

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

Ханкелдиева Гулнара Эркиновна

Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін
жасау

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 681.5

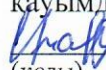
Қолжазба құқығында

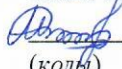
Ханкедиева Гулнара Эркиновна

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы	Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау
Дайындау бағыты	7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

Ғылыми жетекші
PhD, қауымдас. профессор
 Абжапаров К.А.
(қолы)
« 09 » 06 2025 ж.

Рецензент
АЭЖБУ IT-инженеринг
кафедрасының PhD,
қауымдас. профессоры
 Иманбекова У. Н.
(қолы)
« 16 » 06 2025 ж.

Норма бақылаушы
техн. ғыл. магистрі
 Манатов Қ. А.
(қолы)
« 09 » маусым 2025 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
АжБ кафедра меңгерушісі
техн. ғыл. канд.

 Сарсенбаев Н.С.
(подпись)
« 15 » 06 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

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

Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар институты

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

7М07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

БЕКІТЕМІН

АжБ кафедра меңгерушісі
техн. ғыл. канд.

Сарсенбаев Н.С.

«16» 06 2025 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант Ханкелдиева Г. Э.

Тақырыбы «Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау»

Б.Жаутиковтың «04» желтоқсан 2023ж. № 548-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі «__» _____ 2025 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау.

Магистрлік диссертацияда әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

- а) технологиялық бөлімнің сипаттамасы;
- ә) мобильді роботтың кинематикалық модельдерін құру;
- б) кедергілерді айналып өту алгоритмдерін әзірлеу;
- в) мобильді роботтың прототипін әзірлеу.

График материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

МР кинематикалық схемасы және басқару алгоритмдері

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

1 Ханкелдиева Г., Абжапаров К. Разработка алгоритма обхода стационарных препятствий мобильным роботом в замкнутом пространстве // Труды междунар. науч.-практ. конф. «Satbayev International Conference 2024. Интеграция науки и технологий: путь к устойчивому развитию». Алматы, 2024. – С. 1018–1023.

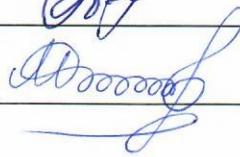
2 Бейсембаев А. А., Әсембай А. Ә. Формализованное описание и алгоритм построения компоновочной схемы роботизированного технологического комплекса // Вестник КазНУ. 2017. № 3 (121). – С. 557–563.

3 Klančar G., Zdešar A., Blažič S., Škrjanc I. Wheeled Mobile Robotics: From Fundamentals Towards Autonomous Systems. – Ljubljana: University of Ljubljana, 2016. – 502 p.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, зерттеп дайындалатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Теориялық бөлім Мобильді роботты басқару алгоритмдерін талдау	06.05.2024 ж	
Технологиялық бөлім Мобильді роботтың кинематикалық модельдерін есептеу	15.01.2025 ж	
Технологиялық бөлім Мобильді роботты жабық кеңістікте басқару алгоритмін әзірлеу	20.02.2025 ж	
Конструкторлық бөлім Мобильді роботтың прототипін әзірлеу	25.04.2025 ж	

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған
қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Технологиялық бөлім	Абжапаров К. А. PhD, қауымдас. профессор	09.06.2025	
Практикалық бөлім	Абжапаров К. А. PhD, қауымдас. профессор	09.06.2025	
Норма бақылаушы	Манатов Қ. А. техн. ғыл. магистрі	09.06.2025	

Ғылыми жетекші


қолы

Абжапаров К. А.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды


қолы

Ханкелдиева Г. Э.

Күні

«12» 12 2023 ж.

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертацияда жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасалды. Басқару алгоритмдеріне, яғни МР басқарудың классикалық және эвристикалық алгоритмдеріне талдау жасалды. Козғалысты бағдарлау жүйесі қарастырылды.

Голономды емес механикалық жүйелердің қозғалыс теңдеулері және олардың матрицалық формалары қарастырылды. Мобильді роботтың кинематикалық теңдеулері құрастырылып, MatLab Simulink ортасында бұрыштық және сызықтық жылдамдықтарының уақытқа тәуелділік графиктері модельденді.

Мобильді роботтың басқару алгоритмдері құрастырылды. Сондай-ақ, мобильді роботтың прототипі әзірленді. ATmega328P микроконтроллеріне негізделген плата Arduino Uno арқылы бағдарламалық код енгізілді.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской диссертации разработан алгоритм обучения мобильного робота с целью обнаружения препятствий в замкнутом пространстве. Проведен анализ алгоритмов управления, включая классические и эвристические методы управления мобильными роботами. Рассмотрена система навигации для управления движением.

Исследованы уравнения движения неголономных механических систем и их матричные формы. Составлены кинематические уравнения мобильного робота, а также смоделированы графики зависимости угловой и линейной скоростей от времени в среде MATLAB Simulink.

Разработаны алгоритмы управления мобильным роботом. Также был создан прототип мобильного робота. Программный код был загружен с использованием платы Arduino Uno, основанной на микроконтроллере ATmega328P.

ANNOTATION

This master's thesis presents the development of a training algorithm for a mobile robot aimed at detecting obstacles in a confined space. An analysis of control algorithms was carried out, including classical and heuristic approaches for mobile robot control. A motion guidance system was considered.

The equations of motion for non-holonomic mechanical systems and their matrix forms were examined. The kinematic equations of the mobile robot were formulated, and time-dependent graphs of angular and linear velocities were simulated in the MATLAB Simulink environment.

Control algorithms for the mobile robot were developed. A prototype of the mobile robot was also created. The program code was uploaded using an Arduino Uno board based on the ATmega328P microcontroller.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Теориялық бөлім	9
1.1 Мобильді роботтарға шолу	9
1.2 Мобильді роботтарды басқару алгоритмдерін талдау	15
1.3 Мобильді роботтарды басқарудың классикалық алгоритмдері	18
1.4 Мобильді роботтарды басқарудың эвристикалық алгоритмдері	23
1.5 Мобильді роботтардың қозғалысын бағдарлау жүйесі	25
1.6 Голономды емес механикалық жүйелердің қозғалыс теңдеулері және олардың матрицалық формалары	30
2 Технологиялық бөлім	35
2.1 Мобильді роботтардың кинематикалық моделдері	35
2.2 Мобильді роботты басқару алгоритмдері	40
3 Мобильді роботтың прототипін құрастыру	45
3.1 Arduino Uno платформасы	45
3.2 Sensor Shield v5.0 платасы	47
3.3 L298N микросхемасы негізіндегі қозғалтқыш драйверінің модулі	49
3.4 HC-SR04 ультрадыбыстық қашықтық өлшегіш	51
3.5 SG90 сервожетек	52
3.6 18650 формасындағы литий-ионды аккумулятор және батарея ұясы	54
3.7 Редукторлы тұрақты ток қозғалтқышы	55
3.8 Мобильді робот құраушыларының қосу схемасы	54
Қорытынды	59
Пайдаланған әдебиеттер тізімі	60
А Қосымшасы	62

КІРІСПЕ

Робототехника саласының қолданыс ауқымы өскен сайын, сан түрлі робот түрлері, оның ішінде робот манипуляторлар, автономды мобильді роботтар пайда болуда.

Мақсаттық тапсырманың кең ауқымын қателіксіз, сәтті орындау үшін мобильді роботтар қойылған жоспарлау мен автоматты түрде өздігінен енгізілген алгоритм бойынша орындауымен қатар ұтқырлыққа да ие болуы қажет. Олардың ерекшелігі – стационарлық кедергілер мен жылжымалы объектілер, яғни динамикалық кедергілер болып саналатын өзгеде роботтармен, соқтығысуының алдын ала отырып, белгісіз сыртқы ортада қойылған мақсаттық тапсырманы орындау мүмкіндігі.

Кез келген қызмет салаларында мобильді роботтар жүк көтеру және тасымалдау жабдықтарын алмастыра алады. Адамның қатысуынсыз жұмыс істей алатын роботтар өнімділікті арттырып, күрделі шығындарды тез өтей алады.

Қазіргі уақытта мобильді роботтар арқылы көптеген операцияларды шешуді қамтамасыз ететін басқару алгоритмдерін әзірлеу барысында зерттеулер жүргізілуде, мысалы: кедергілерді айналып өту алгоритмдерін жоспарлау, мүмкіндік шектеулі, жету қиын аймақтарға ену, күрделі траекториялар бойынша дәл қозғалыс және тағы басқа қосымша зерттеулер мобильді роботтардың басқада түрлері адам қызметінің әртүрлі саласында.

Мақсаты: Магистрлік диссертацияның мақсаты мобильді робот қозғалыс кеңістігіндегі кедергілерді нақты әрі тиімді анықтайтын алгоритм жоспарлау және оларды айналып өту мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау.

Өзектілігі: Өнеркәсіп, қоймалар, медицина және тіпті үй шаруашылығы сияқты әртүрлі салалар күннен-күнге дамып келе жатқандықтан, мобильді роботтарды қолдану аясы кеңейіп келеді және оларды қолданудың тиімді әдістерін табу үшін мобильді роботтарды басқару алгоритмдерін жасау қажет. Бұл алгоритм арқылы біз жабық кеңістікте қозғалатын мобильді роботтардың қозғалысын бақылай және басқара аламыз. Мобильді роботтардың негізгі міндеттерінің бірі-қоршаған ортада сенімді және тиімді қозғалу. Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау робот пен оның қоршаған ортасының қауіпсіздігін қамтамасыз етудің маңызды бөлігі болып табылады. Оқыту алгоритмін әзірлеу роботқа өзгеретін ортаға бейімделуге мүмкіндік береді. Бұл мобильді роботтың икемділігі мен әмбебаптығын және оның әртүрлі жағдайларда тапсырмаларды орындау қабілетін арттырады.

Негізгі тапсырмалар:

- Мобильді роботтың кинематикалық модельін құру.
- Кедергілерді анықтау, роботқа кедергілердің әртүрлі түрлерін дәл тануға және жіктеуге мүмкіндік беретін алгоритм жасау.

- Қашықтықтар мен өлшемдерді бағалау, бұл роботқа кедергілерге дейінгі қашықтықты және олардың айналасында жүру немесе қозғалу туралы шешім қабылдау үшін олардың өлшемдерін бағалауға мүмкіндік береді.
- Мобильді роботтың прототипін құру.

1 ТЕОРИЯЛЫҚ БӨЛІМ

1.1 Мобильді роботтарға шолу

«Робот» сөзі поляк тілінен аударғанда «жұмыс» деген мағына береді. Белгілі Чех жазушысы Карел Чапек «робот» сөзін күнделікті өмірде қолданысқа енгізіп, оны "R.U.R." деп аталатын алғаш ғылыми фантастикалық пьесада қолданды. "R.U.R." – Россумның әмбебап роботтары дегенді білдіреді. Пьесадағы роботтар – жасанды адамдар, оларды қазіргі андроидтармен салыстыруға келеді. Пьеса үлкен жетістікке жетіп, «робот» сөзі әлемнің көптеген тілдерінде күндегікті өмірде қолданысқа енді[1].

Мобильді робототехника – қазіргі таңда ең қарқынды дамып келе жатқан ғылыми зерттеулер саласы. Мобильді роботтардың мүмкіндіктерінің арқасында адамдардың орнында көптеген салада қызмет ете алады. Мысалы, мұнай-химиялық өңдеу саласы, мұражай гидтері, медициналық қызмет көрсету, өндірістік автоматтандыру, құрылыста, авариялық-құтқару сынды көптеген салаларда қолданысқа ие.

