дәлдігі, радиолокациялық диапазон және камералардан көрнекі ақпарат сияқты әртүрлі сенсорлардың артықшылықтарын біріктіре отырып, автономды көліктер қоршаған орта туралы жан-жақты түсінік ала алады.

Y. Wu және т.б. [16] лидар көмегімен объектілерді терең 3D анықтау желілерін сипаттады. Соның ішінде әртүрлі көріністердегі алгоритмдердің өнімділігі, лидар нүктелік бұлтының сиректігі және объектілердің тығыздығы туралы салыстырулар берген. KITTI нысандардың 3 негізгі класын - көлік, жаяу жүргінші және велосипедшіні қамтиды және нысанның биіктігі, қабаттасу және кесу дәрежесі бойынша 3 қиындық деңгейін анықтайды. NuScenes деректер жинағы теңгерімсіз объектілердің 10 класын бағалайды. Waymo деректер

жинағы/ benchmark объектілердің 4 класын бағалайды. R. Sahba және т.б. [17] 3D нысандарын лидар деректері негізінде анықтау жүргізді. Анықтау үшін үш түрлі нысандар санаты - автомобиль, жаяу жүргінші, автобус үшін PointPillars желісіне негізделген модель қолданылды. Желі NuScenes деректер жинағының негізінде оқытылды. Лидар Авторлар жасаған эксперимент нәтижесі бойынша 3D детекторының өнімділігі басқа 2 санатқа қарағанда автомобиль санаты үшін ең жоғары екенін көрсетеді, өйткені ол деректер жиынындағы объектілердің ең көп санын қамтиды. Жаяу жүргіншілер мен автобустар санаттары үшін өнімділік төмендейді, өйткені оларда 3 санаттағы нысандар үлгісінде сәйкесінше нысандар аз болды. Alaba және т.б. [18] автономды жүргізуге арналған лидар негізіндегі заманауи 3D нысанды анықтауды ұсынды. Сондай-ақ, лидар белгілерін бөлектеу әдістері мен лидар кодтау әдістері қысқаша сипатталып, жиі қолданылатын 3D координаталық жүйелер қарастырылды. Ваі және т.б. [19] төмен ажыратымдылықтағы лидар көмегімен 3D нысандарын анықтауға мүмкіндік беретін екі сатылы нейрондық желі құрылымын ұсынды. Төмен ажыратымдылықтағы лидар нүктелік бұлттан және монокулярлық камерадан алынған суреттерден алынған кірістерді қабылдай отырып, тереңдікті анықтау желісі 3D нысандарын анықтау үшін кейіннен воксельге негізделген желімен өңделетін тығыз нүкте бұлтты құру үшін қолданылды. Bird Eye view (BEV) режимінде 3D нысандарын анықтауға арналған Kitti деректер жиынтығымен бағаланған эксперименттік нәтиже ұсынылған тәсіл объектілерді анықтау үшін 16 сызықты лидар нүктелік бұлтты тікелей қолданудан әлдеқайда жақсы жұмыс істейтінін көрсетті. Pei Sun және т.б. [20] жұмыстарында лидар мәліметтері бойынша 3D нысандарын анықтау, соның ішінде көптеген автономды жүргізу жүйелерінің жоғары жылдамдықпен қауіпсіз жүргізу үшін жаңа лидар қамтамасыз ететін ұзақ қашықтық анықталуы керек болды. Осы мақсатқа жету үшін Range Sparse Net (RSN) – қарапайым, тиімді және дәл 3D нысан детекторын осы кеңейтілген анықтау режимінде нақты уақыттағы 3D нысанды анықтау мәселелерін шешу әдісі ұсынылды. Тәжірибе нәтижесінде алдыңғы қатардағы дәлдік/ еске түсіру (precision/recall) CarS үшін 77,5% / 99,6% және PedS үшін 15,3% / 97,6% құрады. Yan, L және т.б. [21] LIDAR көмегімен 3D нысандарын анықтау жылдамдығы мен дәлдігі арасындағы тепе-теңдікті табу үшін нақты уақыттағы лидар негізіндегі есептеуіш тиімді 3D детекторы RTL3D ұсынды. RTL3D құрылымдалмаған нүктелік бұлтты ұйымдастыру үшін воксельдің тиімді көрінісін қолданды. Вокселденген 3D деректері үшін сирек кездесетін белгілерді оқыту желісін (SFLN) пайдалана отырып, RTL3D нүктелік бұлттың сиректігін пайдаланады және 3D деректерін 2D форматына түрлендіреді.

2 Лидар технологиясы

2.1 LIDAR сенсоры: жұмыс принципі. Лидар диапазоны мен сканерлеу принципі

Жарықты анықтау және диапазонды анықтау дегенді білдіретін Lidar (Light Detection and Ranging) - үш өлшемді лазерлік сканерлеу әдісі. Лидар датчиктері қоршаған орта туралы үш өлшемді құрылымдық ақпарат береді. Қазіргі заманғы жүргізушіге көмек көрсету жүйелері (ADAS), Роботтар және ұшқышсыз ұшу аппараттары/дрон дәл үш өлшемді қабылдау, навигация және картаға түсіру үшін лидар датчиктерін пайдаланады.

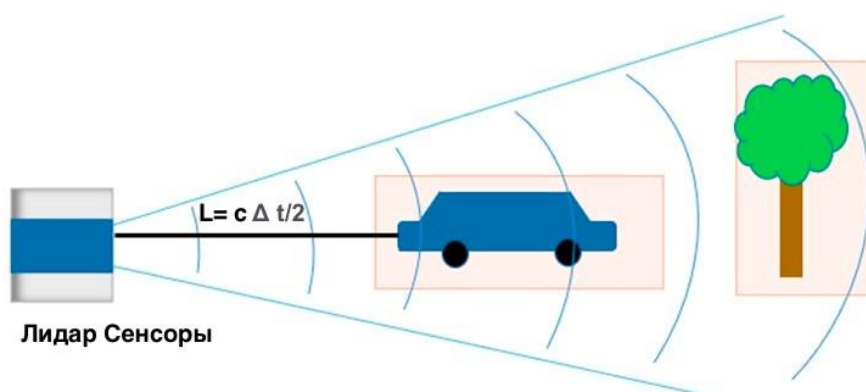
Лидар - сенсордың сахнадағы объектілерге дейінгі қашықтығын өлшеу үшін лазер сәулесін қолданатын белсенді қашықтықтан зондтау жүйесі. Лидар сенсоры айналадағы заттардан шағылысатын лазерлік импульстарды шығарады. Содан кейін сенсор осы шағылысқан жарықты алады және қоршаған ортаның құрылымын қабылдауға мүмкіндік беретін объектілерге дейінгі қашықтықты өлшеу үшін ұшу уақыты принципін қолданады.

Бір нүктелі диапазонды анықтау лидар визуализациясының негізі болып табылады. Бүкіл көріністің суреті әртүрлі азимуттары бар лазерлермен үздіксіз сканерлеу арқылы алынады.

1) Қашықтық өлшегіш (Ranging): ұшу уақыты (TOF) лидар қашықтығын өлшеудің басым әдістемесі болып табылады. Қашықтық жарық жылдамдығын с лидар мен мақсатты нүкте арасындағы лазерлік импульстің өту уақытына көбейту арқылы есептеледі (2.1-сурет):

$$L = \frac{c(t_2 - t_1)}{2} \quad (2.1)$$

мұндағы t_1 - лазерлік сәулелену уақыты, ал t_2 - қабылдау уақыты, екеуі де ішкі лидар таймерімен жазылады.



2.1-сурет – Лидар сенсорымен нысана қашықтығын өлшеу

2) Сканерлеу: сканерлеу әдістемелеріне сәйкес лидар механикалық лидар, гибриді лидар және қатты күйдегі лидар деп бөлуге болады. Механикалық лидар: механикалық лидар әртүрлі тік бағытта алдын ала орнатылған лазерлік эмиттерлерді көлденең бұру арқылы 360 градусқа сканерлеуге қабілетті. Тік лазерлік арналардың әртүрлі саны әртүрлі тығыздықтағы 3D кескіндерін шығарады. Қарапайым принцип және өлшеудің жоғары дәлдігі механикалық лидар қолдануға ықпал етеді. Velodyne Inc роботтарда, автономды жүргізуде және қоғамдық қауіпсіздікте кеңінен қолданылатын 64/32/16 арналары бар лидар жасады. Дегенмен, қозғалтқыштар мен көпбұрышты призмалар сияқты механикалық қозғалыс құрылғылары механикалық лидарды көлемді етеді. Сонымен қатар, көп арналы лазерлерді бөлек жөндеу және құрастыру жаппай өндірістің тиімділігіне әсер етеді, бұл жоғары бағаға әкеледі.

Гибриді лидар: механикалық лидардан айырмашылығы, гибриді лидар көлденең және тік көру өрісін қамтамасыз ету үшін MEMS (микроэлектромеханикалық жүйе) гальванометрінің айналуын пайдаланады. Микро айнаның көлбеу бұрыштарын реттей отырып, айна әр түрлі бағытта бір импульсті лазерді көрсете алады. MEMS-lidar бір лазерлік компонентінің арқасында механикалық лидарға қарағанда арзанырақ және кішірек өлшемдерге ие, бірақ оның шағын өлшемдері оптикалық диафрагма мен сканерлеу бұрышын шектейді, нәтижесінде көру өрісі азаяды. Сонымен қатар, механикалық және гибриді лидар діріл құрылымына байланысты қысқа қызмет етеді.

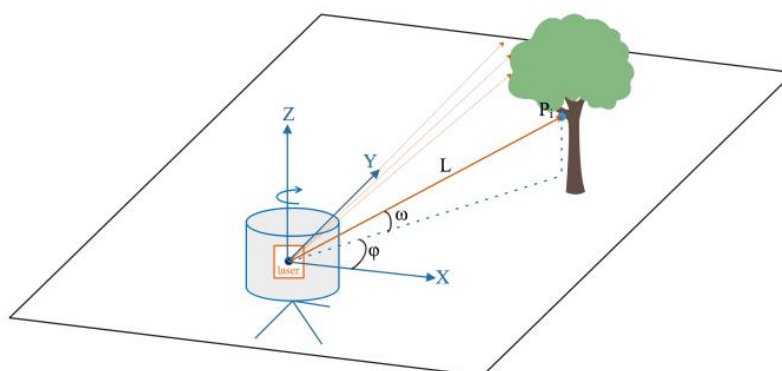
Қатты күйдегі лидар: электрондық сканерлеу бүкіл көру өрісін қамту үшін қолданылады. Макро немесе микро қозғалмалы бөліктері болмаса, қатты күйдегі лидар көлемі аз және деректердің сенімділігі жоғары. Сканерлеу әдістеріне байланысты негізінен қатты күйдегі лидардың екі түрі бар: ОФТ (оптикалық фазалық тор) және Flash лидар. ОФТ лидар когерентті жарық принципін қолданады. Бірнеше жарық көздері бар матрица лазерлік сәулеленудің уақыт айырмашылығын басқару арқылы белгілі бір бағытта негізгі сәулені синтездеу үшін қолданылады. Содан кейін негізгі сәуленің фазалық бағыты толық биіктікте сканерлеу үшін әртүрлі бағытта өзгереді. ОФТ лидар сканерлеудің жоғары жылдамдығына және арзан бағаға ие, дегенмен бүйірлік жапырақшалардың әсері және төмен бұрыштық ажыратымдылық әлі де проблема болып табылады. Жарқылмен лидар көмегімен сурет камерадағы суретке ұқсас. Алдымен ол алдыңғы жағынан көру үшін лазер сәулесін шығарады, содан кейін көріністі бейнелеу үшін шағылысқан сигналды қабылдайды. Flash лидар кескінді алудың жоғары жылдамдығына ие, бірақ электронды компоненттердің қуатының шектелуіне байланысты оның анықтау ауқымы аз.

2.2 Нүктелік бұлт (Point cloud)

\mathbb{P} нүктелік бұлты - бұл лидар сканерлеуімен алынған $\{P_i = [x, y, z, r], P_i \in \mathbb{P}\}$ 3D нүктелерінің жиынтығы. Ол қоршаған орта нүктелерінің кеңістіктік таралуы және объект бетінің сипаттамалары туралы ақпарат береді. Әрбір нүктеде сенсордың центріне қатысты үш өлшемді координаталық вектор (x, y, z) және лазердің шағылысу қарқындылығы болып табылатын онымен байланысты R сипаттамалық векторы бар. Мысал ретінде жиі қолданылатын механикалық лидар алып, P_i нүктесінің орналасу векторы келесідей есептеледі:

$$\begin{aligned}x &= L \cos(\omega) \cos(\phi) \\y &= L \cos(\omega) \sin(\phi) \\z &= L \sin(\omega)\end{aligned}\tag{2.2}$$

2.2-суретте көрсетілгендей, ω - лазердің тік бағытта көлбеу бұрышын білдіретін лидар ішкі параметрі. ϕ - бастапқы өлшеу деректерінде көрсетілген z осінің айналасындағы айналу бұрышы. L нүктелері арасындағы қашықтық TOF көмегімен есептеледі.