Мобильді роботтар өнеркәсіптік кәсіпорындарда, зертханаларда автономды түрде, сыртқы операторлардың көмегінсіз қозғала алады. Егер робот тапсырманы орындау үшін қабылдау жүйесін қолдана отырып, қажетті әрекеттерді анықтай алатын болса, онда ол автономды болып табылады. Сондай-ақ роботты құрайтын барлық ішкі жүйелерді үйлестіру үшін басқару жүйесі қажет[2].

Мобильді робототехника негіздері қозғалыс, қабылдау, тану және навигация. Қозғалыс мәселелері оның механизмін, кинематикасы мен динамикасын, басқару теориясын түсіну арқылы шешіледі. Мобильді роботтардың қозғалысы олардың бастжергілікті мәселесі ретінде қарастырылады. Мобильді роботтар (МР) әдетте өндірістік ортада, қоймаларда, бақыланатын ортада қозғалғанымен, басқа да төтенше жағдайларда қолайсыз ортада қозғалысқа дайын болуы қажет.

Роботтың қозғалу жүйесі МР жобалаудың маңызды аспектілерінің бірі болып табылады. Ол МР қозғалатын ортаға (жер бетінде, су астында, ауада) ғана емес, сондай-ақ ептілік, басқару мүмкіндігі, тиімділік және тұрақтылық сияқты техникалық критерийлерге байланысты болады. Осыған байланысты роботтар жүре алады, секіреді, жүгіреді, домалайды, жүзеді және ұша алады.

Қозғалыс жүйесіне сәйкес мобильді роботтарды келесідей негізгі санаттарға бөлінеді:

- стационарлы: манипулятор;
- жергілікті: дөңгелекті жылжымалы, қадамды, шынжыр табанды сырғанау, гибридті.
- әуеде;
- су астында.

Стационарлық робот – манипуляторлар мен өнеркәсіптік роботтар мысал бола алады. Роботтың негізі бекітілген және олар ашық кинематикалық тізбектен тұрады. Объектілерді өңдеп қана қоймай, бояу, дәнекерлеу, құрастыру сияқты тапсырмаларды орындай алатын арнайы құралдары бар атқарушы орган. Маңызды стационарлы роботтық жүйелер – бұл ұстау құрылғылары. Өңдеудің маңызды бөлігі ұстау және осыған байланысты бұл құрылғыларды екі топқа бөлуге болады: құралдар мен протездер. Уақыт өте келе ұстау құрылғылары өнеркәсіпте, ауыл шаруашылығында сияқты көптеген салаларда қолданысқа ие болды[2].

Жергілікті роботтардың өзі бірнеше түрге бөлінеді солардың бірі – дөңгелекті мобильді роботтар. Дөңгелектер роботтардың қозғалыс жүйесінің маңызды бөлігі, ал автономды интеллектуалды жүйелер үлгіні тану, сигналдар мен кескіндерді өңдеу принциптеріне негізделген мобильді робототехниканы зерттеудің күрделі саласының бір бөлігі. Олар логистика және транспорт саласында маңызды рөлге ие. Роботтарды жобалау кезінде дөңгелектерді қолдану тиімдірек. Ондай мобильді роботтар басқада қозғалыс жүйесі бар роботтармен салыстырғанда арзан, әрі оларды бағдарламалау оңай. Дөңгелектерді басқару онша күрделі болып келмейді және олар басқа шешімдермен салыстырғанда қозғалатын беттің тозуын азайтады. Тағы бір артықшылығы – олар тепе-теңдікті жақсы сақтайды және бұл тұрғыда аса бір қиындық тудырмайды. Дөңгелекті роботтардың кемшілігі, олар кедір-бұдыр жерде, үйкеліс аз жерлерде қозғала алмайды[2].

Дөңгелектердің төрт негізгі түрі бар:

- стандартты бекітілген дөңгелек, әдетте еркіндік дәрежесі бірге тең, дөңгелек өз осының айналасында ғана айналады. Кинематикасы қарапайым, дифференциалды басқару қолданылғандықтан жоғары дәлдікке ие;

- айналмалы дөңгелек, еркіндік дәрежесі екіге тең, тік ось бойымен қозғала алады. Бағытты инерция бойынша немесе тікелей бұру арқылы өзгертеді;

- Швед дөңгелектері (Swedish wheel) еркіндік дәрежесі үшке тең, жетекші дөңгелектердің айналасында, жанасу нүктесі мен роликтерге қатысты айналады;

- Шар немесе сфералық дөңгелек, кез-келген бағытта қозғалысқа ие. Қозғалысты белсенді басқару және тұрақтандыру қажеттілігіне байланысты іс жүзінде жүзеге асыру техникалық жағынан күрделі.

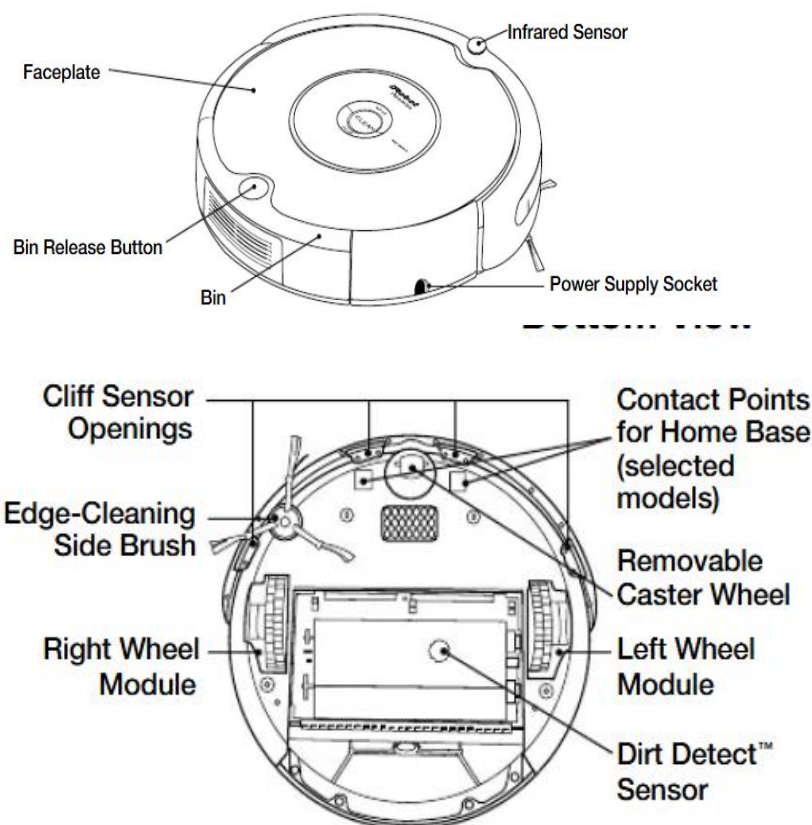
Дөңгелекті мобильді роботтарды зерттеуде тұрақтылық, маневрлік және басқару мәселелері қарастырылады. Тұрақтылық әдетте дөңгелекті роботтар үшін үлкен мәселе емес, себебі олар әрдайым дерлік дөңгелектері жермен жанасып тұратындай етіп жасалады. Тұрақты тепе-теңдікті қамтамасыз ету үшін кемі үш дөңгелек жеткілікті. 1.1 - кестеде МР дөңгелектерінің түріне байланысты салыстырмалы кесте келтірілген.

Кесте 1.1 – МР дөңгелектерінің түрлерін салыстыру кестесі

Дөңгелектің түрі	Еркіндік дәрежесі	Қозғалыс бағыты	Артықшылығы	Кемшілігі
Стандартты бекітілген дөңгелек	1	Алға, артқа	Дизайнның қарапайымдылығы; Жоғары сенімділік; Құны төмен.	Бір қырымен қозғалыстың болмауы; Шектеулі маневр.
Айналмалы дөңгелек	2	Алға, артқа, бұрылыс	Маневрлік; Қолданыста қарапайымдылығы.	Жоғары жылдамдықта тұрақтылықты жоғалтуы; Бұрылу бұрышын нақты бақылау мүмкіндігі жоқ.
Швед дөңгелектері (Swedish wheel)	3	Кез-келген бағытта (алға, артқа, диагональ бойынша, айналмалы)	Жоғары маневрлік; Жан-жақты ұтқырлық.	Құрылысының күрделілігі; Басқарудағы қиындық; Құны жоғары.
Сфералық дөңгелек	3	Кез-келген бағытта (360°)	Максималды қозғалыс еркіндігі. Қозғалыстың бір қалыптылығы.	Іске асыру күрделілігі; Күрделі басқару жүйесі мен датчиктердің қажеттілігі.

Бір дөңгелекті роботтарда бекітілген бір дөңгелектеріі болады. Олардың тұрақты күйін қамтамасыз ету үшін бойлық және көлденең тұрақтылықты басқару қажет.

Екі дөңгелекті роботтарда екі бірдей параллель дөңгелектері бар, олар бір-біріне тәуелсіз екі жетекпен басқарылады. Әр дөңгелек жерге қатысты перпендикуляр болады. Мұндай роботтарға Roomba (1.1 - сурет) шаңсорғышы мобильді робототехникаға жақсы мысал бола алады. Олар алдыңғы жағындағы байланыс сенсорын және жоғарғы жағындағы инфрақызыл сенсорды пайдаланады. Roomba шаңсорғышы кедергілер мен қабырғаларды анықтау үшін Light Touch Vamper технологиясын пайдаланады, бұл оған бағытты өзгертпес бұрын кедергілерді сыртқы корпусымен ақырын жанап өтеді. Roomba шаңсорғышы өте күңгірт немесе қара түсті кедергілерді немесе ені екі дюймнен аз нысандарды сезінуі және оларды айналып өту тиімділігі төмен болып келеді[2].



1.1 - сурет – Roomba шаңсорғышы [3]

Үш дөңгелекті роботтар – олардың екі түрін ажыратуға болады: біріншісі дифференциалды басқару, тепе-теңдікті сақтау үшін қосымша еркін айналатын жетекші екі дөңгелегі бар, екіншісі жетекші дөңгелекпен басқарылатын екі дөңгелек және үшінші дөңгелек үшін жетек рулы бар.

Төрт дөңгелекті аналогтармен салыстырғанда тұрақты болып келеді, себебі ауырлық центрі төрт дөңгелектен құралған тіктөртбұрыштың ішінде орналасады.

Бес дөңгелекті роботтар ашық ауада тегіс емес жерлерде қозғалуға арналған, себебі олар тұрақтылықты жақсартады.

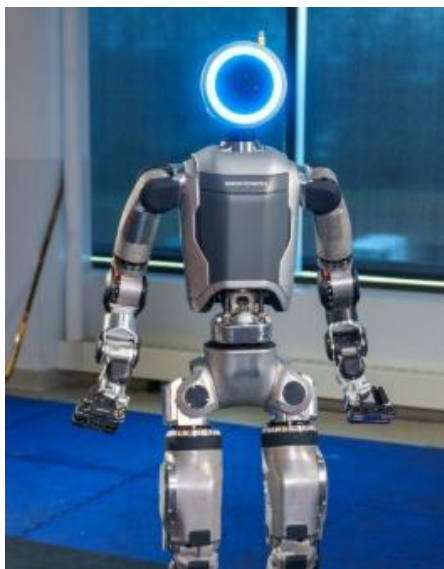
Қадамды мобильді роботтар – қозғалыстың тағы бір кең таралған түрі. Әдетте дөңгелектерге қарағанда қымбатырақ болғанымен, аяқтар дөңгелектерге қарағанда біршама артықшылықтарға ие. Соның бірі – олардың көлденең қимасы мен тиімділігі, сонымен қоса олардың жұмсақ және тегіс емес беттерде қозғалуы, энергия тиімділігі. Бұл роботтардың қоршаған ортадағы кедергілерді айналып өту алгоритмдері айтарлықтай артықшылығы болып табылады. Аяқтарының санына байланысты бұл роботтарда бірнеше түрге бөлінеді, соның ішінде кең таралғаны екі аяқты гуманоидтар мен төрт аяқтылары. Бұл роботтардың басты мәселесі тұрақтылық, себебі дене тепе-теңдігін сақтай отырып қозғалу өте маңызды. Тұрақтылықтың екі түрі бар: статикалық және динамикалық. Статикалық тұрақтылық – бұл реакция

күштеріне ұшыраған жағдайда конфигурацияны сақтай алу мүмкіндігі. Динамикалық тұрақтылық реакция күштеріне де, инерциялық күштерге де ұшыраған жағдайда тік тұра алу қабілеті.

Екі аяқты немесе адам тәрізді роботтар – гуманоидтар. Адамның мүмкіндіктерін қайталай алу үшін олар сенсорларды жақсы қолданады, олар жүре алады, сөйлей алады, адамның эмоцияларын қайталай алады. Соңғы онжылдықта адам тәрізді роботтардың жүру және сөйлеу қабілеті айтарлықтай жақсарды, ал ойлау қабілеті әлі де әлсіз тұсы болып тұр.

Екі аяқты роботтардың қозғалысы динамикалық тұрақтылыққа байланысты. Олар жүре алады, жүгіре алады, баспалдақпен көтеріле алады, секіреді, тіпті сальто жасай алатындары да бар. Бұл роботтардың қозғалысы күрделі болып табылады, себебі аяқтар кішкентай және үнемі динамикалық тепе-теңдікті сақтап тұруы керек. Соның салдарынан бір орында тұруын басқару күрделі процедураларды талап етеді. Автономды қозғалысты білдіретін гуманоидты роботтар келесідей модульдерден тұрады: қоршаған ортаны бақылауға негізделген жергілікті жолды жоспарлау, берілген геометриялық ақпаратты пайдалана отырып, жолды жоспарлау, қадамдарды жоспарлау және қозғалысты жоспарлаушы.

Гуманоидтар адам өлшеміндегі толық екі аяқты роботтардан бастап, оқшауланған роботты қолдарға дейін жіктеледі. Бұл роботтардағы негізгі новигацияның бірі объектілерді ұстау және өңдеу, қадамдарды есептеп орналасу және бүкіл дененің қозғалысы сияқты маңызды функцияларды ескеру маңызды. Дөңгелекті роботтардан ерекшелігі, гуманоидты роботтар кедергілерден өту немесе аулақ жүрудің ерекше қабілетіне ие. Сенімді екі аяқты роботтар соңғы жылдарда ғана қолданысқа енді[2].



1.2 - сурет – Boston Dynamics ұсынған Atlas роботы

Бұл роботтарға жақсы бір мысал ретінде Boston Dynamics ұсынған Atlas роботын қарастырайық. Atlas гуманоидты роботы (1.2 - сурет) бірсарынды бірнеше қимылдарды жасай алады. Ол жүгіреді, еңбектейді билей алады, сонымен қоса дөңгелек жасай алады. Робот бұл дағдыларды анимация деректеріне негізделген күшейту жаттығуларының арқасында игерді. Бұл жобаны Boston Dynamics робототехника және жасанды интеллект институты ROI бірлесе отырып жүзеге асырды[4].

Гуманоидты роботтар адамдарға жеке көмек үшін, денсаулық сақтау, ойын-сауық, автомобиль өндірісі желісінде, білім беру саласында кеңінен қолданысқа ие. Жасанды интеллект алгоритмдерімен жасалған гуманоидты роботтарды пайдалану ғарышты зерттеу саласында да қауіпті тапсырмаларды орындауда қолданыста.

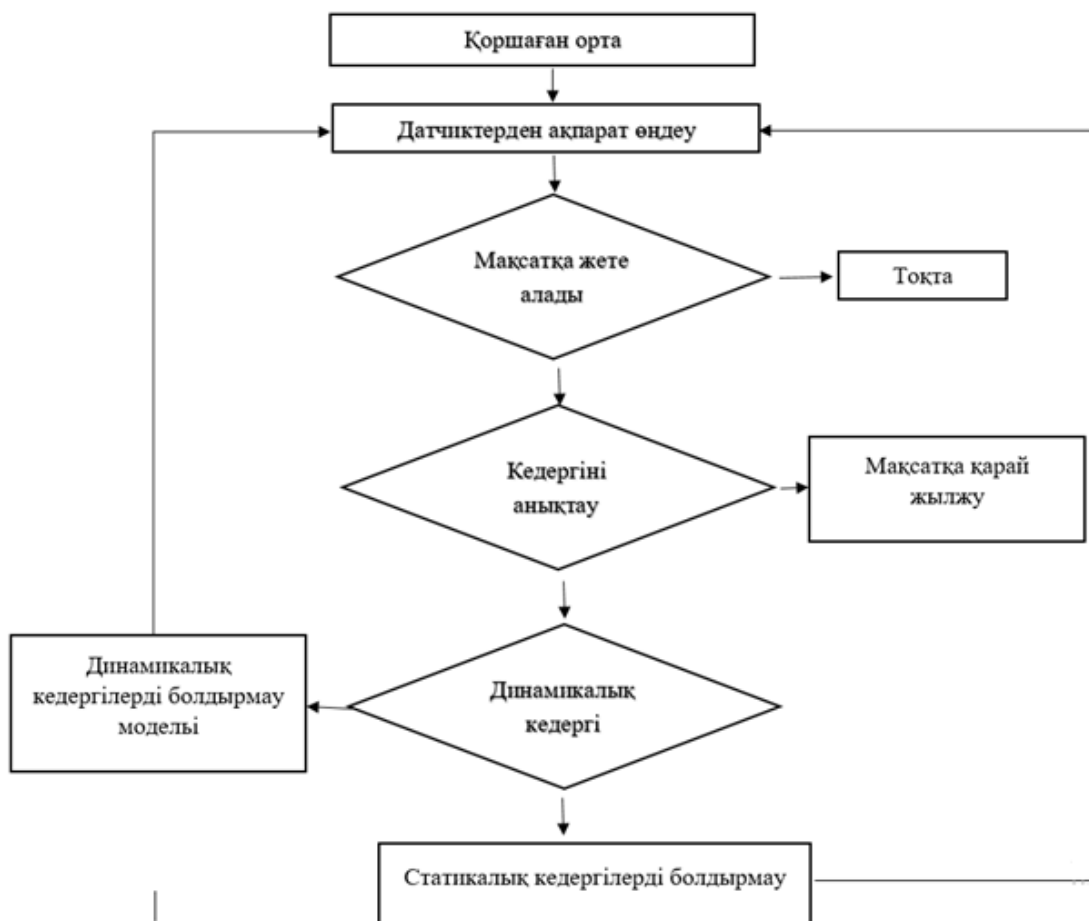
1.2 Мобильді роботтарды басқару алгоритмдерін талдау

Автономды мобильді роботтар – өз ортасында еркін қозғалып, өздігінен шешім қабылдай алатын құрылғылар. Олар датчиктермен және кірістірілген жүйелермен жабдықталады. Бұл оларға картография, навигация және кедергілерді анықтау сынды қоршаған орта туралы ақпараттар алуға мүмкіндік береді. Кедергілермен соқтығыспай қозғалу автономды роботтардың жұмысының маңызды бөлігі, себебі бұл олардың қоршаған ортада тиімді әрі қауіпсіз қозғалуына мүмкіндік береді. Кедергілермен соқтығыспай қозғалу алгоритмдері соқтығыстарды азайтып, роботтың мақсаттық нүктеге жетуіне және тапсырмаларды орындауына көмектеседі. Осылайша, кедергілермен соқтығыспай қозғалу автономды жүйелердің сенімді және нәтижелі қызметінің бөлігіне айналады.

Алгоритмдерді жіктеудің бір тәсілі – классикалық және эвристикалық әдістерге бөлу. Мұндай жіктеу алгоритмдердің қолданысын түсінуді жеңілдетеді. Мысалы, Дейкстра алгоритмі кішігірім анықталған мәселелер үшін тиімді, ал эвристикалық A^* алгоритмі үлкен әрі күрделі мәселелерде жылдам нәтиже береді. Сонымен қатар, глобальді және жергілікті іздеу алгоритмдерінің арасында нақты шекара болмайды: эвристикалық A^* және терең оқытуға негізделген әдістердің екі нұсқасы бар.

Жаһандық маршрутты жоспарлауда роботты басқару қоршаған орта туралы мәліметтер алдын ала енгізіледі, олар бастапқы нүктеден межелі жерге дейінгі траекторияны есептеу үшін роботты жоспарлау жүйесіне жүктеледі. Бұл әдіс толық маршрутты жасайды робот қозғалысын бастамас бұрын, маршрутты біртіндеп оңтайландыруды талап етеді. Жаһандық маршрутты жоспарлау роботты бастапқы нүктеден мақсатты жерге жылжытудың ең жақсы әдісін саналы түрде анықтайды. Жаһандық маршрутты жоспарлау кезінде робот бастапқы нүктеден мақсатты жерге көшіріліп, содан кейін аталған ортаға шығарылады. Керісінше, жергілікті маршрутты жоспарлау алгоритмі кедергілер мен нақты уақыттағы өзгерістерге бейімделетін динамикалық немесе белгісіз жағдайларда роботты басқаруды қамтиды. Бұл әдіс, ең алдымен, қауіпсіз навигацияны қамтамасыз ету үшін датчиктерден алынған деректерді пайдалана отырып, нақты уақыттағы кедергілерді айналып өтуге бағытталады.

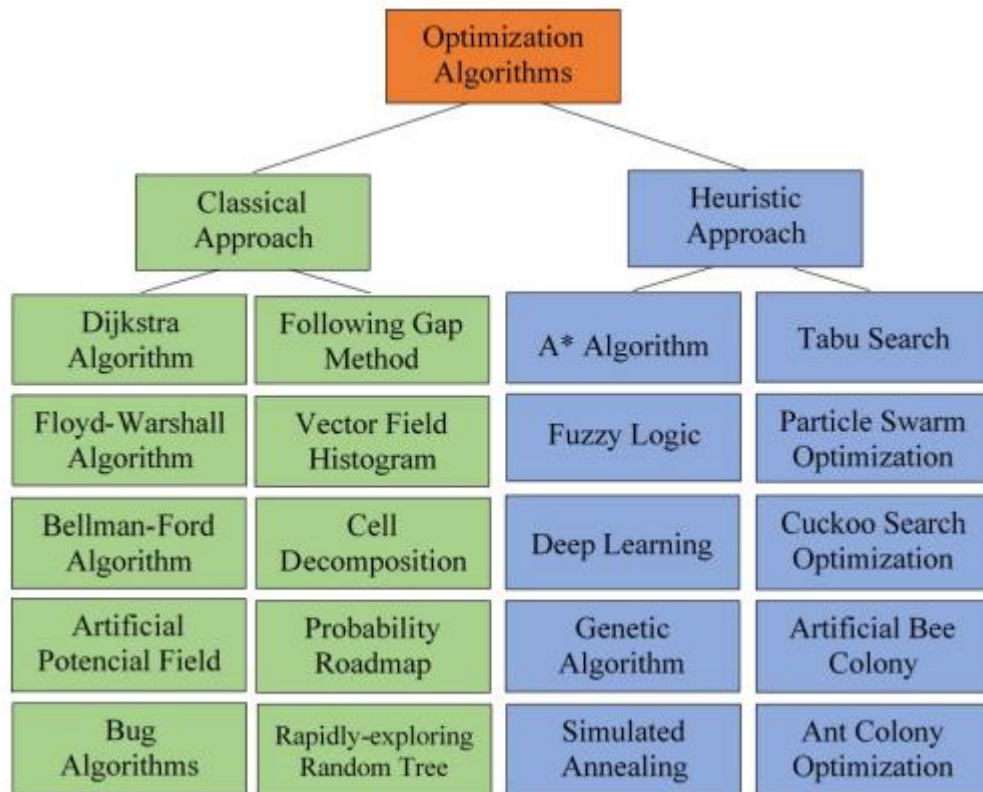
Әдетте робот кедергіге тап болғанға дейін басынан мақсаттық нүктеге дейін ең қысқа түзу жолмен жүреді. Кедергі анықталған жағдайда ол осы жолдан ауытқып, мақсатқа жаңа қашықтық және кедергіні айналып өту нүктесі сияқты маңызды деректерді жаңартады. Роботқа қатысты мақсаттың орнын үнемі білу 1.3 - суретте көрсетілгендей алгоритммен дәл навигация үшін маңызды[5].