2.2-сурет – P_i нүктесін анықтайтын механикалық лидар суреті. Үш өлшемді координаталық осьтердің координаттарының басталуы - лидар центрі. Қызғылт сары сызықтар әртүрлі лазерлік арналар болып табылады. Көк нүктелі сызық - бұл P_i нүктесінің X-Y жазықтығына проекциясы, L нүктесіне дейінгі қашықтық TOF көмегімен есептеледі.

Нүктелік бұлттардың екі түрі бар: ұйымдастырылған және ұйымдастырылмаған. Олар сәйкесінше құрылымдық немесе ерікті түрде сақталған нүктелік бұлт деректерін сипаттайды. Ұйымдастырылған нүктелер бұлты екі өлшемді матрицаға ұқсайды, оның деректері жолдар мен бағандарға бөлінеді (2.3-сурет). Деректер нүктелер арасындағы кеңістіктік қатынастарға сәйкес бөлінеді. Нәтижесінде ұйымдастырылған нүктелер бұлтының жадында орналасуы оның нүктелерінің XYZ координаттарымен ұсынылған кеңістіктік орналасумен байланысты. Керісінше, ұйымдастырылмаған нүкте бұлттары үш

өлшемді координаттардың бір ағынынан тұрады, әр координат бір нүктені білдіреді (3-сурет). Сондай-ақ, бұл нүкте бұлттарын олардың деректерінің пішініне қарай ажыратуға болады. Ұйымдастырылған нүктелік бұлттар - x, y және z нүктелерінің координаттарын білдіретін үш арнасы бар $M \times N \times C$ форматындағы матрицалар, мұндағы M - нүктелік бұлт ұзындығы, C – арналар саны, N – нүктелік бұлт ені. Ұйымдастырылмаған нүкте бұлттары $M \times C$ форматындағы матрицалар, мұндағы M - нүкте бұлттыңдағы нүктелердің жалпы саны, C – арналар саны.



2.3-сурет – Ұйымдастырылған және ұйымдастырылмаған нүктелік бұлттар

2.3 Лидар түрлері

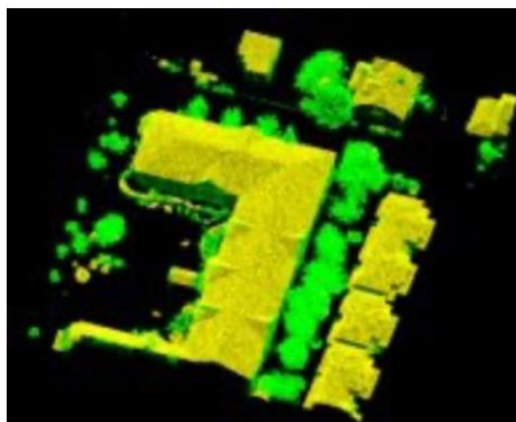
Лидар автоматтандырылған жүргізуден бастап геоғылымға дейінгі көптеген салаларда қолданылады. Лидарды олар орнатылған платформаға байланысты үш топқа бөлінеді:

- Әуе лидары (Aerial lidars);
- Жер үсті лидары (Ground lidars);
- Ішкі лидар (Indoor lidars).

Әуе лидары. Әуе лидар - бұл ұшқышсыз ұшу аппараттарына (ұшқышсыз ұшу аппараттарына) немесе әуе кемелеріне орнатылған лидар датчиктері (2.4-сурет). Әуе лидарлары лидар картасын жасау, нысандарды алу, рельефті жіктеу және басқа да пайдалану жағдайлары үшін пайдаланылуы мүмкін үлкен рельефтік нүктелердің 3D бұлт деректерін жинайды (2.5-сурет).



2.4-сурет – Әуе лидары сенсоры



2.5-сурет – Әуе лидары сенсоры жинаған деректер

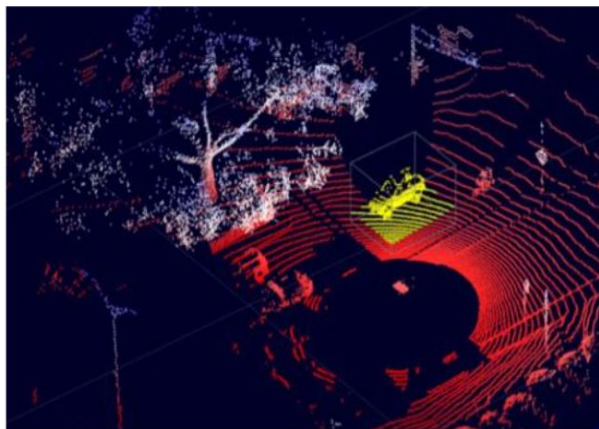
Жер үсті лидары. Жер үсті лидардың екі түрі бар: стационарлық жер лидар және жылжымалы лидар.

Стационарлық жердегі лидар - бұл стационарлық платформада орнатылған лидар. Олар әдетте топографиялық түсірілім, жол түсірілімі, топологиялық карта жасау, сандық биіктік карталарын (DEMS) жасау, ауыл шаруашылығы және басқа қолданбалар үшін қолданылады. Олар деректерді егжей-тегжейлі және мұқият жинау қажет болатын қосымшалар үшін қолайлы.

Мобильді лидар - бұл автомобиль немесе жүк көлігі сияқты мобильді платформада орнатылған жердегі лидар (2.6-сурет). Лидардың ең маңызды мобильді қосымшасы - автономды жүргізу. Көлік құралдарына орнатылған лидар қоршаған орта нүктелерінің бұлты туралы 3D деректерді жинайды (2.7-сурет) және одан әрі қабылдау және навигация процестерінде қолданылады.



2.6-сурет – Мобильді лидар сенсоры

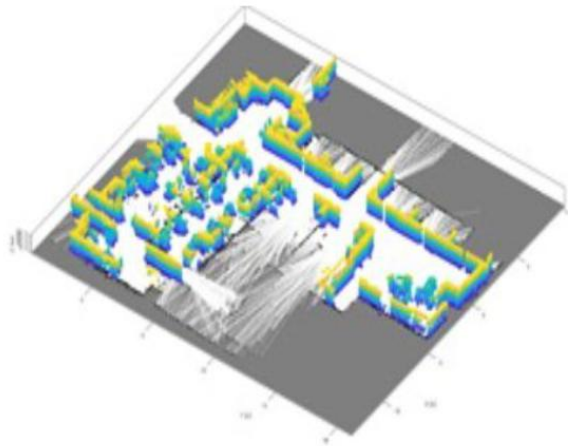


2.7-сурет – Мобильді лидар сенсоры жинаған деректер

Ішкі лидар. Лидар мобильді роботтарға орнату арқылы үй ішіндегі робототехникада кеңінен қолданылады. 3D лидар сияқты, 2D лидар немесе лазерлік сканерлер лидар сканерлеу және картаға түсіру сияқты робототехникада да қолданылады (2.8-сурет). Олар қоршаған ортаның тереңдігі туралы ақпарат жинайды және бұл тереңдік туралы ақпарат пайдалану жағдайларына байланысты одан әрі өңделеді (2.9 -сурет).



2.8-сурет – Ішкі лидар сенсоры



2.9-сурет – Ішкі лидар деректері

2.4 Лидар деректерін дайындау

2.4.1 Деректерді алдын - ала өңдеу

Лидар датчиктері нүктелік бұлттар деп аталатын кеңістіктегі нүктелер шоғыры ретінде үш өлшемді экологиялық сканерлеуді жасайды. Нүктелік бұлттар дәл және сенімді болғанымен, оларды робототехникалық қосымшалар үшін пайдалы етеді, нүктелік бұлттардың шикі деректері үлкен, жоғары тығыздықтағы шуды қамтиды және диффузиялық таралуға ие. Нүктелік деректер нысандарды құрайды. Солай нысандар классы туындайды (2.10-сурет).



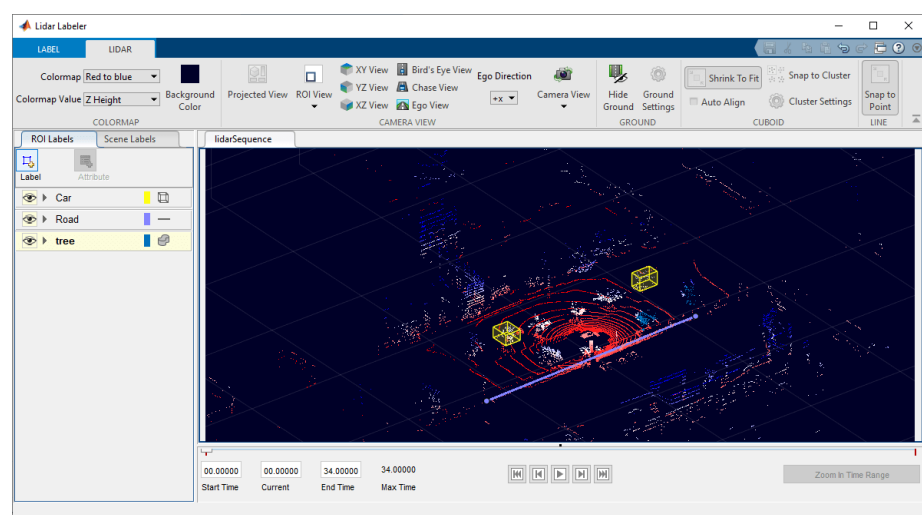
2.10-сурет – Деректерді алдын - ала өңдеу кезеңдері

2.4.2 Деректерді таңбалау, сегменттеу және анықтау

Lidar Labeler қолданбасын нүкте бұлттың немесе нүкте бұлттың реттілігіндегі жердегі сенімді деректерді интерактивті түрде таңбалау үшін пайдаланады. Нысандарды анықтау үшін кубоидтар мен полилиндерді, семантикалық сегментация үшін воксельдерді және нүктелік бұлттарды жіктеу үшін көріністерді белгілеуге болады. Класстар санына қарай нүктелік бұлттарды белгілеп, атау беру арқылы оларды таңбалайды. Мысалы көлік, велосипедші, жаяу жүргінші, т.б. (2.11-сурет).

Қолданба объектілерді байланыстыру және интерполяциялау үшін таңбалау процесін автоматтандыру алгоритмдерін ұсынады. Қосылған алгоритмдердің бірін пайдалануға немесе реттелетін автоматтандыру алгоритмін жасауға және импорттауға болады.

Сондай-ақ, Lidar Toolbox™ мүмкіндіктерін белгілерді анықтау және таңбалау процесін бағдарламалық автоматтандыру үшін пайдалануға болады.

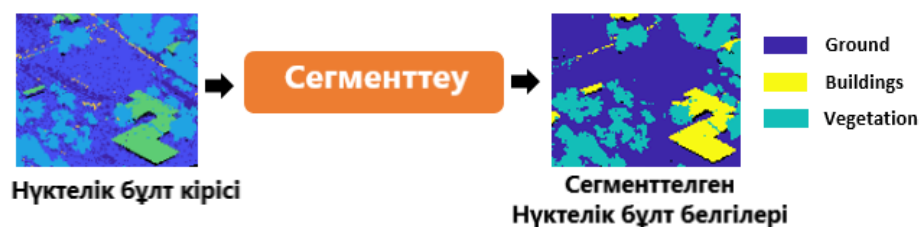


2.11-сурет – Lidar Labeler қолданбасы арқылы нысандарды/деректерді таңбалау

Сегменттеу - бұл объектілерді 3D модельдеу және бетті қайта құру сияқты қосымшалар үшін маңызды ақпаратты алудың маңызды процесі. Лидар өңдеу схемаларының көпшілігі сандық кескінді өңдеуге және компьютерлік көру алгоритмдеріне негізделген [22].

Семантикалық сегментация нүктелердің үш өлшемді бұлтының нүктелерін олардың ұқсас сипаттамаларын қолдана отырып топтастырады және әр нүктені автомобиль, ғимарат, жер немесе өсімдік жамылғысы сияқты сынып белгісімен байланыстырады (2.12-сурет).

Сіз нүктелер бұлтын жиектерге, іргелес нүктелердің қасиеттеріне және кубоид, жазықтық және цилиндр сияқты геометриялық фигураларға қарай сегменттей аласыз. Lidar Toolbox™ нүктелік бұлттарды геометриялық сегментациялауға арналған функциялар мен жұмыс процестерін қамтиды. Lidar Toolbox сонымен қатар терең оқытуды қолдана отырып, семантикалық сегментацияны қолдайды. PointSeg, SqueezeSegV2 және PointNet++ алдын-ала дайындалған конволюциялық нейрондық желілерді (CNN) пайдалануға немесе арнайы сегменттеу модельдерін жасауға болады.