1.3 - сурет – Кедергілермен соқтығыспау процедурасы

Кедергілерді болдырмаудың классикалық және эвристикалық алгоритмдері бойынша жіктеу алгоритмдерді таңдау мен қолдануды неғұрлым ашық және басқарылатын етеді (1.4 - сурет). Пайдаланушылар қай алгоритм берілген мәселенің талаптарына ең жақсы сәйкес келетінін оңай анықтай алады. Dijkstra сияқты классикалық алгоритмдер кішігірім детерминирленген есептер үшін жақсы жұмыс істейді, ал A* сияқты эвристикалық алгоритмдер үлкенірек және күрделі мәселелер үшін тиімдірек болуы мүмкін. Сонымен қатар, ғаламдық және жергілікті іздеу алгоритмдерінің арасындағы айырмашылық онша айқын емес. Эвристикалық алгоритмдер бар (мысалы, A* немесе DL негізіндегі алгоритмдер), олардың екі нұсқасы да бар іздеу алгоритмі. Алгоритмдердің келесі бір тобы оңтайландыру әдістері деп аталады. Бұл математикалық процедуралар мен алгоритмдер берілген есептің ең жақсы шешімін табуға бағытталған шектеулер бар. Оңтайлы шешім, әдетте, әртүрлі шектеулерді немесе шарттарды ескере отырып, объективті функцияның мәнін барынша арттыратын немесе азайтатын бір немесе бірнеше айнымалылардың мәндерінің жиынтығы болып табылады. Бұл әдістер үйірге (популяцияға) негізделген деп аталады, өйткені олар жануарлардың мінез-құлқынан шабыттандырады. Әдетте, жеке тұлғалардың кейбір популяциясы

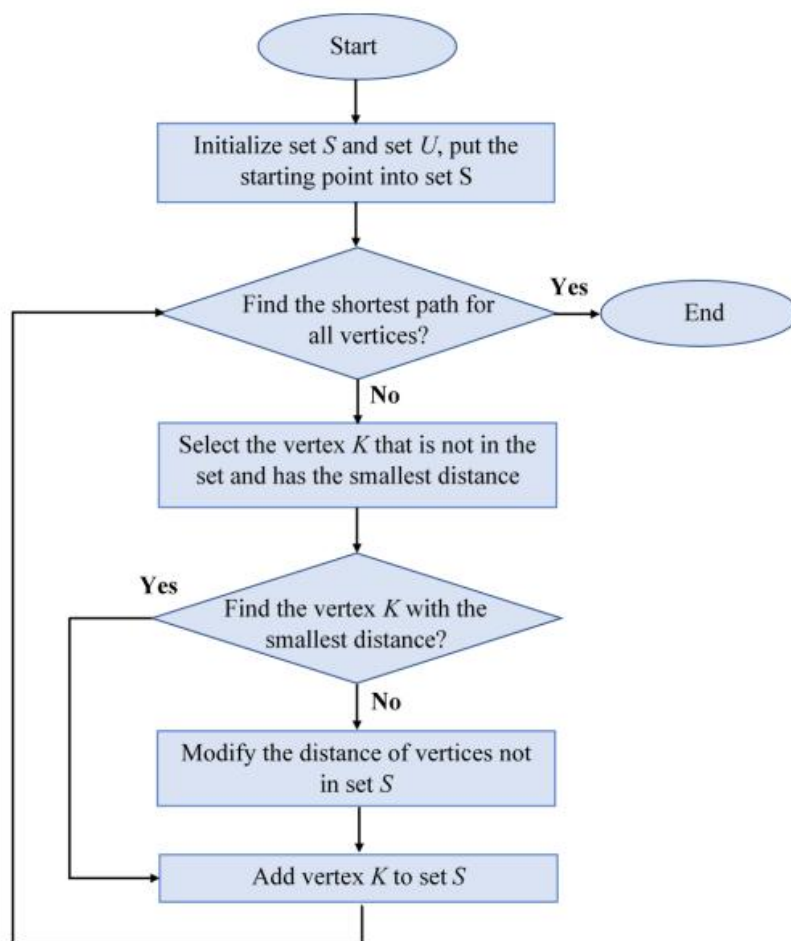
(шешімдері) пайдаланылады және бұл адамдар ең жақсы шешімді табу үшін итеративті түрде әзірленеді және өзгертіледі. Олар кешеннің оңтайлы шешімдерін тиімді таба алады және дәстүрлі алгоритмдер қиындықпен немесе мүлде басқара алмайтын әртүрлі мәселелердің шешімін табады[5].



1.4 - сурет – Алгоритмдердің классикалық және эвристикалық жіктелуі

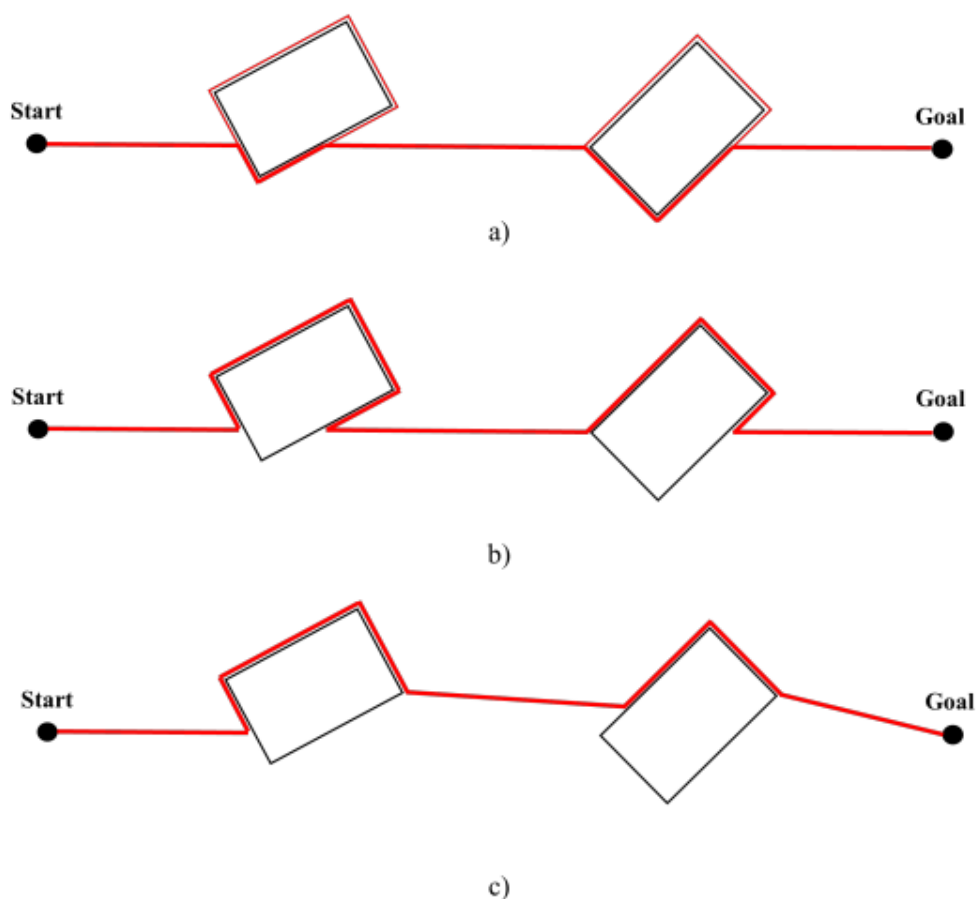
1.3 Мобильді роботтарды басқарудың классикалық алгоритмдері

Голландиялық ғалым Эдсгер Вайбе Дайкстра 1956 жылы Dijkstra алгоритмін енгізді, оны 1959 жылы жариялады. Бағытталған графиктегі екі түйін арасындағы ең қысқа жол туралы мәселе осы әдіспен шешіледі, бұл оқшауланған жұмыс кеңістігінің жолдарын картаға түсірудің ең көп қолданылатын әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс белгілі стратегия болып табылады, бірақ МР бастапқы орналасуы мен мақсаттық нүкте бір-бірінен алшақ болған кезде тиімділігі төмен болады. Бұл жағдайда алгоритм барлық түйіндер үшін ең қысқа жолды есептейді, тіпті түйін үшін маңызды емес болса да оңтайлы маршрут қарастырылады. Демек, есептеулердің көп бөлігі артық болуы мүмкін, бұл көп уақытты қажет ететін процеске әкеледі. Уақытты қажет ететін процеске ықпал ететін тағы бір фактор - графикте ұзын жиектердің болуы. Бұл жағдайда Dijkstra алгоритмі жұмсалуды керек шеттерін өңдеуге көп уақыт кетеді. Dijkstra алгоритміндегі ең қысқа жолды жоспарлау үшін бастапқы позиция көрсетіліп, екі түйінді S және U енгізілуі керек. S түйіндісі ең қысқа жол табылмаған шыңдарды және шың мен бастапқы нүкте арасындағы қашықтықты жазады [5]. Dijkstra алгоритмінің блок-схемасы 1.5-суретте көрсетілген.



1.5 - сурет – Dijkstra алгоритмінің блок-схемасы

Bug қателіктерді іздеу алгоритмдері. Робототехникада басқарудың көптеген тиімді алгоритмдерінің болуына қарамастан, қателіктерді іздеу алгоритмдері бұл салада әлі де өзінің маңызды рөлін жоғалтпады. Аталған алгоритм ең алғашқы кедергілерді айналып өту алгоритмдері болды, бұл қадамдарды жылдам есептеу уақытында салыстырмалы түрде нақты нәтижелерді алуға мүмкіндік береді. Алгоритмдер МР екі өлшемді кеңістікте бір нүктемен белгіленеді және МР қозғалысы болжамды түрде кез-келген нүкте арасында жүреді деген тұжырым істеуге арналған. Қателіктерді іздеу алгоритмдері - қателік әрекетіне ұқсас болатын белгісіз кедергілері бар навигациялық сценарийлерде кедергі шекарасы бойымен қозғалыс траекториясын қамтамасыз ететін роботты навигация алгоритмдерінің танымал түрі. Алгоритмді төменде сипатталғандай (1.6 - сурет) кедергілерді айналып өту кезіндегі қадамдарына қарай үш негізгі түрге бөлуге болады:



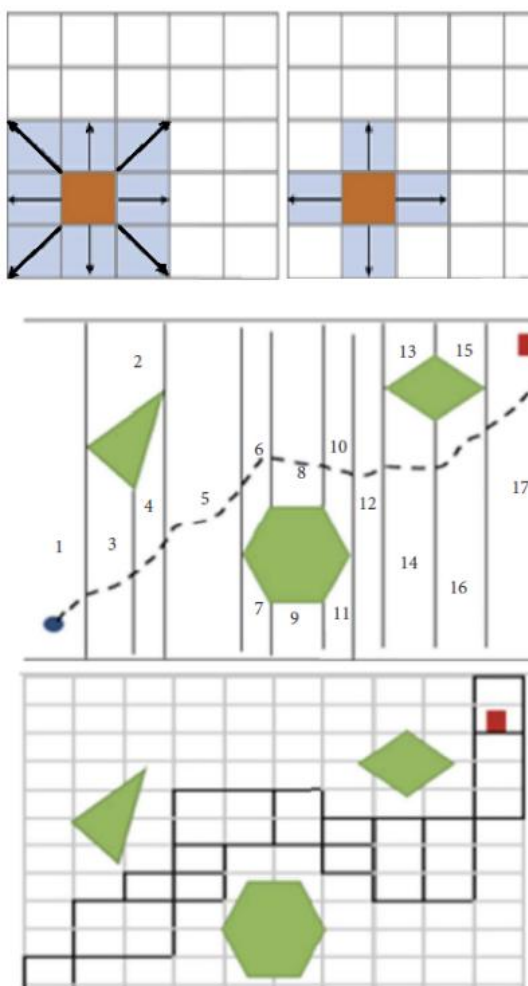
1.6 - сурет – Bug қателерді іздеу алгоритмдері арқылы кедергілерді айналып өту: (a) Bug 1 қателерді жою алгоритмінің жолы, (b) Bug 2 қателерді жою алгоритмінің жолы (c) Dist-Bug қателерді жою алгоритмінің жолы.