2.12-сурет – Семантикалық сегменттеу

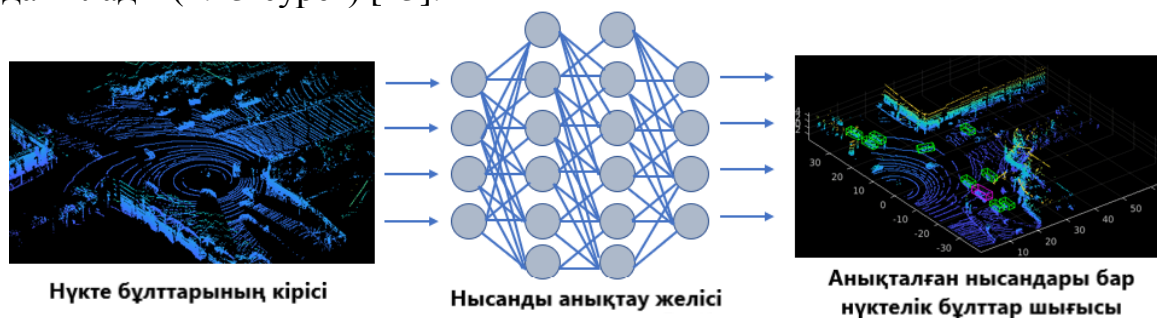
Нысанды анықтау - бұл көріністегі нысандарды анықтайтын және локализациялайтын әдіс. Бұл нүктелер бұлтындағы үш өлшемді нысандарды анықтауға мүмкіндік береді. Lidar Toolbox™ геометриялық пішінді сәйкестендіру немесе конволюциялық нейрондық желілер арқылы терең оқыту арқылы нысандарды анықтауға мүмкіндік беретін функционалдылықты қамтиды.

Геометриялық пішінді таңдау - бетті сегментациялау және жазықтықты таңдау алгоритмдерін қолдана отырып, нүктелер бұлтындағы объектілердің үш өлшемді геометриясын анықтау. Әр нысанның орналасқан жерін, өлшемдерін және бағытын анықтауға болады. Анықталған нысандарды бақылау, жолды жоспарлау және таңбалау сияқты кейінгі жұмыс процестері үшін пайдалануға болады.

Терең оқыту - объектілерді анықтауға арналған терең оқыту тәсілі объектілерді анықтауды орындау үшін конволюциялық нейрондық желілерді пайдаланады. Lidar Toolbox Pointpillars және Complex-YOLO v4 сияқты нейрондық желілерді пайдаланатын нысандарды анықтау жұмыс процестерін қамтиды. Сіз объектіні анықтаудың жеке моделін үйрете аласыз немесе қол

жетімді алдын-ала дайындалған желілерді қолдана аласыз және оны қосымша үшін теңшей аласыз.

Нысанды қадағалау - бұл көріністі бірнеше рет сканерлеу кезінде объектілердің қозғалысын бағалайтын және бақылайтын әдіс. Нысандарды қадағалау анықталған нысандарға бірегей идентификатор тағайындаудан және олардың нүктелік бұлт кадрлары бойынша қозғалысын бақылаудан тұрады. Lidar құралдар жинағы Көлік құралдарын, жол жиектерін және жиектерді анықтау және қадағалаудың жұмыс процестерін қамтиды. Бұл жұмыс процестерінің көпшілігінде Joint Probabilistic Data Association (JPDA) трекері қолданылады (2.13-сурет) [23].



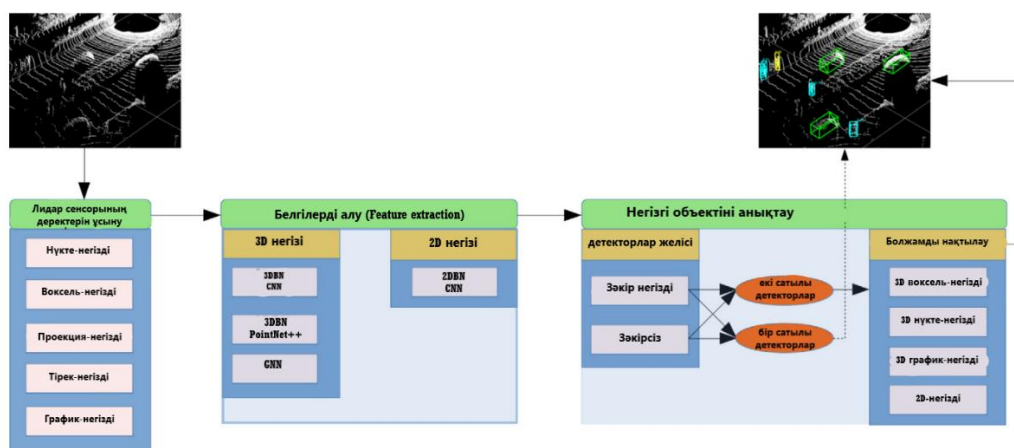
2.13-сурет – Нысандарды анықтау бойынша нүктелік бұлттар кірісі және ШЫҒЫСЫ

2.5 Лидар негізіндегі 3D нысандарын терең анықтау әдістері

Бұдан былай 3D нысан детекторлары деп аталатын лидар негізіндегі 3D нысан детекторлары RGB камералары сияқты басқа сенсорлардың ақпаратын пайдаланбай, тек лидар сенсорының деректерін пайдаланады. Барлық 3D нысан детекторлары арасында ортақ тіл табу үшін үш бөлек модульден тұратын жұмыс конвейері ұсынылады, атап айтқанда: лидар сенсорының (SDR) деректерін ұсыну, белгілерді шығару және негізгі нысандарды анықтау.

Бірінші LiDAR SDR операциялық модулінде лидар сенсорының кіріс деректері құрылымдық және компам көрініске айналады. Осы көрініске сүйене отырып, объектілерді алудың екінші операциялық модулінде жоғары өлшемді және бай мазмұндағы объектілер алынады. Содан кейін зерттелген көпөлшемді сипаттамалар негізгі объектілерді анықтаудың үшінші және соңғы операциялық модулінде өңделеді. Объектілерді негізгі анықтау екі кезеңнен тұрады: детекторлық желілер және болжамды нақтылау. Детекторлық желілердің бірінші кезеңі ерекшеліктерді алу модулінен үлкен өлшемді объектілерді кіріс ретінде алады және объектінің класына, орналасқан жеріне және өлшеміне қатысты 3D BBox болжамын береді. Болжамды нақтылаудың екінші кезеңінде детекторлық желілердің бірінші кезеңінен болжанған 3D-блокты қайта іріктеу жүзеге асырылады, жергілікті объектілер алынады және объектінің орналасқан жерін, өлшемін және класын нақты дәл болжау үшін өңделеді.

Негізгі операциялық объектіні анықтау модулінде детектор желілерінің бірінші сатысын ғана пайдаланатын 3D нысан детекторлары бір сатылы деп жіктеледі, ал егер олар детектор желілерінің екі сатысын да және болжамды нақтылауды қолданса, олар екі сатылы деп жіктеледі. Бір сатылы 3D нысан детекторлары тезірек қорытынды жасауға бейім, бірақ екі сатылы детекторлар өз болжамдарында дәлірек болады. 3D нысан детекторларының құрылымдық схемасы 2.14-суретте көрсетілген, ал келесі бөлімдерде әрбір жұмыс модулі ұсынылады және талданады.



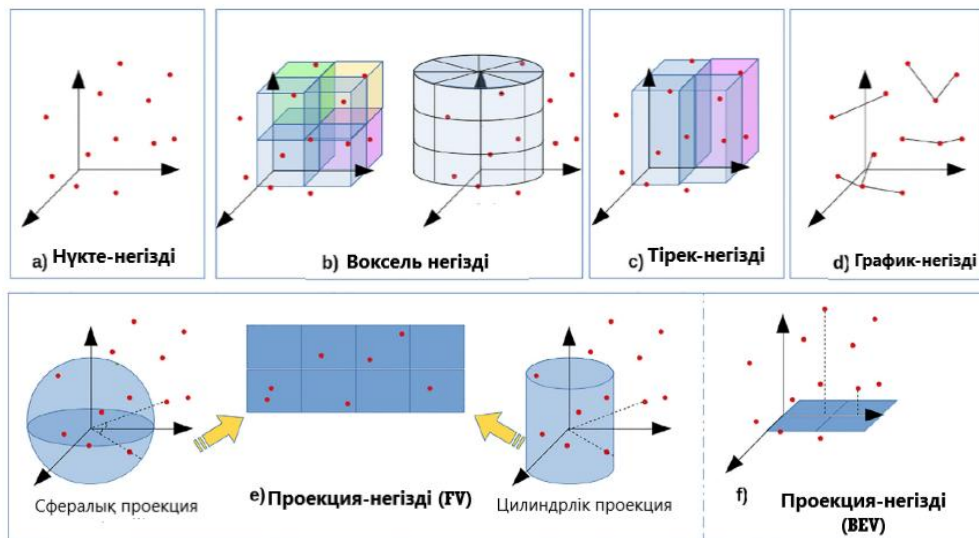
2.14-сурет – Терең оқытылатын лидар негізіндегі 3D нысан детекторларының жұмыс конвейерінің құрылымдық диаграммасы

2.5.1 Лидар сенсорының деректерін ұсыну

Бір немесе бірнеше лидар датчиктерінен алынған лидар датчигінің кіріс деректері автономды көлік құралында орнатылған датчиктердің параметрлері мен санына байланысты нүктелік бұлт түрінде ұсынылады. Дегенмен, олар құрылымдалмаған пішініне және құрылымдалмаған өлшеміне байланысты 3D нысан детекторларымен тікелей өңделмейді. Біріншіден, ол бес түрлі көріністі қолдана отырып, компам құрылымға кодталуы керек: нүктелік, воксельдік, бағаналы, проекциялық және графикалық. Соңғы архитектуралар екі түрлі көріністі қолданады, нәтижесінде қосарланған ұсыну санаты пайда болады (2.15-сурет). Кейбір әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері 2.1-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.1 – Нүкте бұлты көріністері әдістемелерінің артықшылықтары мен кемшіліктері

Нүкте бұлтының көрінісі	Әдістеме	Артықшылықтары	Шектеулер
Проекция негізді	FV нысандарының 2D картасын жасау үшін 3D нүктелік бұлтты алдыңғы жағына қарай жобаланады	-FV картасында дайын 2D детекторын пайдалану мүмкіндігі; -FV режиміндегі және камера кескіндеріндегі ұқсас көрініс кескінді камерадан оңай біріктіруге мүмкіндік береді	-Проекция объектінің тереңдігі туралы ақпараттың жоғалуына әкеледі.
	BEV нысандарының 2D картасын жасау үшін 3D нүктелік бұлтты құс көзінің кескініне жобалайды.	-BEV нысанының өлшемі диапазонға қарамастан тұрақты болып қалады, бұл объектінің өлшемі туралы алдын ала сенімді ақпарат береді, бұл желіні үйренуді және объектінің иілу бұрышын есептеуді жеңілдетеді.	-BEV картасында шағын тиімді алаң және көрініс; -Тік кеңістіктегі бітелуді басқару қиын немесе көлбеу проекциядан кейін бірнеше нүктелері бар баған тәрізді нысан.
Воксель негізді	3D кеңістігін кәдімгі 3D воксельдерге бөліп, псевдокспен объектілердің 2D карталарын қалыптастыру үшін z осі бойынша объектілерді біріктіру үшін 3D CNN қолданады	-3D CNN көмегімен 3D көріністегі тереңдік ақпаратына қатысты жергілікті тәуелділіктерді зерттеу оңай; -Вокселизация әр түрлі арналары бар лидар үшін гетерогенді нүктелердің енгізілуін табиғи түрде қалыпқа келтіреді.	-Вокселизация кезінде ақпараттың жоғалуы, өйткені бір воксельдегі бірнеше нүктелер біріктіріледі; -Воксель төңкерісі жұқа болған кезде есептеу шығындары мен жады текше метрге артады.
Нүкте негізді	Тұрақты емес нүктелер бұлтын тікелей өңдеп, іргелес жергілікті нысандарды біріктіру арқылы нүктелік нысанды шығарады.	-Ақпаратты жоғалтпай 3D геометриясын және нүктелік бұлт пішінінің ерекшеліктерін толық пайдалану мүмкіндігі; -Сирек нүктелерді өңдеу үшін аз GPU жады қажет.	-Сипаттамаларды нүктелік генерациялау үшін кездейсоқ жаққа қол жеткізу.