– Bug-1 алгоритмі робот кедергіні анықтаған кезде іске қосылады. Ол өзі бастаған бастапқы нүктеге жеткенше кедергіні айналып өте бастайды, сонымен бірге межелі жерден кету нүктесіне дейінгі ең қысқа қашықтықты есептейді. Кедергіні айналып өту кезінде кету нүктесінен межелі жерге дейін

жаңа маршрут жасайды. Толық айналымды аяқтағаннан кейін ол шектік нүктесіне жеткенге дейін кедергілерді айналып өтуді жалғастырады, содан кейін жаңадан құрылған бағыт бойынша межелі жерге қарай жүруді жалғастырады.

– Bug-2 алгоритмі бастапқы позициядан мақсаттық жерге бағыт береді және робот кедергіге тап болғанға дейін сол бағытты ұстанады. Тоқтағаннан кейін робот кедергінің шетімен жүреді және жаңа бағыт бастапқы бағытқа сәйкес келгенше әр жаңа позициядан жаңа бағытты есептейді. Осы позицияға жеткеннен кейін робот мақсаттық жерге бұрын жасалған маршрут бойынша қозғалысты жалғастырады.

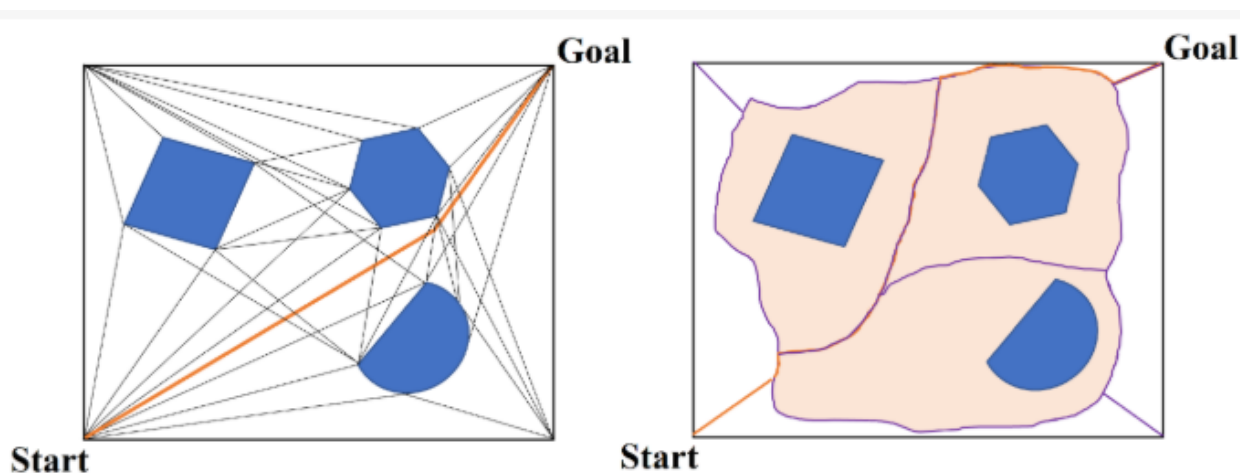
– Ал, Dist-Bug алгоритмі мақсаттар мен кедергілерге дейінгі қашықтыққа негізделген. Жолдағы кедергі анықталған кезде робот кедергінің шеті бойымен қозғала бастайды және әр нүктеде осы нүкте мен мақсаттық нүкте арасындағы қашықтықты есептейді. Мақсатқа дейінгі ең аз арақашықтық нүктесі қашықтық нүктесі деп аталады. Содан кейін робот кедергіні айналып өту кезінде қашықтық нүктесінен тапқан кезде мақсаттық жерге қарай жылжитын жаңа жолды жасайды. Аталған үш нұсқа 1.6-суретте көрсетілген[5].



1.7 - сурет – Жоғарыда шамамен, ортасында дәл және төменде ықтималдық ұяшықтардың ыдырауы алгоритмдері

Ұяшықтардың ыдырауы "ұяшық-ұяшық" әдісі аймақты жасушалар деп аталатын қиылыспайтын торларға бөледі және бір ұяшықтан екінші ұяшыққа өту үшін бастапқы ұяшықтардан мақсатты ұяшыққа қосылуы мүмкін торларды пайдаланады. Бұл әдіс ұяшықтар арасындағы шекаралардың мақсатына байланысты дәл, шамамен және ықтималдық ретінде жіктеледі. Дәл ұяшықтардың ыдырауы үшін ажыратымдылықта шығын болмайды, ал ұяшықтардың пішіні мен өлшемі тұрақты емес және әр элементке нөмір беріледі. Керісінше, шамамен ұяшықтардың ыдырауы үшін ыдырау нәтижесі нақты картаға сәйкес келеді, ал тор бекітілген пішін мен өлшемге ие. [5]. 1.7-суретте ұяшықтардың ыдырауы алгоритмінің жүйелерін үш топқа бөлуге болатындығы көрсетілген.

Жол картасының ықтималдық әдісі (PRM) классикалық әдістердің бірқатар кемшіліктері бар, мысалы, кең ауқымда жоғары уақыт шығындары және жергілікті минимумдарда батып кету, бұл оларды практикалық сценарийлерде тиімсіз етеді. Осы шектеулерді жою және тиімділікті арттыру үшін ықтималдық алгоритмдері ұсынылады. Бұл алгоритмдер статикалық жұмыс кеңістігі арқылы роботтардың практикалық жолдарын қамтамасыз етуге бағытталады. Ең маңызды мысалдардың бірі - ықтималдық жол картасы (PRM) әдісі. Ол роботтың бос аймақтарының байланысын анықтау үшін сызықтарды пайдаланады. Бұған көріну кестесі мен Воронц кестесі кіреді. 1.8-суретте осы екі график көрсетілген.



1.8 - сурет – Көріну графигі(сол жақта), Вороной графигі (оң жақта)

Көріну графигі нүктелер арасындағы көріну негізінде құрылады, ал Воронц графигі аймақтар арасындағы геометриялық қатынастар негізінде құрылады. Көріну графигінде кедергілер көпбұрыштар түрінде ұсынылған және көпбұрышты кедергілердің тік түйіндері жолдың ұзындығы минимумға дейін азайтылатын етіп жалғанған, ал сызықтар кедергілерге жақын болып қалады.

Керісінше, Воронц графигі жоспарлау үшін кедергілердің ең жақын екі нүктесін пайдаланады және аймақты ішкі аймақтарға бөледі. Соңғы жағдайда робот кедергілерден алысырақ қозғалады, бұл қауіпсіздікті арттырады, бірақ

көріну кестесімен салыстырғанда ұзағырақ жолдарға әкеледі. Бастапқы күйді мақсатты аймақпен байланыстыру үшін PRM мамандары осы жол картасының кестесін зерттейді және робот өтуі мүмкін күйлер мен жергілікті байланыстардың реттілігін дәл анықтайды. Теориялық тұрғыдан алғанда, бұл алгоритмдер қалағанынша дәл көріністер жасай алады, өйткені үлгілер саны шексіздікке жақындайды, іс жүзінде шешімнің траекторияларын анықтау үшін бірнеше маңызды күйлер қажет. Бұл критикалық күйлер көбінесе тар жолдарға кіру сияқты маңызды құрылымға ие, бірақ оларды тек толық іріктеу арқылы анықтауға болады [5].

Бұл алгоритмдер теориялық тұрғыдан шексіз үлгілері бар деректердің жоғары дәлдіктегі көрінісін қамтамасыз етеді. Алайда, іс жүзінде бұл бірнеше жағдайда ғана қажет. Мысалы, тар жол табылған кезде, Воронц графигі әр түрлі мақсаттар үшін әр түрлі алгоритмдерді одан әрі дамытуда шешуші рөл атқарады. Воронц графигін ауылшаруашылық жерлерін бірнеше егістікке бөлу үшін пайдаланады, бұл бірнеше роботтардың ауылшаруашылық тапсырмаларын орындауын жеңілдетеді.

Кездейсоқ ағашты жылдам зерттеу әдісі (RRT) конфигурация кеңістігін жылдам зерттеуді жеңілдетеді. Бастапқыда бұл әдісті Лавалл ұсынған, RRT алгоритмі "ағаш" деп аталатын графикті жасайды, онда түйіндер қол жеткізуге болатын күйлерді, ал шеттері күйлер арасындағы ауысуларды білдіреді. RRT түбірі бастапқы күйді білдіреді, ал қалған барлық күйлер түбірден тиісті түйінге дейін қол жетімді. Іріктеу әдісін қолдана отырып, бұл алгоритм жергілікті минимумдарды болдырмай, күрделі ортада тиімді жұмыс істейді.

Ол голономды емес және кинодинамикалық қозғалысты жоспарлау мәселелерін шешуде өзінің тиімділігін дәлелдеді. Робототехникада RRT жасау үшін қолданылатын алгоритмдер әмбебап болып табылады, бұл траекторияларға кинематикалық және динамикалық шектеулерді ескере отырып, кез келген бұрышта бұрылыстарды қосуға мүмкіндік береді [5].

Іріктеу кезінде ол роботтың конфигурация кеңістігіндегі барлық түйіндерге бірдей мүмкіндік береді. Алгоритмнің шектеулеріне сүйене отырып, ол кездейсоқ ағаштағы түйінді таңдайды. Экспозиция кезінде ол қайта іріктеуді орындайды және алдыңғы түйінді тастайды. Егер соқтығысу болмаса, таңдалған түйін кездейсоқ ағашқа қосылады. Егер маршруттағы түйін артық болса, ол жойылады, әйтпесе ол кездейсоқ ағашта түйін болып қалады [5].