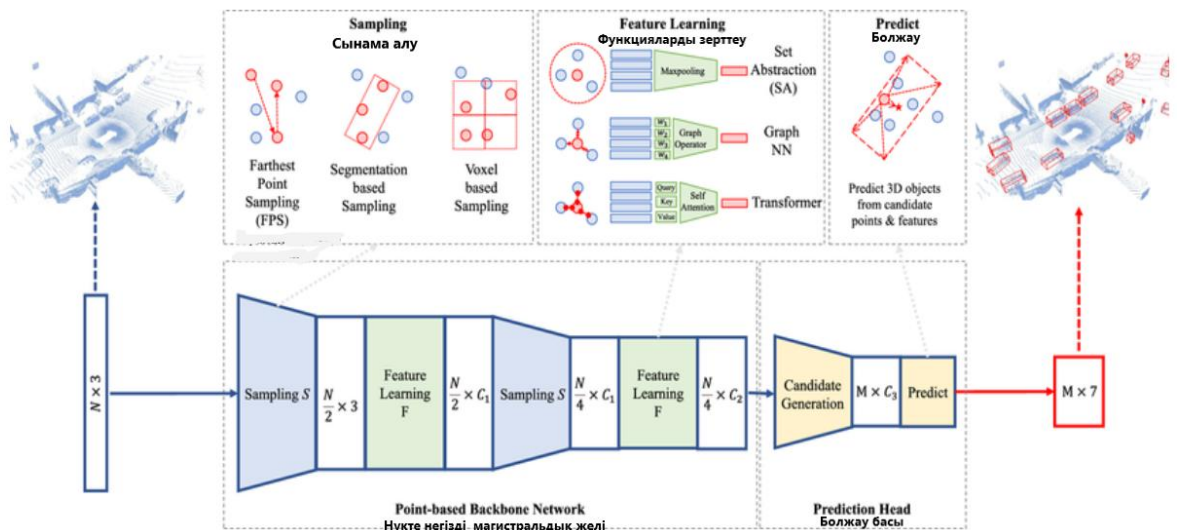
2.15-сурет – Нүктелік бұлт көріністері

3 Ұсынылатын әдіс

3.1 Нүкте негізді әдіс (Point-based method)

Объектілерді анықтаудың нүктелік әдісі үш өлшемді нүктелік бұлт деректеріндегі объектілерді анықтау және жіктеу үшін компьютерлік көру және қабылдау жүйелерінде қолданылатын әдісті білдіреді. Ол нүктелер бұлттындағы жеке нүктелерді өңдеуге және объектілерді анықтау және локализациялау үшін объектілерді шығаруға бағытталған.

Лидар негізіндегі объектілерді анықтау контекстінде нүктелік әдіс лидар сенсорлары ұсынатын бай геометриялық ақпаратты пайдаланады. Лидар датчиктері лазер сәулелерін шығарады және қоршаған ортадағы заттардың қашықтығы мен орнын өлшейді, бұл нүктелер бұлттының үш өлшемді көрінісін тудырады [24]. Нүкте негізді әдістің құрылымдық сұлбасы/математикалық моделі 3.1 - суретте көрсетілген. Сұлба бірнеше кезеңдерден құралады. Төменде әр құрылымға тоқталып өтемін.



3.1-сурет – Нүктеге негізделген үш өлшемді объектілерді анықтау әдістерінің құрылымдық сұлбасы/математикалық моделі

Іріктеу (Sampling) кезеңінде бастапқы нүкте бұлттынан әрі қарай өңдеу үшін нүктелердің ішкі жиыны таңдалады. Бұл есептеу күрделілігін азайту және ең ақпараттық сәттерге назар аудару үшін жасалады. Кездейсоқ іріктеу, торға негізделген іріктеу немесе ең алыс нүктеден іріктеу сияқты күрделі әдістер сияқты әртүрлі іріктеу стратегияларын қолдануға болады. 9-суретте көрсетілгендей үш іріктеу көрсетілген:

1) Ең алыс нүктеден іріктеу (Farthest Point Sampling) - лидар 3D нысандарын анықтауда қолданылатын танымал іріктеу стратегиясы. Ол таңдалған нүктелерден ең алыс нүктені итеративті түрде таңдау арқылы

нүктелер бұлтынан ең өкілді нүктелерді таңдайды. Бұл әрі қарай өңдеу үшін әртүрлі және біркелкі бөлінген нүктелер жиынтығын қамтамасыз етеді.

2) Сегменттеуге негізделген іріктеу (Segmentation-based Sampling) тәсілдері нүктелер бұлтын геометриялық немесе семантикалық қасиеттерге негізделген әртүрлі аймақтарға немесе объектілерге бөлуге бағытталған. Содан кейін өңдеудің келесі кезеңдері үшін әр сегменттің ішіндегі нүктелерді таңдауға болады.

3) Воксельге негізделген іріктеу (Voxel-based Sampling) үш өлшемді кеңістікті воксель торына бөледі және одан әрі өңдеу үшін әр воксельдің ішіндегі нүктелерді таңдайды. Бұл тәсіл сирек деректерді есептеуді және өңдеуді тиімді орындауға мүмкіндік беретін нүктелік бұлттың құрылымдық көрінісін қамтамасыз етеді.

Лидар 3D нысандарын анықтаудың нүктелік әдісі әртүрлі математикалық формулалар мен операцияларды қамтиды. Нақты формулалар іске асыру мен тәсілге байланысты өзгеруі мүмкін болса да, мұнда нүктелік әдістерде жиі қолданылатын математикалық ұғымдар мен формулалар берілген:

Екі нүкте арасындағы евклидтік қашықтық $P_1(x_1, y_1, z_1)$ және $P_2(x_2, y_2, z_2)$ 3.1 - формула бойынша анықталады:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (3.1)$$

Ең алыс нүктені таңдау алгоритмі таңдалған нүктелерден ең алыс орналасқан нүктені итеративті таңдауды қамтиды. P үміткерінің әр нүктесі үшін қашықтықты есептеу 3.4 - формула бойынша беріледі:

$$\text{distance}(P) = \min(\text{dist}(P, P_{\text{таңдалған}})) \quad (3.2)$$

Белгілерді зерттеу (Feature Learning): таңдамалы нүктелер анықталғаннан кейін, келесі қадам-осы нүктелерден маңызды белгілерді алу. Объектілерді зерттеу әдістері нүктелік бұлт деректерінен тиісті ақпаратты алу үшін қолданылады. Бұл нысандарға нүктелік координаттар, нормальдар және қисықтық сияқты геометриялық атрибуттар, сондай-ақ түс немесе қарқындылық сияқты қосымша дескрипторлар кіруі мүмкін. PointNet және оның нұсқалары нүктелік бұлт мүмкіндіктерін зерттеуге арналған танымал терең оқыту архитектурасы болып табылады. Белгілерді зерттеу келесідей тәсілдерден тұрады.

1) Жиын абстракциясы (Set Abstraction) - объектілерді зерттеудің нүктелік әдістерінде жиі қолданылатын әдіс. Ол нақты көрініс жасау үшін нүктелер жиынтығындағы ақпаратты біріктіреді. Бұған жергілікті және ғаламдық функцияларды зерттеу үшін максималды біріктіру, орташа біріктіру немесе pointnet сияқты нейрондық желілерді пайдалану сияқты операцияларды қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

2) Графикке негізделген тәсілдер нүктелер арасындағы байланысты график түрінде модельдейді. Нүктелер түйіндер түрінде, ал шеттер нүктелер арасындағы геометриялық немесе семантикалық байланыстарды бекітеді. Графикалық нейрондық желілерді (GNN) график құрылымының ерекшеліктерін зерттеу үшін пайдалануға болады.

3) Трансформатор: табиғи тілді өңдеуде өте сәтті болған трансформатор архитектуралары да нүктелік бұлт функцияларын зерттеуге бейімделуі мүмкін. Трансформатор моделі нүктелер арасындағы қатынастарды олардың жұптық өзара әрекеттесуін қарастыру және белгілерді алу үшін тиісті ақпаратқа назар аудару арқылы түсіреді.

Кандидаттарды генерациялау: объектілерді зерттеу кезеңі аяқталғаннан кейін үміткерлер нүктелік бұлттағы объектілердің ықтимал даналарын анықтау үшін жасалады. Бұл кластерлерді, сегменттерді немесе үміткер объектілерді қалыптастыру үшін ұқсас сипаттамалары бар нүктелерді топтастыруды қамтиды. Осы мақсатта DBSCAN немесе аймақты ұлғайту әдістері сияқты кластерлеу алгоритмдерін қолдануға болады.

Келесі болжау кезеңінде 3D нысандары үміткер нүктелер мен оларға сәйкес нысандар негізінде болжанады. Бұл объект класын бағалауды, сондай-ақ үш өлшемді шектеу шеңберінің параметрлерін (мысалы, центр координаттары, өлшемдері, бағдары) қамтиды. Болжамдарды үміткер объектінің ішіндегі бірнеше нүктелерден ақпаратты біріктіру және жіктеу және регрессия модельдерін қолдану арқылы жасауға болады.

Сұлбада көрсетілгендей C - кандидаттарды құру кезінде пайда болған кластерлердің немесе сегменттердің санын білдіреді. N - белгілерді зерттеу немесе Үміткерлерді құру сияқты әртүрлі есептеулерде ескерілетін жақын көршілердің санын білдіреді. M - үміткерді құру кезінде кластерді немесе сегментті қалыптастыру үшін қажетті нүктелердің минималды санына сәйкес келеді.

4 Тәжірибе және модельдеу нәтижелері

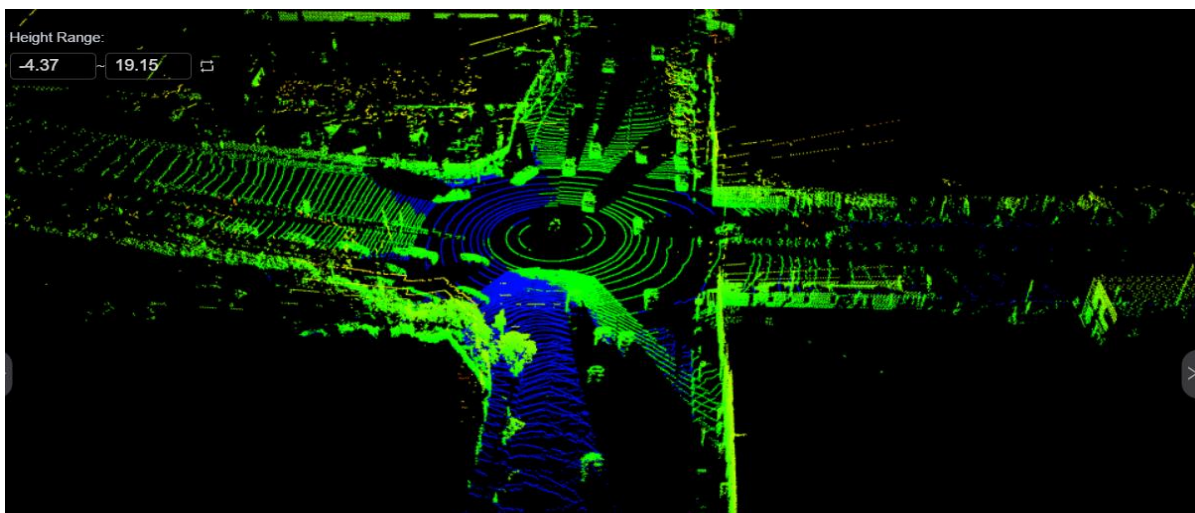
4.1 Нысандарды BasicAI платформасында өңдеу

BasicAI платформасында KITTI деректер жинағынан 16 кадр қолданып, лидар деректерін өңдеу кезеңдері бойынша нысандарды 3D анықтадым. 3D нысандарды анықтау үшін бірнеше деректер жинағы бар: Waymo [25], NuScenes [26], Kitti [27] және т.б.

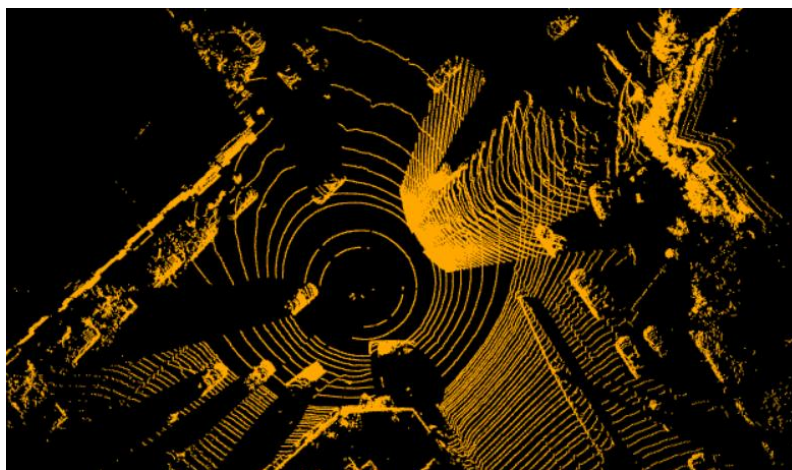
KITTI деректер жинағы - бұл лидар нүктелік бұлттына сәйкес 3D нысандарын анықтауды қоса алғанда, әртүрлі компьютерлік көру тапсырмаларын бағалау үшін кеңінен қолданылатын анықтамалық деректер жинағы [27]. Оны Карлсруэ технологиялық институты мен Чикагодағы Toyota технологиялық институты жинады.

3D нысандарын анықтауға арналған KITTI деректер жинағы бірнеше сенсорлармен жабдықталған жетек платформасынан алынған нақты деректерді қамтиды, соның ішінде ЛиДАР. Ол автомобильдер, жаяу жүргіншілер және велосипедшілер сияқты әртүрлі нысандар кластары үшін жоғары дәлдіктегі, тығыз үлгідегі нүктелердің 3D бұлттарын, сондай-ақ олармен байланысты аннотацияларды ұсынады.

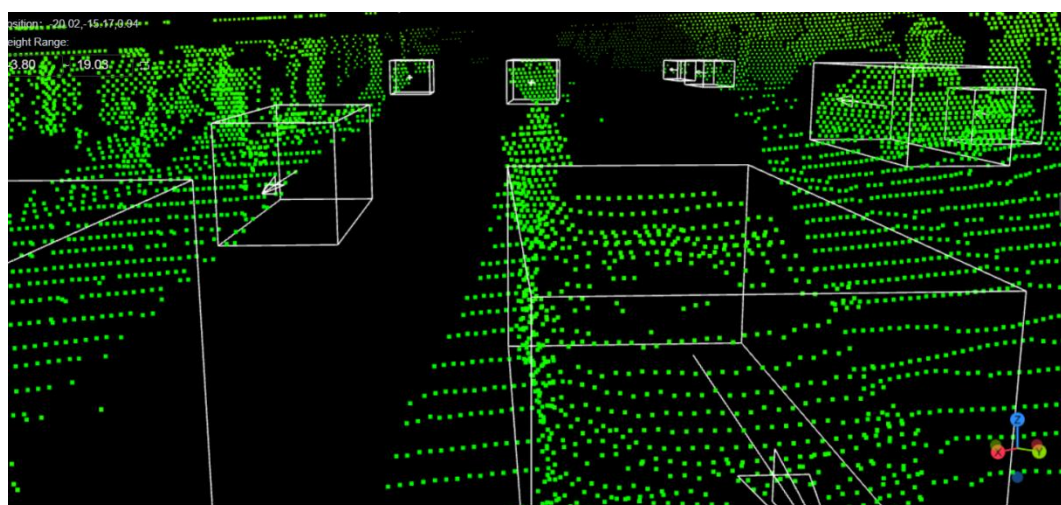
Өзін-өзі басқару көліктері үшін нысандардың 3 классын таңдадым: көлік, велосипедші, жаяу жүргінші. Ең алдымен өңделмеген (raw) деректерді платформаға салып, әр кадр бойынша оларды нүктелік бұлттарға түрлендірдім (4.1-сурет). Артық нүктелік бұлттарды алып тастап (4.2-сурет), негізгі нүктелерді белгілеп (4.3-сурет), нысан атауын (4.4 а,ә-суреттері) бердім. Содан кейін нысандарды сегменттеп (4.5-сурет), анықтау кезеңіне өттім (4.6-сурет).



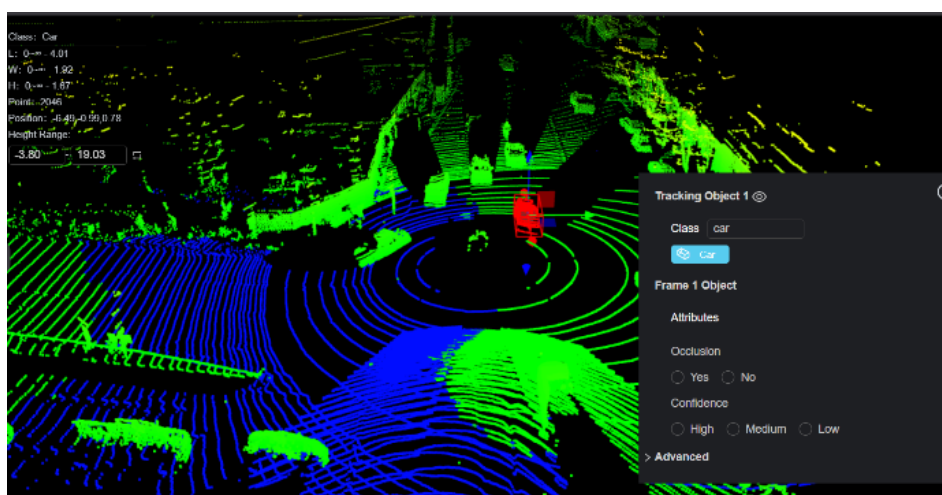
4.1-сурет – Кадр бойынша өңделмеген деректерді нүктелік бұлттарға түрлендіру



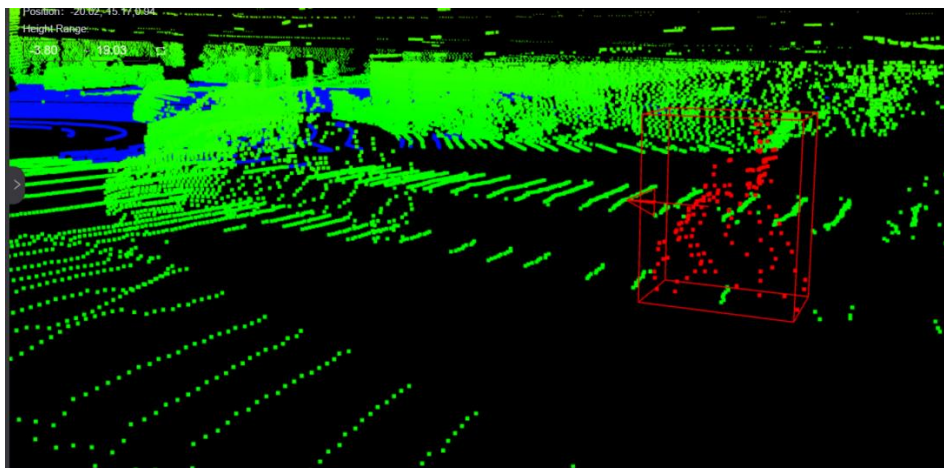
4.2-сурет – Артық нүктелік бұлттарды алып тастау



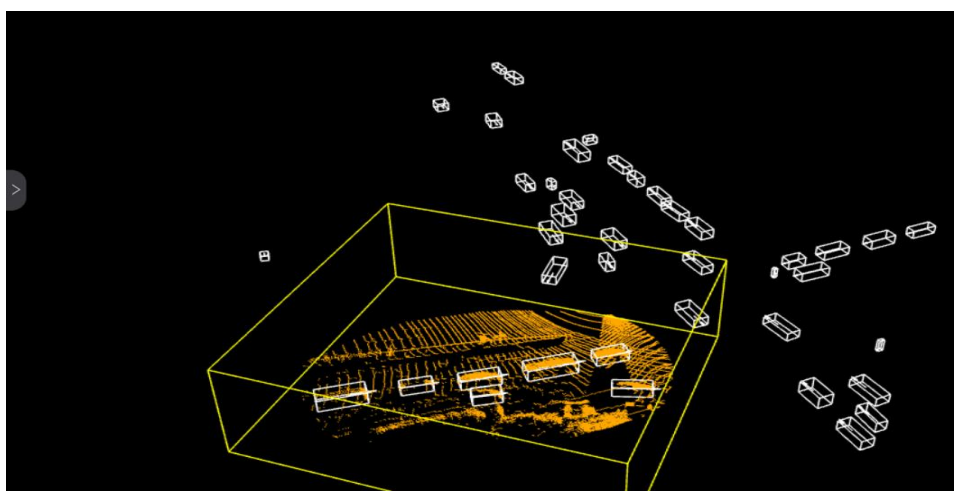
4.3-сурет – Нысандарды 3D белгілеу



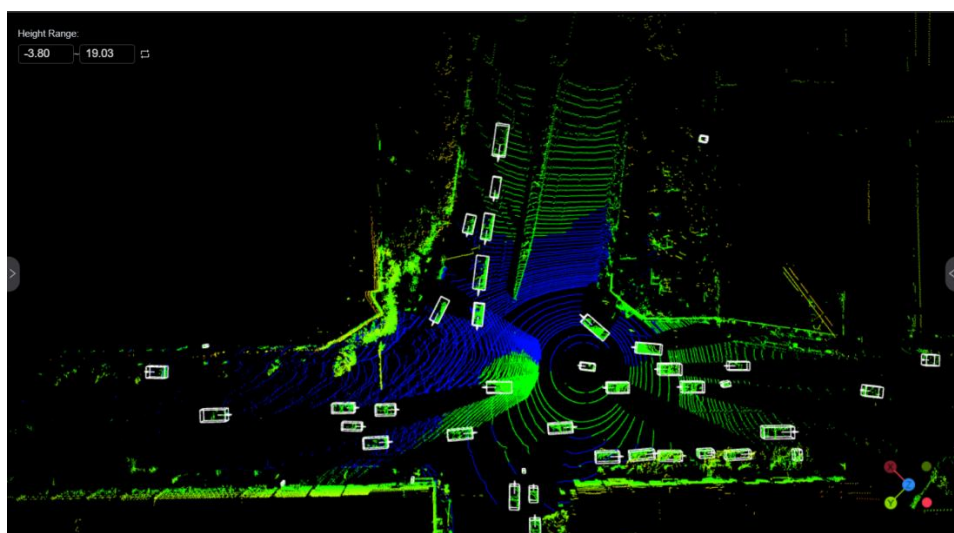
4.4 (a)-сурет – Нысандарды таңбалау: car



4.4 (ә)-сурет – Нысандарды таңбалау: bicycle



4.5-сурет – Нысандарды сегменттеу



4.6-сурет – Нысандарды анықтау

4.2 Бағалау көрсеткіштері

Бірлескен 3D моделі ретінде object detector бірнеше анықтау нәтижелерін шығарады, олардың әрқайсысында 3D қорап позициясы және сыныптың сенімділігін бағалау бар. 3D детекторын бағалау кезінде жіктеудің де, локализацияның да дәлдігін ескеру қажет. 2D анықтау жарыстарында және 3D анықтау сынақтарында ең жиі қолданылатын бағалау көрсеткіштері орташа дәлдік (mAP) біріктіру арқылы өту (IoU) кезінде шекті мәндер.

Біріктіру бойынша қиылысу кезіндегі шекті мәні бар орташа дәлдіктің орташа мәні:

$$mAP = \frac{1}{|C|} \sum_{c \in C} AP_c \quad (4.1)$$

Әдетте, ранжирленген анықтамалар анықтаудың шын оң (TP) – дұрыс анықтау немесе жалған оң (FP) – жалған анықтау екенін анықтау үшін шындықтың негізгі мәніне итеративті түрде тағайындалады. 3D болжау блогы мен жердегі деректердің 3D сенімділік блогы арасындағы біріктіру арқылы есептелетін 3D IoU объектінің орналасу дәлдігін өлшеу үшін, сондай-ақ анықтау жүйесінің жалпы өнімділігін бағалау үшін объектілерді TP және FP ретінде анықтау үшін қолданылады. Егер 3D IoU шекті мәннен асып кетсе, бұл анықтау TP, әйтпесе FP болып табылады.

Дәлдік - бұл барлық анықтаулардағы барлық дұрыс анықтаулардың (TP) үлесі:

$$p = \frac{N_{TP}}{N_{\text{барлық нысандар}}} \quad (4.2)$$

Ал шолу - бұл барлық негізгі шындықтардағы барлық дұрыс анықтаулардың (TP) үлесі:

$$p = \frac{N_{TP}}{N_{\text{негізгі шындық}}} \quad (4.3)$$

Біріктіру қиылысы (IoU - Intersection over Union) - 3D нысандарын анықтауды қоса алғанда, нысандарды анықтау тапсырмаларында кеңінен қолданылатын бағалау көрсеткіші. Ол болжамды шектеу жақтауы мен объектінің негізгі шынайы шектеу жақтауы арасындағы қабаттасуды өлшейді. IoU әсіресе объектінің локализациясының дәлдігін бағалау үшін пайдалы.

$$IoU = \frac{TP}{(TP+FP+FN)} \quad (4.4)$$

мұндағы FN - жалған теріс мәні.

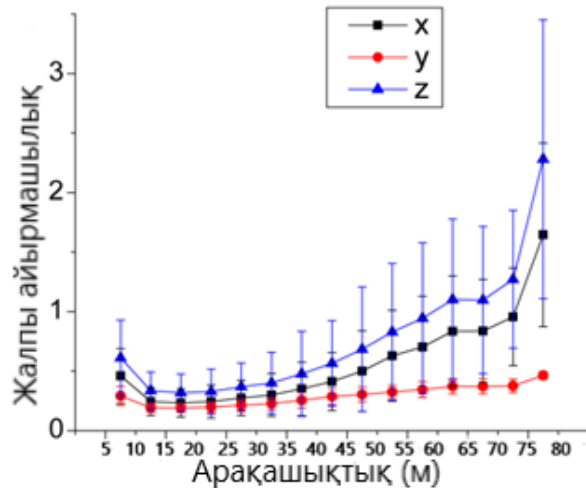
4.3 Нәтижелер және талдау

Әр кадр үшін көлік, велосипед, жаяу жүргінші нысандарының нүктелік бұлт негізінде анықталған сандары 4.1-кестеде көрсетілген.