1.4 Мобильді роботтарды басқарудың эвристикалық алгоритмдері

A* алгоритмі бұл Dijkstra алгоритміне ұқсас графикалық іздеу алгоритмі. Dijkstra алгоритмін іздеу процесін жеделдету мақсатында Харт 1968 жылы ұсынды. Ол үшін олар эвристикалық шығыстар функциясын енгізді, бұл ағымдағы нүкте мен мақсатты нүкте арасындағы қашықтық. Dijkstra алгоритмі сияқты, A* алгоритміне қоршаған орта моделі қажет, мысалы, тор картасы. A* алгоритмінде іздеу аймағы әдетте шағын квадраттарға бөлінеді, мұнда әрбір шаршы түйінді білдіреді. Алгоритм әртүрлі маршруттау мәселелерін шеше алады Dijkstra алгоритмімен салыстырғанда жоғары өнімділік пен дәлдікпен орындалады. A* алгоритмі мәселелерді шешудің барлық мүмкін жолдарының ішінен ең тиімді (мысалы, ең қысқа уақыт) жолды табу арқылы шешеді. Осы жолдардың ішінен ол алдымен жетекші болып көрінетін жолдарды қарастырады да шешімге ең жылдам. A* алгоритмі бағалау функциясын қолданады. 1.1 теңдікте мақсатты нүктеге дейін созылатын бастапқы нүктеден ағымдағы нүктеге дейінгі жиынтық шығынын есептеу теңдігі көрсетілен:

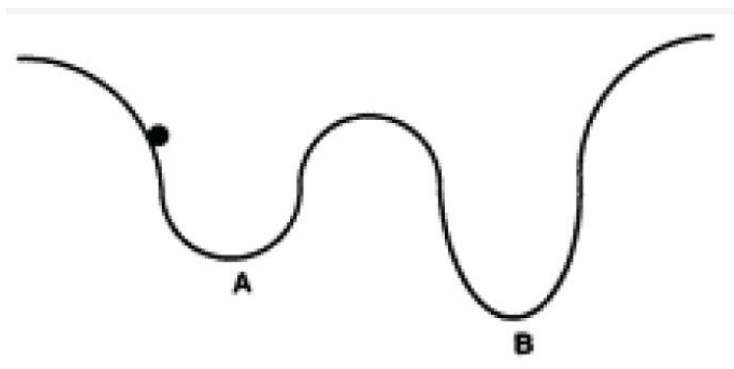
$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1.1)$$

мұндағы, $f(n)$ функциясы мақсатты нүктеге дейін созылатын бастапқы нүктеден ағымдағы нүктеге дейінгі жиынтық шығын;

$g(n)$ бастапқы нүктеден ағымдағы позицияға дейінгі ең қысқа шығын;

$h(n)$ ағымдағы нүктеден оңтайлы жол құнын n мақсаттық жерге дейін болжайды.

Артықшылықтарына қарамастан, дәстүрлі A* алгоритмі әрқашан оңтайлы шешімді қамтамасыз ете бермейді, өйткені ол барлық мүмкін болатын маршруттарды ескермейді. Әрбір итерацияда A* түйіндерді олардың мәндеріне сүйене отырып бағалайды, бұл есептеу үшін ұзақ процесс, әсіресе үлкен көлемде картаны іздеу аймақтарында қолданған жағдайда. Демек, бұл алгоритм маршрутты жоспарлауда жылдамдықты айтарлықтай баяулатуы мүмкін [5].



1.9 сурет – Үлгітмал кедергілер (A, B).

Имитациялық күйдіру (SA) металдарды күйдіру ұқсастығына негізделген итеративті іздеу әдісі. Күйдіру металды балқыту, содан кейін оны баяу салқындату арқылы металдың төмен энергиялы күйі жасалатын процесс.

Температура күйдіру процесіндегі бақылау айнымалысы болып табылады және энергия күйінің қаншалықты кездейсоқ екенін анықтайды. Екі ықтимал кедергісі бар энергетикалық диаграмманы қарастырайық. Доп потенциалдық қисыққа кездейсоқ орналастырылады және тек қисық бойымен төмен қарай жылжи алады. Содан кейін доптың В-ға қарағанда А-ға өту мүмкіндігі бірдей болады (1.9 - сурет). Жоғары қозғалыстарды кейде температура (Т) параметрімен басқарылатын ықтималдықпен қабылдауға болады. Мысалы, егер сіз доптың А шұңқырынан В шұңқырына жоғары ықтималдықпен өтуін қаласаңыз, оның температурасын жоғарылатуыңыз керек. Жоғары қозғалысты қабылдау ықтималдығы Т төмендеген сайын төмендейді. Жоғары температурада іздеу кездейсоқ болады, ал төмен температурада ол ашкөздікке айналады. Нөлдік температурада іздеу толығымен ашкөздікке айналады, яғни., ол тек төмен қарай қозғалыстарды қабылдайды. Алгоритм метрополис процедурасына негізделген, ол берілген температурада термиялық өңдеу процесін имитациялайды.

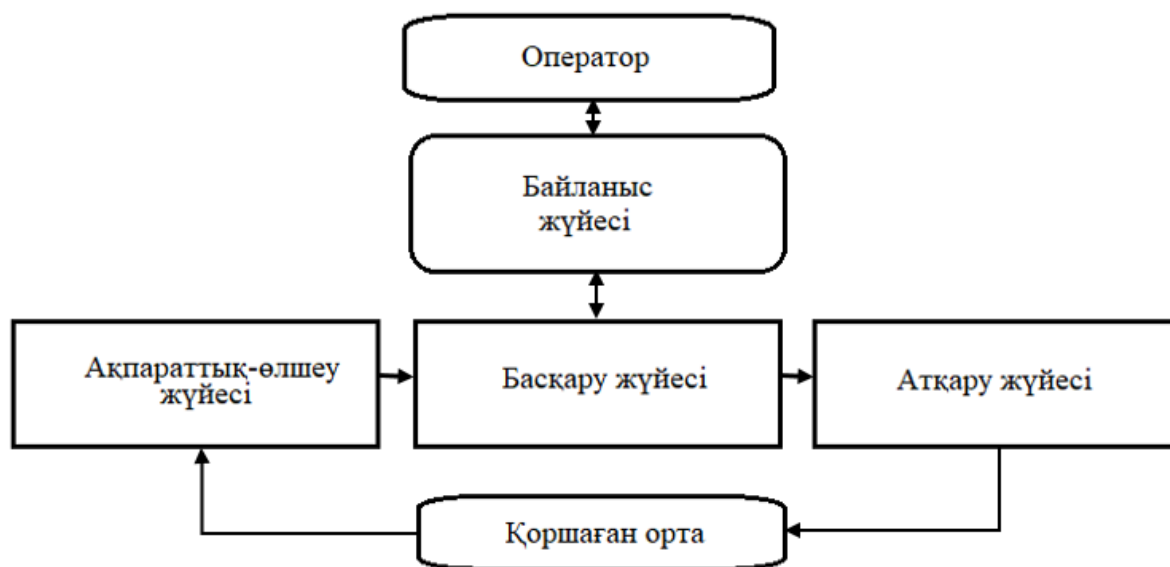
Процедураның басында ағымдағы температура мен ерітінді, сондай-ақ берілген температурада термиялық өңдеуді сақтау уақыты беріледі. SA алгоритмі жоғары температурадан басталуы керек. Алайда, егер бастапқы температура тым жоғары болса, бұл тек уақытты жоғалтуға әкеледі. Бастапқы температура кез-келген ұсынылған қозғалыс жоғары немесе төмен болсын, қолайлы болатындай болуы керек. Осыдан кейін температура біртіндеп төмендейді. Температура төмендеген сайын күйдіру уақыты артады. Күйдіру процесі уақыт рұқсат етілген уақыттан асқан кезде тоқтайды.

Алгоритмнің негізгі бөлігі екі шеңберден тұрады. Ішкі шеңберде мүмкін болатын қозғалыс пайда болады және қозғалысты қабылдау қабылдау функциясымен шешіледі. Қабылдау функциясы ағымдағы температура мен шығындардың өзгеруіне негізделген ықтималдық. Жоғары температурада, шығындардың өсуіне қарамастан, ең жоғары қозғалыстардың көпшілігі алгоритм бойынша қабылдануы мүмкін. Дегенмен, температура төмендеген сайын тек төмен қарай қозғалыстар қабылданады. Егер қадам қабылданса, ол келесі күйді құру үшін ағымдағы жолға қолданылады. Сыртқы цикл тоқтату шартының орындалғанын тексереді. Ішкі цикл аяқталған сайын температура функция арқылы жаңартылып, тоқтау күйі қайтадан тексеріледі. Бұл тоқтату шарты орындалғанға дейін жалғасады [5].

1.5 Мобильді роботтардың қозғалысын бағдарлау жүйесі

Басқарушы оператормен және қоршаған ортамен әрекеттесетін мобильді роботтың құрылымдық схемасы 1.10 - суретте көрсетілген. Мобильді робот негізге төрт бөлімнен тұрады: атқарушы жүйе - қозғалтқыш, басқару жүйесі -

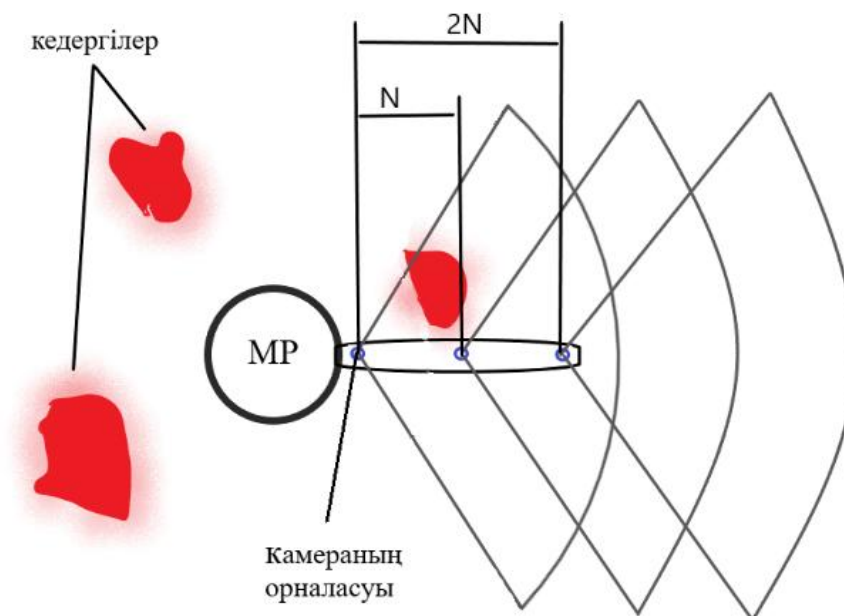
мысалы, интеллектуалды, ақпараттық өлшеу жүйесі - сенсорлар, байланыс жүйесі - программалық тіл [6].



1.10 - сурет – Мобильді роботтың құрылымдық схемасы

Қозғалтқыш, яғни атқарушы жүйе басқару жүйесінде қалыптасқан сигналдарды өңдейді. Бұл белгілі бір мақсатта қоршаған ортаға әсер ететін мобильді роботтың мүмкіндіктерін арттырады. Мобильді роботтың динамикалық әрекеттерін, қозғалыс жасай алу қабілеттілігі тікелей атқарушы жүйеге қатысты болып келеді. Сенсорлар немесе деректерді өлшеу жүйесі сыртқы орта туралы ақпарат береді және басқару жүйесінің қажеттіліктеріне сәйкес мобильді роботтың өз орналасуы туралы деректерді қабылдауда және түрлендіруде қызмет етеді. Сенсорлық жүйенің құраушылары ретінде оптикалық-электрондық құрылғылар, лазерлік және ультрадыбыстық қашықтық өлшегіштер, тактильді, байланыс және индуктивті позиция мен жылдамдық датчиктері және т. б. қолданылады.

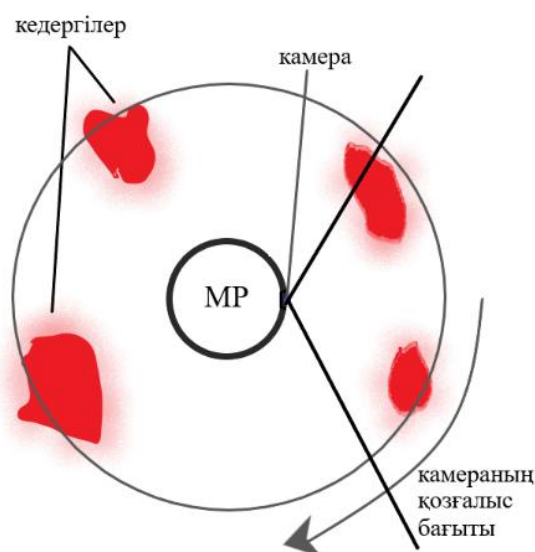
Бір бейнекамералы техникалық көру жүйесін құрудың мүмкін нұсқаларын қарастырсақ, қозғалмайтын роботпен камераның сызықтық, айналмалы және аралас қозғалысы, қоршаған ортаның кеңістік туралы дерек, роботтың нүктеден нүктеге қозғалысы арасында жиналады, және сондай-ақ, робот жолда үздіксіз қозғалған кезде. Картаны жасау кезінде камера сызықты түрде қозғалады, бұл жағдайда кескін үш нүктеден оқылады. Сәйкестендіру алынған кескіндер, мобильді робот қоршаған орта туралы ақпарат алады, яғни кедергілердің өлшемдері мен орналасуы жайында. Робот бірінші кескінді нөлдік бастапқы нүктеден алады, содан кейін камера N қашықтыққа алға жылжиды және екінші кескінді оқиды. Содан кейін $2N$ қашықтыққа жылжып, үшінші кескін оқылады (1.11 - сурет). Алынған кескіндерді салыстыра отырып, робот картаны жасайды және оңтайлы қозғалыс маршрутын жасайды[7], [10].



1.11 - сурет – Камераның сызықты қозғалысы

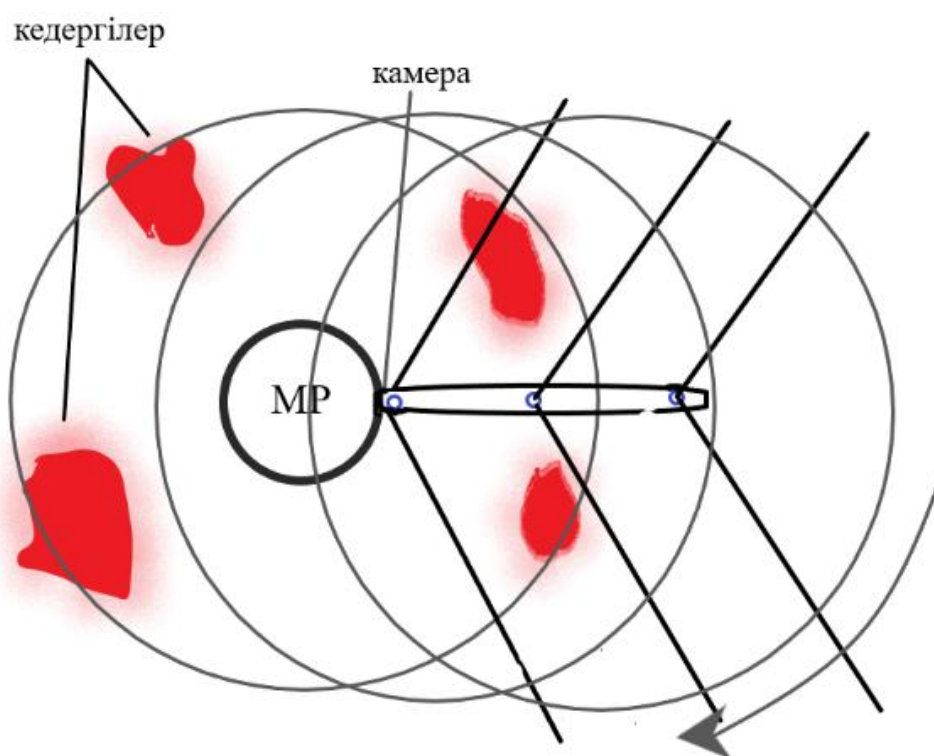
Алынған суреттерді салыстыра отырып, МР қозғалыс картасын жасайды және оңтайлы маршрут таңдайды. Бұл әдістің кемшілігі - роботтың көріну аймағының аздығы, бірақ соның арқасында қоршаған орта туралы деректерді жинауға кететін уақыт азаяды.

Егер камераның айналмалы қозғалысын алсақ, онда бұл әдіс роботтың алдындағы объектілер туралы ғана емес, сонымен қатар роботтың бүйірлері мен артындағы объектілер туралы да ақпарат алуға мүмкіндік береді (1.12 - сурет) [10].



1.12 - сурет – Камераның айналмалы қозғалысы

Алынған мәліметтерге сәйкес роботтың айналасындағы кедергілердің кескіні жасалады және келесі нүктеге дейінгі қозғалыс бағыты есептеледі. Бұл әдісті қолданған кезде камерадан алынған кескіндерді салыстыру кезінде сапаның жоғалуы мүмкін. Бұл кемшілік роботтың көру аймағының ұлғаюымен өтеледі, бұл оған айналадағы кедергілер туралы егжей-тегжейлі ақпарат негізінде маршрутты таңдауға мүмкіндік береді. Енді бірінші және екінші әдістердің қосындысы болып табылатын камераның қозғалысының гибриді әдісін қарастырамыз (1.13 - сурет). Бұл көру аймағын ұлғайтуға және қашықтағы нысандар туралы деректерді оқуға мүмкіндік береді. Бұл әдіс қоршаған орта туралы ең көп пайдалы ақпарат алуға мүмкіндік береді, бірақ бұл әдіс бірінші және екінші жағдайларға қарағанда көп ресурстарды қажет етеді [8].



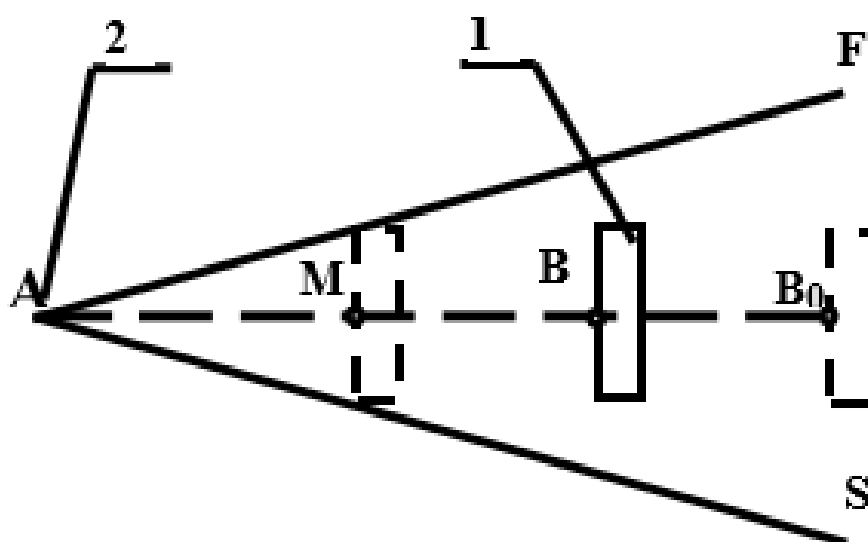
1.13 - сурет – Камераның сызықты және айналмалы қозғалысы

Навигациялық есептерді шешуді оңтайландырудың математикалық моделі. Егер A жылжымалы робот оған бейнекамера орнатылған жолда немесе салыстырмалы түрде тегіс кеңістікте, яғни құрылымдық ортада тұрақты жылдамдықпен түзу қозғалатын болса, мұндай роботтың міндеті камера деңгейінде пайда болатын кедергілерге дейінгі қашықтықты анықтау және есептеу болады (содан кейін оларды айналып өту үшін әрекеттерді орындау). Бұл әдісті қолданған кезде қашықтықты анықтау келесідей жүреді: белгілі бір t уақыт аралығында бейнекамерадан алынған кескінді талдау және тірек объектілерін – ықтимал кедергілерді бөлу жүреді. Тірек объектілерінің ені немесе биіктігі анықталады, алынған ақпарат дерекқорға енгізіледі. Тірек объектісінің енінің (биіктігінің) уақытқа тәуелділік қисығының

аппроксимациясы мен экстраполяциясы негізінде робот кедергіге жетуі керек уақыт моментін есептейді, содан кейін осы уақытқа, сондай-ақ жылдамдыққа негізделген берілген объектіге дейінгі қашықтықты есептеу жүргізіледі. Атап айтқанда, робот қозғалған кезде қашықтықты анықтау екі кезеңде жүреді:

– бірінші кезеңде B объектісінен M нүктесіне дейінгі MB қашықтықты анықтау жүзеге асырылады, онда бейнекамераға түсетін объектінің бейнесі параметрлердің бірі (ені немесе биіктігі) бойынша экраннан шыға бастайды (1.14 - сурет).

– екінші кезеңде AM камерада M нүктесіне дейінгі қашықтықты анықтау және алынған шаманы бірінші кезеңде есептелген мәнмен қосу жүзеге асырылады. Есептелген ұзындық (AB) анықтамалық объектіге қажетті қашықтық болады [10].



1.14 - сурет – MB қашықтықты анықтау

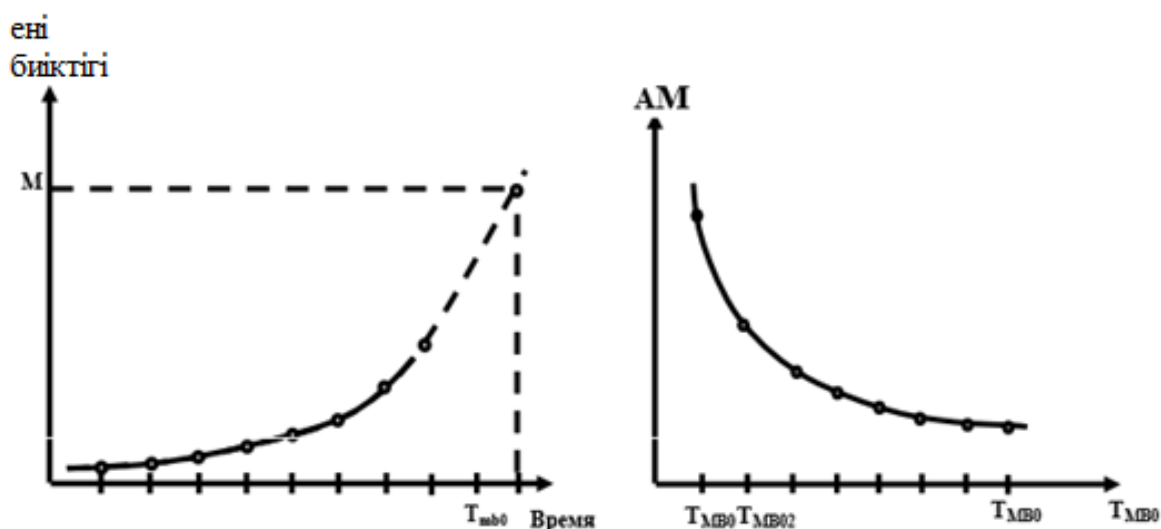
Бірінші кезеңде MB қашықтығын анықтау келесідей жүзеге асырылады, белгілі бір уақыт аралығында бейнекамерада суреттер түсіріліп, әрбір кескін кедергі объектісінің енін немесе биіктігін анықтайды. Ол уақыт өте келе объект жақындаған сайын ұлғаяды. Объектінің ені және биіктігі функциясының қисығын уақыт бойынша жуықтау арқылы немесе нейрондық желіні оқыту арқылы оның ені немесе биіктігі пиксельмен көлденең тік болатын объектіні бақылау басталғаннан бастап T_{MB0} уақыт моменті анықталады (1.15 - сурет). Мобильді роботтың V қозғалу жылдамдығын (1) және оның үдеуін (2) біле отырып, қажетті MB қашықтықты анықтауға болады:

$$MB = VT_{MB0} \quad (1.2)$$

$$MB = V_0 T_{MB0} + (aT_{MB0}^2)/2 \quad (1.3)$$

Робот біркелкі жылдамдықпен қозғалған жағдайда (1.2), робот бікелкі үдеумен қозғалған жағдайда (1.3).