Кесте 4.1 – Әр кадр үшін нысандар саны

Кадр саны	Көлік	Велосипед	Жаяу жүргінші
1	44	1	3
2	44	2	4
3	46	1	2
4	45	1	3
5	43	2	4
6	44	1	3
7	45	1	2
8	46	1	1
9	44	2	4
10	43	2	5
11	42	1	2
12	43	3	3
13	40	4	6
14	41	3	3
15	42	2	3
16	44	1	3

Нәтижелер бойынша тәуелділік графиктерін MatLab бағдарламасы арқылы алдым. 3D лидар көмегімен объектілерді анықтаған кезде үш өлшемді кеңістіктегі координаттарына негізделген осы элементтердің жалпы айырмашылығы мен арақашықтығының тәуелділік графигі 4.7-суретте көрсетілген. Бұл тұрғыда x , y және z координаттары үш өлшемді кеңістіктегі объектінің әрбір нүктесінің немесе компонентінің орнын білдіреді. Тәуелділік графигіндегі жалпы айырмашылық (Overall Variance) осы компоненттердің орталық позицияға немесе басқару нүктесіне таралуын немесе таралуын білдіреді. Ол объектінің әр түрлі нүктелерінің оның орташа немесе күтілетін позициясынан қаншалықты ауытқитынын көрсетеді. Қашықтық объектінің әртүрлі компоненттері арасындағы кеңістіктік бөлінуді өлшейді. Ол осы нүктелер арасындағы физикалық алшақтықты немесе жақындықты анықтайды.



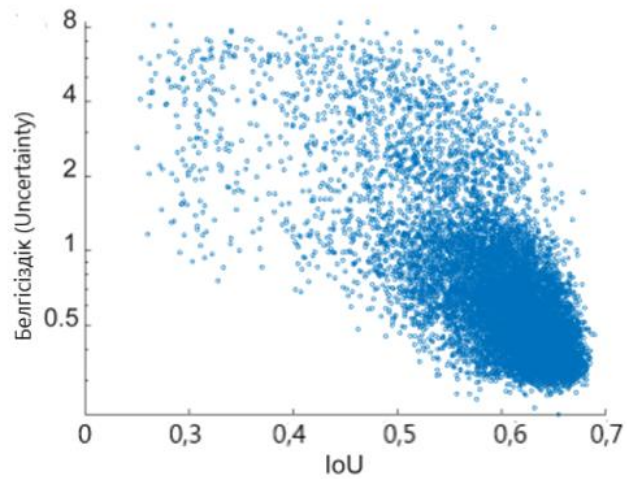
4.7-сурет – x, y, z координаттары бойынша жалпы айырмашылық мен нысандар қашықтығының тәуелділік графигі

Нысанды анықтау кезінде біріктіру қиылысының (IoU) мәндерін қолдана отырып, белгісіздік пен біріктіру қиылысының графигін 4.8-суретте көрсеттім.

Нысандардың үш класы: автомобиль, жаяу жүргінші және велосипед бойынша келесідей IoU мәндері алынды:

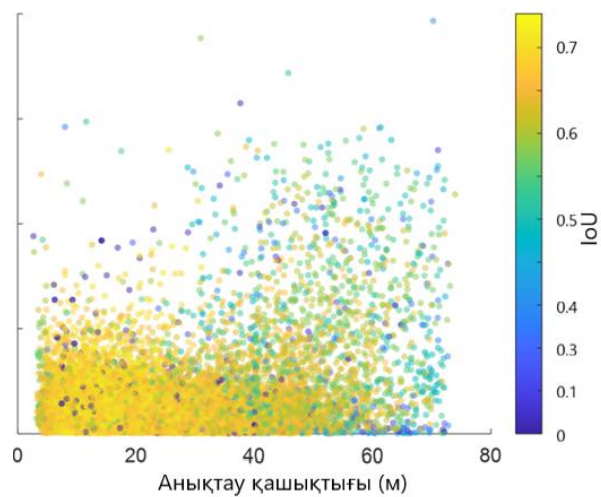
- Автомобиль: $IoU = 0,7$;
- Жаяу жүргінші: $IoU = 0,5$;
- Велосипед: $IoU = 0,5$;

Салыстырмалы түрде IoU мәндері дәл және сенімді анықтауды көрсетеді. Бұл автомобильдерді анықтауға байланысты белгісіздік басқа сыныптармен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен екенін көрсетеді. Екінші жағынан, жаяу жүргіншілер де, велосипедшілерде де IoU мәндері 0,5-ке тең, бұл жаяу жүргіншілер мен велосипедтерді анықтауға байланысты белгісіздік автомобильдер класымен салыстырғанда салыстырмалы түрде жоғары екенін көрсетеді.



4.8-сурет – Нысандарды анықтауда белгісіздік пен біріктіру қиылысының (IoU) мәндері бойынша тәуелділік графигі

IoU мәндері мен анықталған объект пен негізгі шынайы объект арасындағы қашықтық бойынша тәуелділік графигі 4.9-суретте көрсетілген.



4.8-сурет – Нысандарды анықтауда IoU мәндері мен анықталған объект пен негізгі шынайы объект арасындағы қашықтық бойынша тәуелділік графигі

5 Виртуалды түрде анықталған нысандарды VL53L0x лидар модулінің көмегімен объектілердің қашықтығын анықтау жобасы

VL53L0x - қашықтықты жоғары дәлдікпен өлшеу үшін пайдалануға болатын танымал лазерлік қашықтық өлшегіш ұшу уақыты сенсоры (ToF) модулі. Ол жарықтың қысқа импульстарын шығару үшін лазерлік диодты пайдаланады және жарықтың мақсатты нысанға және сенсорға қайта өтуіне кететін уақытты өлшейді (5.1-сурет) [28].

VL53L0x-тің кейбір негізгі ерекшеліктері мен сипаттамалары [29]:

- Әрекет принципі:
- VL53L0x модулі қашықтықты өлшеу үшін ұшу уақытын анықтау технологиясын қолданады.
- Ол лазерлік импульс шығарады және импульстің мақсатқа жетуіне және сенсорға оралуына кететін уақытты өлшейді.
- Жарық жылдамдығын біле отырып, модуль ұшу уақытын өлшеу негізінде қашықтықты есептейді.

Өлшеу диапазоны:

- VL53L0x нақты модельге және қоршаған орта жағдайларына байланысты бірнеше метрге дейінгі қашықтықты дәл өлшей алады.
- VL53L0x модулі үшін әдеттегі өлшеу диапазоны 2-ден 4 метрге дейін, кейбір модельдер осы диапазоннан тыс өлшеуге қабілетті.

Дәлдік және ажыратымдылық:

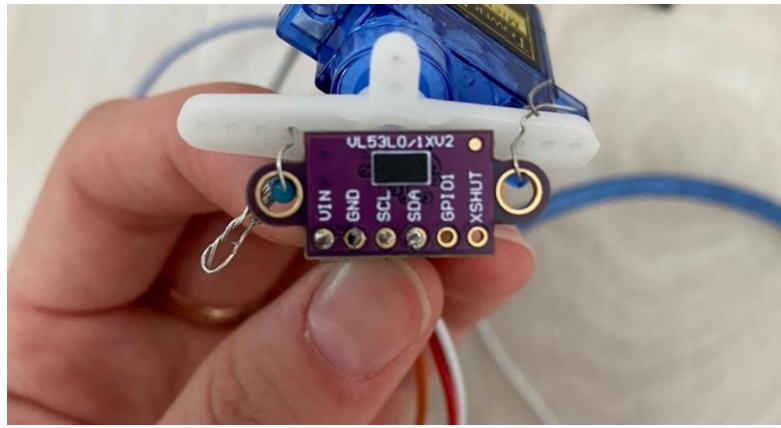
- VL53L0x қашықтықты өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді, әдетте миллиметрге дейін.
- Ол 1 мм-ге дейінгі ажыратымдылықты қамтамасыз етеді, бұл қашықтықты дәл өлшеуге мүмкіндік береді, тіпті қысқа қашықтықта да.

Көп аймақтық мүмкіндік:

- VL53L0x модулі оның көру аймағында қызығушылық тудыратын бірнеше аймақтардағы немесе аймақтардағы қашықтықты өлшей алады.
- Бұл мүмкіндік бір уақытта бірнеше нысандарды анықтауға және бақылауға немесе белгілі бір аймақтарды іріктеп өлшеуге мүмкіндік береді.

Қуат тұтыну:

- VL53L0x энергияны үнемдейтін етіп жасалған, бұл оны батареямен жұмыс істейтін немесе аз қуат тұтынатын қосымшаларға қолайлы етеді.
- Ол қолданбаның нақты талаптарына байланысты қуат тұтынуды оңтайландыру үшін әртүрлі қуат режимдерін ұсынады.



5.1-сурет – VL53L0x лазерлік қашықтық өлшегіш ToF модулі

5.1 - суретте көрсетілгендей VL53L0x модульдік сенсорында әртүрлі функцияларды орындайтын бірнеше пиндері бар:

1) VCC: бұл пин сенсор модуліне қуат беру үшін қолданылады. Бұл әдетте көрсетілген жұмыс диапазонындағы қуат кернеуін қажет етеді, ол әдетте 2,6 В-тан 3,5 в-қа дейін.

2) GND: GND пині жерге қосылған немесе қуат көзіндегі 0 В кернеуіне қосылған.

3) SCL: SCL сериялық сағатты білдіреді және I2C байланыс протоколы үшін пайдаланылады. ол микроконтроллердегі немесе деректерді беру үшін әзірлеу тақтасындағы сәйкес SCL түйреуішіне қосылады.

4) SDA: SDA сериялық деректерді білдіреді және ол I2C байланыс протоколы үшін де қолданылады. ол микроконтроллердегі тиісті SDA пінге немесе екі бағытты деректерді беру үшін әзірлеу тақтасына қосылады.

5) GPIO1: GPIO1-бұл әртүрлі мақсаттарда қолдануға болатын әмбебап енгізу / шығару шығысы. Ол сіздің жобаңыздың нақты талаптарына байланысты үзіліс сигналдары немесе триггер кірістері сияқты әртүрлі функциялар үшін конфигурациялануы мүмкін.

6) XSHUT: Xshut шығысы сенсорлық модульді өшіру немесе қосу үшін қолданылады. Оны VL53L0x Модулінің қуатын өшіру немесе қосу үшін микроконтроллер немесе әзірлеу тақтасы басқара алады.

Ұсынған жобамда қолданылған құралдар:

- Arduino UNO микроконтроллері;
- VL53L0x лазерлік ұшу уақыты сенсоры;
- OLED дисплейі;
- Сервомотор;
- Қосқыш сымдар.

Arduino Uno - Atmega328P микроконтроллеріне негізделген танымал микроконтроллер тақтасы (5.2-сурет). Ол қарапайымдылығына, қол жетімділігіне және қоғамдастықтың кең қолдауына байланысты электроника саласындағы әртүрлі жобаларды прототиптеу және құру үшін кеңінен

қолданылады. Arduino Uno-ның кейбір негізгі ерекшеліктері мен сипаттамалары:

- Микроконтроллер: Arduino Uno 16 МГц жиілікте жұмыс істейтін және 32 КБ флэш-жады, 2 КБ SRAM және 1 Кб EEPROM бар atmega328p микроконтроллеріне негізделген.

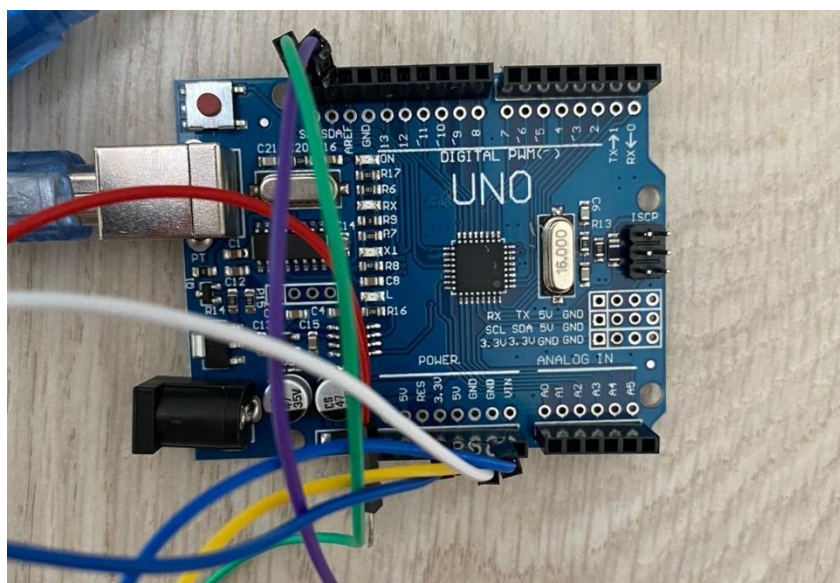
- Сандық енгізу-шығару түйреуіштері: Uno тақтасы әртүрлі сенсорларды, жетектерді және басқа компоненттерді қосу үшін 14 сандық енгізу-шығару түйреуіштерін (оның 6-сын PWM шығысы ретінде пайдалануға болады) қамтамасыз етеді.

- Аналогтық кірістер: оның Сенсорлардан немесе басқа құрылғылардан аналогтық сигналдарды оқу үшін пайдалануға болатын 6 аналогтық кіріс түйреуіштері бар.

- Байланыс интерфейстері: Arduino Uno компьютермен немесе басқа құрылғылармен оңай байланыс орнатуға мүмкіндік беретін USB қосылымы арқылы сериялық байланысты қолдайды. Ол сондай-ақ қосымша сериялық байланыс мүмкіндіктері үшін UART (әмбебап асинхронды қабылдағыш-таратқыш) аппараттық құралымен жабдықталған.

- Қуат көзі: Uno USB қосылымы арқылы немесе сыртқы қуат көзінен қуат ала алады. Ол сыртқы қуат көзі үшін кіріс кернеуінің кең диапазонын (әдетте 7-12 В) қолдайды.

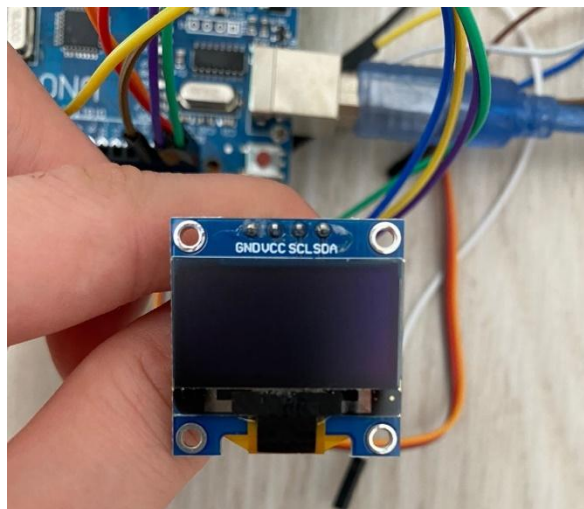
- Бағдарламалау: Arduino Uno кодты жазуға, құрастыруға және тақтаға жүктеуге ыңғайлы интерфейсті қамтамасыз ететін Arduino IDE (интеграцияланған даму ортасы) көмегімен бағдарламаланады. Ол C++ бағдарламалау тілінің жеңілдетілген нұсқасын қолданады [30].



5.2-сурет – Arduino Uno тақтасы

OLED дисплейі (Organic Light-Emitting Diode) - электр тогын беру кезінде жарық шығару үшін органикалық қосылыстарды пайдаланатын дисплей

технологиясының бір түрі (5.3-сурет). OLED дисплейлері жоғары контрастымен, кең көру бұрыштарымен және төмен қуат тұтынуымен танымал. Arduino көмегімен пайдаланылған кезде OLED дисплейі визуалды кері байланысты қамтамасыз етудің немесе жобаларыңызда ақпаратты көрсетудің пайдалы және компам әдісі бола алады.



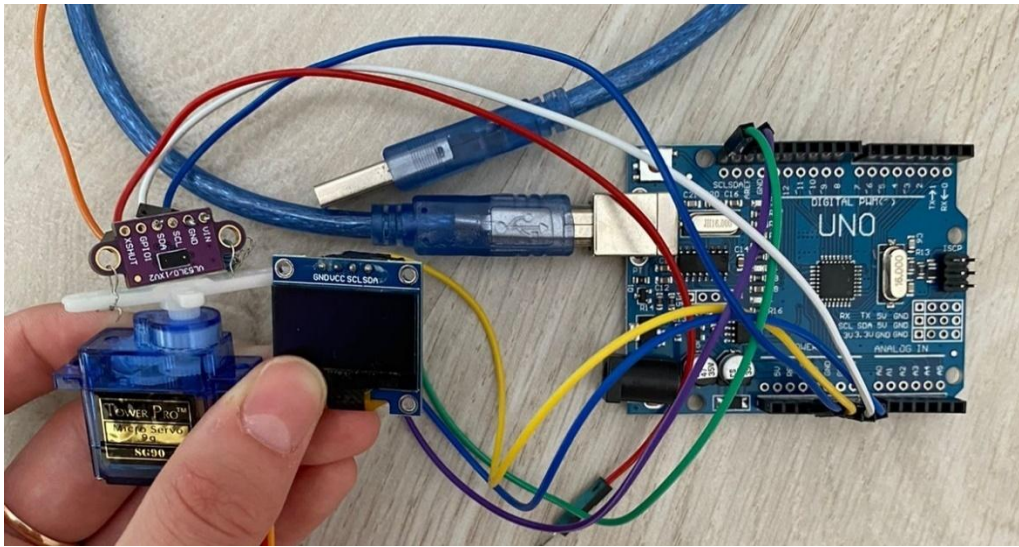
5.3-сурет – OLED дисплейі

Сервоқозғалтқыш - бұл Arduino жобаларында механикалық бөлшектердің орналасуын немесе қозғалысын басқару үшін жиі қолданылатын қозғалтқыш түрі (5.4-сурет). Ол белгілі бір диапазонда, әдетте 0-ден 180 градусқа дейін бұрылуға арналған және оны Arduino көмегімен оңай басқаруға болады.



5.4-сурет – 0-ден 180 градусқа дейін бұрылуға арналған сервоқозғалтқыш

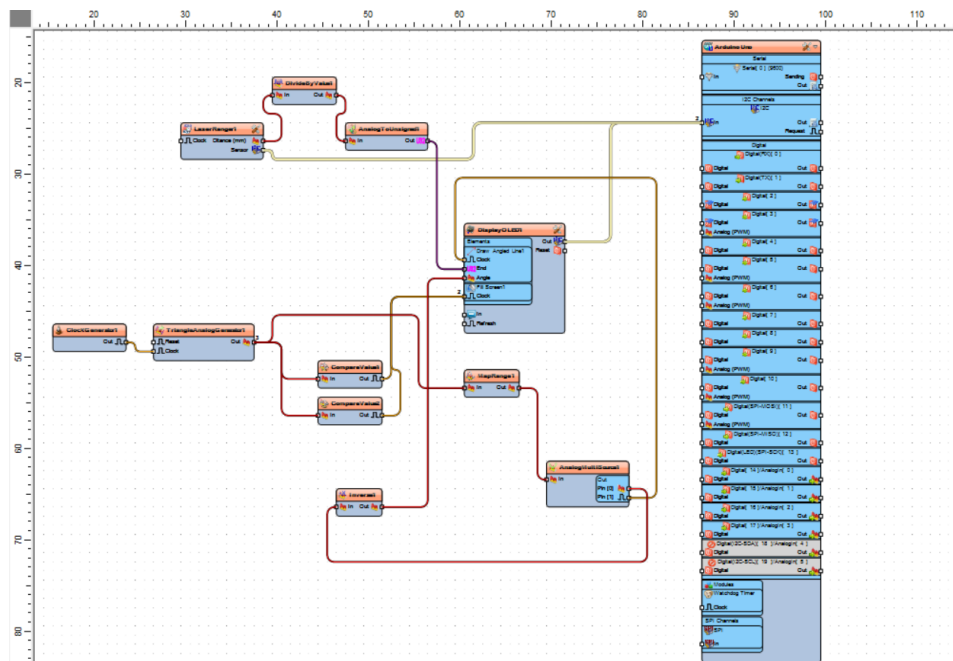
Бұл құралдар 5.5-суреттегідей бір-біріне жалғанады.



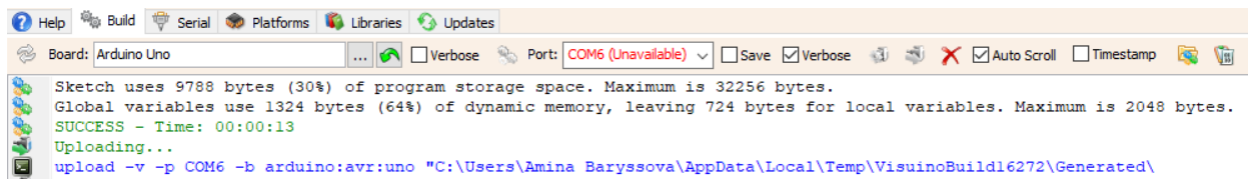
5.5-сурет – Объектілердің қашықтығын анықтау жобасының жалғануы

- OLED дисплей [VCC] пинін Arduino [5V] пиніне қостым;
- OLED дисплей [GND] пинін Arduino [GND] пиніне қостым;
- OLED дисплей [SDA] пинін Arduino [SDA] пиніне қостым;
- OLED дисплей [SCL] пинін Arduino [SCL] пиніне қостым;
- TimeofFlight [VCC] сенсорының пинін Arduino [3,3 V] пиніне қостым;
- TimeofFlight[GND] сенсорының пинін Arduino [GND]қостым;
- TimeofFlight[SDA] сенсорының пинін Arduino [SDA]қостым;
- TimeofFlight[SCL] сенсорының пинін Arduino [SCL]қостым;
- Серво қозғалтқышының «қызғылт сары» пинін Arduino сандық терминалына қостым;
- Серво қозғалтқышының «қызыл» пинін Arduino [5V] оң терминалына қостым;
- Серво қозғалтқышының «қоңыр» терминалын теріс Arduino [GND] терминалына қостым;

Visuino бағдарламасымен құралдарды бір-біріне электронды түрде жалғап (5.6, а-сурет), код шығарып, Arduino тақтасына жүктедім (5.6, ә-сурет).

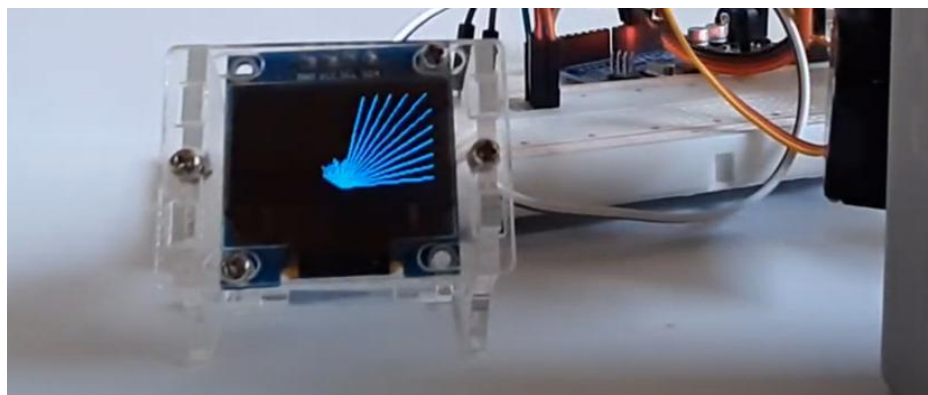


5.6 (а)-сурет – Visuino бағдарламасымен құралдарды бір-біріне жалғаудың құрылымдық сұлбасы



5.6 (ә)-сурет – Visuino бағдарламасымен құралдарды бір-біріне жалғап микроконтроллерге жүктеу

Нәтижесінде құрылғы іске қосылғаннан кейін лидар сенсоры модулі нысандарды қашықтық бойынша анықтады. Яғни алдына қандай да бір нысан қойған кезде дисплейдің нысан тұрған бөлігі қара болып кетеді (5.7-сурет).



5.7-сурет – Дисплейде нысанды қашықтық бойынша анықтауы

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста лидар датчиктерінен алынған деректерді қолдана отырып, өздігінен жүретін көліктерге арналған 3D нысандарды анықтау желілерін зерттеу қарастырылды. Зерттеу барысында 3D нысандарды әртүрлі сенсорлар көмегімен анықтау әдістеріне, соның ішінде лидар технологиясымен анықтау әдісіне шолу жасалынды. Лидар негізіндегі 3D нысандарын терең анықтау әдістері, соның ішінде нүкте негізді әдістің математикалық моделі талданды.

Лидар датчиктерінен алынған деректер өңделіп, нүктелік бұлт негізінде әр класс бойынша нысандар таңбаланып, анықталды. 3D нысандарды анықтау үшін нүкте негізді әдіс қолданылып, әдістің математикалық моделі қарастырылды. Анықталған үш классқа бағалау көрсеткіштері бойынша өлшемдер жүргізіліп, нәтижелер алынды. Соның ішінде IoU мәні анықталды: Автокөлік үшін 0,7; велосипед және жаяу жүргінші үшін 0,5 болды. Осы мәндер бойынша тәуелділік графиктері алынды.

VL53L0x лидар модулінің көмегімен виртуалды түрде анықталған нысандардың қашықтығын анықтаудың макеттік жобасы әзірленді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. <https://www.nytimes.com/2020/09/15/technology/uber-autonomous-crash-driver-charged.html>
2. <https://www.wired.com/story/teslas-latest-autopilot-death-looks-like-prior-crash/>
3. Shane Murray “ Autonomous Vehicle Radar Perception in 360 Degrees”. Nov 27, 2019
4. Castrillo, Vittorio Ugo, Angelo Manco, Domenico Pascarella, and Gabriella Gigante. 2022. "A Review of Counter-UAS Technologies for Cooperative Defensive Teams of Drones" Drones 6, no. 3: 65. <https://doi.org/10.3390/drones6030065>
5. Shohei Ogawa, Takanori Fukunaga, Suguru Yamagishi, Masaya Yamada and Takayuki Inaba, “76-GHz High-Resolution Radar for Autonomous Driving Support”, April, 2018
6. A. Manjunath, Y. Liu, B. Henriques and A. Engstle, "Radar Based Object Detection and Tracking for Autonomous Driving," 2018 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), Munich, Germany, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICMIM.2018.8443497.
7. Zhou Y, Liu L, Zhao H, López-Benítez M, Yu L, Yue Y. Towards Deep Radar Perception for Autonomous Driving: Datasets, Methods, and Challenges. Sensors. 2022; 22(11):4208. <https://doi.org/10.3390/s22114208>
8. Li, P., Chen, X., & Shen, S. (2019). Stereo r-cnn based 3d object detection for autonomous driving. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 7644-7652).
9. Salmane PH, Rivera Velázquez JM, Khoudour L, Mai NAM, Duthon P, Crouzil A, Pierre GS, Velastin SA. 3D Object Detection for Self-Driving Cars Using Video and LiDAR: An Ablation Study. Sensors. 2023; 23(6):3223. <https://doi.org/10.3390/s23063223>
10. F. Reway, A. Hoffmann, D. Wachtel, W. Huber, A. Knoll and E. Ribeiro, "Test Method for Measuring the Simulation-to-Reality Gap of Camera-based Object Detection Algorithms for Autonomous Driving," 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Las Vegas, NV, USA, 2020, pp. 1249-1256, doi: 10.1109/IV47402.2020.9304567.
11. Fujiyoshi H., Hirakawa T., Yamashita T. Deep learning-based image recognition for autonomous driving //IATSS research. – 2019. – Т. 43. – №. 4. – С. 244-252.
12. M. Schutera, M. Hussein, J. Abhau, R. Mikut and M. Reischl, "Night-to-Day: Online Image-to-Image Translation for Object Detection Within Autonomous Driving by Night," in IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, vol. 6, no. 3, pp. 480-489, Sept. 2021, doi: 10.1109/TIV.2020.3039456.
13. Wang, Y., Chao, W. L., Garg, D., Hariharan, B., Campbell, M., & Weinberger, K. Q. (2019). Pseudo-lidar from visual depth estimation: Bridging the gap in 3d object detection for autonomous driving. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 8445-8453).

14. X. Zhao, P. Sun, Z. Xu, H. Min and H. Yu, "Fusion of 3D LIDAR and Camera Data for Object Detection in Autonomous Vehicle Applications," in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 9, pp. 4901-4913, 1 May1, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.2966034.
15. Marcus Hammer, Marcus Hebel, Martin Laurenzis, and Michael Arens "Lidar-based detection and tracking of small UAVs", Proc. SPIE 10799, Emerging Imaging and Sensing Technologies for Security and Defence III; and Unmanned Sensors, Systems, and Countermeasures, 107990S (4 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2325702>
16. Y. Wu, Y. Wang, S. Zhang and H. Ogai, "Deep 3D Object Detection Networks Using LiDAR Data: A Review," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 2, pp. 1152-1171, 15 Jan.15, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2020.3020626.
17. R. Sahba, A. Sahba, M. Jamshidi and P. Rad, "3D Object Detection Based on LiDAR Data," 2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), New York, NY, USA, 2019, pp. 0511-0514, doi: 10.1109/UEMCON47517.2019.8993088.
18. Alaba, Simegnew Yihunie, and John E. Ball. 2022. "A Survey on Deep-Learning-Based LiDAR 3D Object Detection for Autonomous Driving" Sensors 22, no. 24: 9577. <https://doi.org/10.3390/s22249577>
19. Bai, L.; Zhao, Y.; Huang, X. Enabling 3D Object Detection with a Low-Resolution LiDAR. IEEE Embed. Syst. Lett.2022, 1.<https://doi.org/10.1109/LES.2022.3170298>.
20. Pei Sun, Weiyue Wang, Yuning Chai, Gamaleldin Elsayed, Alex Bewley, Xiao Zhang, Cristian Sminchisescu, Dragomir Anguelov; "RSN: Range Sparse Net for Efficient, Accurate LiDAR 3D Object Detection". Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2021, pp. 5725-5734. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.13365>
21. Yan, L., et al.: Rtl3d: real- time lidar- based 3d object detection with sparse CCN. IET Comput. Vis. 14(5), 224–232 (2020). <https://doi.org/10.1049/iet-cvi.2019.0508>
22. So-Young Park, Dae Geon Lee, Eun Jin Yoo, and Dong-Cheon Lee; "Segmentation of LiDAR Data Using Multilevel Cube Code". Volume 2019 | Article ID 4098413 | <https://doi.org/10.1155/2019/4098413>
23. <https://www.mathworks.com/help/lidar/segmentdetectlabel.html>
24. Mao, J., Shi, S., Wang, X., & Li, H. (2023). 3D object detection for autonomous driving: A comprehensive survey. International Journal of Computer Vision, 1-55.
25. Sun, P., Kretschmar, H., Dotiwalla, X., Chouard, A., Patnaik, V., Tsui, P., ... & Anguelov, D. (2020). Scalability in perception for autonomous driving: Waymo open dataset. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 2446-2454).
26. Caesar, H., Bankiti, V., Lang, A. H., Vora, S., Liong, V. E., Xu, Q., ... & Beijbom, O. (2020). nuscenes: A multimodal dataset for autonomous driving. In

Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 11621-11631).

27. Behley J., Milioto A., Stachniss C. A Benchmark for LiDAR-based Panoptic Segmentation based on KITTI //2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – IEEE, 2021. – C. 13596-13603.

28. Gutierrez-Villalobos, J. M., Dimas, T. V., & Mora-Vazquez, J. C. (2017, May). Simple and low cost scanner 3D system based on a Time-of-Flight ranging sensor. In 2017 XIII International Engineering Congress (CONIIN) (pp. 1-5). IEEE.

29. Laković, N., Brkić, M., Batinić, B., Bajić, J., Rajs, V., & Kulundžić, N. (2019, March). Application of low-cost VL53L0X ToF sensor for robot environment detection. In 2019 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH) (pp. 1-4). IEEE.

30. Hidayanti, F., Rahmah, F., & Wiryawan, A. (2020). Design of motorcycle security system with fingerprint sensor using arduino uno microcontroller. International Journal of Advanced Science and Technology, 29(05), 4374-4391.

РЕЦЕНЗИЯ
Дипломдық жұмыс

Барысова Әмина Ниетқызы
6B06201 - Телекоммуникация

Тақырыбына: «LiDAR датчиктерін қолдана отырып нысандарды терең
3D анықтау желілерін зерттеу».

Орындалды:

- а) графикалық бөлім 41 парақ;
б) түсініктеме 5 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Берілген бітіру жұмысында LiDAR датчиктерінен алынған деректерді қолдана отырып, өздігінен жүретін көліктерге арналған 3D нысандарды анықтау желілерін зерттеу қарастырылады. Дипломдық жұмыс 5 бөлімнен тұрады. Алғашқы бөлімде 3D нысандарды әртүрлі сенсорлар көмегімен анықтау әдістеріне, соның ішінде 3D нысандарды лидар технологиясымен анықтауға байланысты соңғы жылдардағы зерттеулерге терең шолу жасалынған. Екінші бөлімде лидар датчиктерінен алынған деректерді дайындау және алдын ала өңдеу кезеңдері қарастырылды. Үшінші бөлімде ұсынылған нүкте негізіндегі 3D нысанды анықтау әдісінің математикалық моделі келтірілген. Тәжірибе нәтижелері бағалау көрсеткіштері бойынша талданған. Соңғы бөлімде VL53L0x лидар модулінің көмегімен виртуалды түрде анықталған нысандардың қашықтығын анықтау жобасы әзірленген.

Графикалық және мәтіндік материалдар МСТҚ талабына сәйкес жазылған.

Бұл дипломдық жоба жоғарғы оқу орындарының талаптарына сай жеткілікті жоғарғы дәрежеде жазылған, алынған нәтижелер – 3D нысандарды анықтау жүйесін құру және талдау технологияларындағы ғылыми бағытқа жауап береді.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жалпы, дипломдық жобаға "95" (өте жақсы) деген баға, ал студент Барысова Әмина Ниетқызы 6B06201 – Телекоммуникация мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавры» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Рецензент

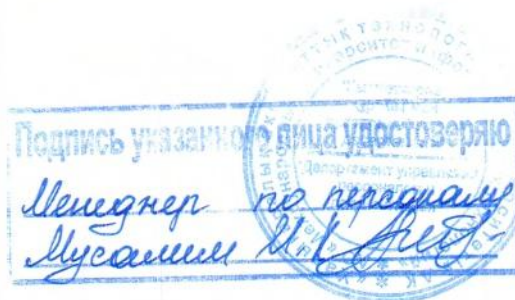
Халықаралық IT университеті

т.ғ.к., қауымдастырылған профессоры

 Л. Илипбаева

«13» 06 2023 ж.

Ф КазҰТУ 704-24. Рецензия



«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ғылыми жетекшінің пікірі

Дипломдық жұмыс

Барысова Әмина Ниетқызы

6B06201- «Телекоммуникация» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: **LiDAR датчиктерін қолдана отырып нысандарды терең 3D анықтау желілерін зерттеу.**

Технологияның үздіксіз дамуымен өздігінен жүретін көліктерге деген сұраныстың артуымен, соңғы уақытта автономды көліктерге бірнеше қатысты қайғылы оқиғалар тіркелген. Мұндай қайғылы оқиғалар 3D нысандарын анықтау мүмкіндіктерін үнемі жетілдірудің маңыздылығын көрсетеді. Лидар датчиктерін әзірлеу және біріктіру өздігінен жүретін көліктердің қабылдау дәлдігі мен сенімділігін арттыруға, апаттар қаупін азайтуға және жалпы қауіпсіздікті арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты нысан ретінде көлік, велосипед, жаяу жүргіншілерді тандап, әртүрлі жағдайларда оларды сенімді түрде анықтайтын және бақылай алатын жүйені әзірлеу және нысандарды анықтау үшін LiDAR технологиясын пайдалануды зерттеу болып табылады.

Дипломдық жұмыс бес бөлімнен тұрады. 3D нысандарды әртүрлі сенсорлар көмегімен анықтау әдістеріне, соның ішінде 3D нысандарды лидар технологиясымен анықтауға байланысты соңғы жылдардағы зерттеулерге терең шолу жасалынған. Екінші бөлімде лидар сенсорының жұмыс принципі, оның диапазоны мен сканерлеу принципі зерттеліп талданған. Сондай-ақ, лидар деректерін дайындау, алдын-ала өңдеу, таңбалау және сегменттеу этаптары қарастырылған. Үшінші бөлімде ұсынылған нүкте негізіндегі 3D нысанды анықтау әдісінің математикалық моделі келтірілген. Соңғы бөлімде VL53L0x лидар модулінің көмегімен виртуалды түрде анықталған нысандардың қашықтығын анықтау жобасы әзірленген.

Дипломдық жұмысты жазу барысында Барысова Әмина өзінің еңбекқорлығы мен жоғары жауапкершілікке ие қасиетімен берілген тапсырмаларды уақытылы, дұрыс, тиянақты орындап отырды.

Жалпы дипломдық жұмысты "95/А/ өте жақсы", деп бағалап, ал студент Барысова Әмина Ниетқызы 6B06201-Телекоммуникация мамандығы бойынша «бакалавр» біліктілігіне сай деп есептеймін.

Ғылыми жетекші

ЭТЖТ каф. аға оқытушысы

Сейдалиева У.О.

2023 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Барысова Әмина Ниетқызы

Тақырыбы: LiDAR датчиктерін қолдана отырып нысандарды терең 3D анықтау желілерін зерттеу

Жетекшісі: Улжалгас Сейдалиева

1-ұқсастық коэффициенті (30): 7.7

2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.9

Дәйексөз (35): 2.7

Әріптерді ауыстыру: 4

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 14

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілісін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні 1.06.2023

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Барысова Эмина Ниетқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: LiDAR датчиктерін колдана отырып нысандарды терең 3D анықтау желілерін зерттеу

Научный руководитель: Улжалгас Сейдалиева

Коэффициент Подобия 1: 7.7

Коэффициент Подобия 2: 2.9

Микропробелы: 14

Знаки из других алфавитов: 4

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 1.06.2023

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Барысова Эмина Ниетқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: LiDAR датчиктерін колдана отырып нысандарды терең 3D анықтау желілерін зерттеу

Научный руководитель: Улжалгас Сейдалиева

Коэффициент Подобия 1: 7.7

Коэффициент Подобия 2: 2.9

Микропробелы: 14

Знаки из других алфавитов: 4

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

1.06.2023
Дата

Марсаева С. А.
проверяющий эксперт