Жуықтау процесінде объектінің ені функциясының қисық пішіні әр итерацияда нақтыланады, сондықтан ВМ қашықтықты анықтау дәлдігі алынған кескіндер санына және объектіге дейінгі қашықтыққа тікелей байланысты. Объект неғұрлым көп анықтамалық нүктелер (кескіндер) жақын болса, оған дейінгі қашықтық дәлірек анықталады.



1.15 - сурет – Уақытқа тәуелділік графигі және $T_{мв0}$ жалпы уақытына AM тәуелділік графигінің түрі

Функция қисығын жуықтау (1.4) келесі формулаларды қолдану арқылы жүзеге асырылады.

$$S_m(x) = \sum_{i=1}^m c_i \varphi_i(x) \quad (1.4)$$

мұндағы, $S_m(x)$ – берілген $f(x)$ функциясының ең жақсы жуықтауы;

$\varphi_i(x), i = 1, 2, \dots, m$.

c_i жүйеден анықталады (1.5):

$$\sum_{j=1}^m c_j \sum_{k=1}^n p_k x_k^{j-1} x_k^{i-1} = \sum_{k=1}^n p_k f(x_k) x_k^{i-1} \quad (1.5)$$

мұдағы, $i = 1, 2, \dots, m$;

$p_k = 1$ тең салмақ функциясы;

m – функцияның белгілі мәндерінің саны;

n – сызықтық тәуелсіз жуықтау функцияларының саны.

Екінші кезеңдегі AM қашықтығын $T_{мв0}$ уақытына қатысты функция ретінде табуға болады. Бұл тәуелділікті эксперименттік жолмен N тәжірибе жүргізу, содан кейін алынған мәндерді интерполяциялау арқылы анықтауға болады. Басқаша айтқанда, объект M нүктесіне жету үшін неғұрлым көп уақыт

қажет болса, AM қашықтық соғұрлым аз болады. Анықтамалық объектіге дейінгі қашықтық AM және MB қосындысы болып табылады. Қажетті қашықтық табылғаннан кейін оның мәні шешім қабылдау үшін роботты жылжыту құрылғысына беріледі [9], [10].

1.6 Голономды емес механикалық жүйелердің қозғалыс теңдеулері және олардың матрицалық формалары

Мобильді робот – бұл жүріс бөлігімен қатар қозғалысты басқару жүйесін қамтитын басқарылатын электромеханикалық жүйе болып табылады. Құрылымның негізі механикалық бөлік, ол мобильді роботтың жетектерін қолдана отырып, қозғалысты қамтамасыз етеді. Мобильді роботтың механикалық бөлігі, әдетте, цилиндрлік буындармен байланысқан абсолютті қатты денелер жүйесі ретінде модельденеді.

Мобильді роботтың қозғалысы голономды емес жүйенің қозғалысы ретінде сипатталады және толық емес байланыс жүйелеріне тән голономды емес кинематикалық шектеулерге бағынады.

Мобильді роботтардың қозғалыс теңдеулерін шығарудың негізгі тәсілдері жалпы динамиканың теориясына негізделеді [10]. Голономды емес механикалық жүйелердің қозғалыс теңдеулерін векторлық матрица күйінде сипаттаған ыңғайлы.

Егер мобильді роботтың орналасуы жалпыланған координаттардың s -өлшемді $q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_s]^T$ векторымен анықталады, ал дөңгелектердің жазықтық бетімен жанасу нүктелерінде сырғанаудың болмау шарттары l дифференциалды интегралданбайтын, яғни голономды емес, теңдеулері бар стационарлы байланыстар келесідей сипатталады (1.6):

$$\begin{matrix} B & \dot{q} = 0 \\ l \times s & s \times 1 & l \times 1 \end{matrix} \quad (1.6)$$

мұндағы, $\dot{q}$ – жалпыланған жылдамдық векторы, нүкте уақыт бойынша дифференциалдауды білдіреді;

B – $(l \times s)$ өлшемді матрица, оның элементтері жалпыланған координаттардың функциясы.

Мобильді роботтың қозғалысы анықталмаған көбейткіштері бар Лагранж теңдеулерімен сипатталады (1.7):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right)^T - \left(\frac{\partial T}{\partial q} \right)^T = Q + B^T \lambda \quad (1.7)$$

мұндағы, $T = \frac{1}{2} \dot{q}^T A \dot{q}$ – жалпыланған жылдамдықтың біртекті квадраттық формасы болып табылатын жүйенің кинетикалық энергиясы;

$A = A(q)$ – инерция коэффициенттерінің оң анықталған симметриялы матрицасы;

Q – жалпыланған күштердің векторы;

$\lambda = (\lambda_1 \ \lambda_2 \ \dots \ \lambda_l)^T$ – l өлшемді анықталмаған көбейткіштер векторы.

(1.7) теңдеуде T сколярының туындысы Q векторы бойынша келесідей анықталады (1.8):

$$\frac{\partial T}{\partial q} = \left| \frac{\partial T}{\partial q_1} \quad \frac{\partial T}{\partial q_2} \quad \dots \quad \frac{\partial T}{\partial q_s} \right| \quad (1.8)$$

(1.6) және (1.7) теңдеулері $s + l$ теңдеулерден тұратын жабық жүйені құрайды, онда $s + l$ үшін айнымалылар q, λ . Егер B матрицасының жолдары бірлік векторларын құраса ($\sum_{k=1}^s b_{ik}^2 = 1$), онда λ_i белгісіз көбейткіштерінің механикалық мағынасы голономды емес байланыстардың жалпы реакцияларының модулдерін білдіреді, олар байланыс теңдеулерінен (1.6) және қозғалыс теңдеулерінен (1.7) анықталады.

Белгісіз көбейткіштерді теңдеулер жүйесінен жоюдың әртүрлі тәсілдері голономды емес механиканың әртүрлі теңдеу формаларын береді. Егер жалпы координаттар мен күштер векторларын екі кіші өлшемді векторға бөлсе:

$$q_{s \times 1} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix}, \quad q_{1r \times 1} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \dots \\ q_r \end{bmatrix}, \quad q_{2l \times 1} = \begin{bmatrix} q_{r+1} \\ \dots \\ q_s \end{bmatrix}, \quad (1.9)$$

$$Q_{s \times 1} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q \end{bmatrix}, \quad Q_{1r \times 1} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ \dots \\ Q_r \end{bmatrix}, \quad Q_{2l \times 1} = \begin{bmatrix} Q_{r+1} \\ \dots \\ Q_s \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

мұндағы, $r + l = s$, сонда голономды емес байланыстардың теңдеулерін келесі түрде жаза аламыз:

$$\begin{matrix} \dot{q}_2 \\ l \times 1 \end{matrix} = \begin{matrix} A \\ l \times r \end{matrix} + \begin{matrix} \dot{q}_1 \\ r \times 1 \end{matrix} \quad (1.11)$$

онда (1.7) теңдеуінен алынған дифференциалды теңдеулер Воронц теңдеулері деп аталады:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \dot{q}_1} \right)^T - \left(\frac{\partial \Theta}{\partial q_1} \right)^T = \\ & = Q_1 + A^T \left(Q_2 + \left(\frac{\partial \Theta}{\partial q_2} \right)^T \right) + \left[\frac{dA^T}{dt} - \left(\frac{\partial(A\dot{q}_1)}{\partial q_1} \right)^T - A^T \left(\frac{\partial(A\dot{q}_1)}{\partial q_2} \right)^T \right] p_2 \end{aligned} \quad (1.12)$$

мұндағы, $\Theta = \Theta(q_1, q_2, q_3) \equiv T(q_1, q_2, \dot{q}_1, A\dot{q}_1)$ -жүйенің келтірілген кинетикалық энергиясы;

$p_2 = \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} \right)^T$ -шегерілген жалпыланған жылдамдықтарға жауап беретін жалпыланған импульс векторы.

Егер жеке кинетикалық энергия мен байланыс теңдеулері q_2 жалпыланған координаттар векторына тәуелді болмаса, Воронц теңдеулерін (1.12) келесідей сипаттай аламыз:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \dot{q}_1} \right)^T - \left(\frac{\partial \Theta}{\partial q_1} \right)^T = \left(\frac{\partial U}{\partial q_1} \right)^T + \left[\frac{dA^T}{dt} - \left(\frac{\partial(Aq_1)}{\partial q_1} \right)^T \right] p_2 \quad (1.13)$$

Жүйенің жалпыланған жылдамдықтары $r = l - s$ болса:

$$\underset{s \times 1}{\dot{q}} = \underset{s \times r}{H} + \underset{r \times 1}{\dot{\pi}} \quad (1.14)$$

мұндағы, H – тікбұрышты $(s \times r)$ өлшемді жалпыланған координаттарға тәуелді матрица;

$r = l - s$ мәні жүйенің еркіндік дәрежесін көрсетеді.

Көптеген жағдайларда H матрицасын механикалық себептерге қарай таңдалады, дегенмен r байланыс теңдеулерін сызықтық тәуелсіз теңдеулермен толықтырсақ, формальды түрде жүзеге асыруға да болады (1.15):

$$\sum_{k=1}^s c_{ik} \dot{q}_k = \dot{\pi}_i \quad (i = 1, \dots, r) \quad (1.15)$$

$c_{ik} = c_{ik}(q_1, \dots, q_s)$ коэффициенттері жалпыланған q_k координаттарының функциялары ретінде таңдалады және $C_{r \times s}$ матрицасын құрайды. Сонда матрицалық формадағы теңдеулер келесідей болады:

$$\underset{s \times r}{C} \underset{s \times 1}{\dot{q}} = \underset{r \times 1}{\dot{\pi}} \quad (1.16)$$

c_{ik}, b_{ik} коэффициенттерінен тұратын $\tilde{B}$ матрицасын енгізейік:

$$\tilde{B}_{s \times s} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{r1} & c_{r2} & \dots & c_{rs} \\ b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{l1} & b_{l2} & \dots & b_{ls} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{s \times s} \\ B_{l \times s} \end{pmatrix} \quad (1.17)$$

(1.15) теңдігіндегі c_{ik} коэффициенттері $\tilde{B}$ матрицасының детерминанты нөлден ерекшеленетін етіп таңдалады, ал $\dot{\pi}_1, \dots, \dot{\pi}_r$ таңбалары жалпыланған $\dot{q}_k$ жылдамдықтарының сызықтық формалары. Шамалары $\dot{\pi}_1, \dots, \dot{\pi}_r$ нақты физикалық мағынаға ие (1.18), ал таңбалардың физикалық мағынасы жоқ. Себебі, (1.15) теңдігінің сол жақ бөліктері координаттардың кез келген функцияларының толық уақыт туындылары болмауы мүмкін [11].

$$\pi_k = \int_0^t \pi_k \dot{\pi}_k dt \quad (1.18)$$

(1.15) теңдеуін келесідей жазуға болады:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{r1} & c_{r2} & \cdots & c_{rs} \\ b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{l1} & b_{l2} & \cdots & b_{ls} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_r \\ \dot{q}_{r+1} \\ \vdots \\ \dot{q}_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{\pi}_1 \\ \vdots \\ \dot{\pi}_r \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1.19)$$

(1.15) теңдікке сәйкес $c_{ik} = c_{ik}(q_1, \dots, q_s)$ коэффициенттерді (1.17) теңдік бойынша келесідей жалпы жылдамдықтар бойынша шешуге болады:

$$\begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_r \\ \dot{q}_{r+1} \\ \vdots \\ \dot{q}_s \end{pmatrix} = \tilde{H} \begin{pmatrix} \dot{\pi}_1 \\ \vdots \\ \dot{\pi}_r \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}, \tilde{H} = B^{-1} \quad (1.20)$$

$\tilde{H}$ матрицасының r бірінші бағанынан тұратын матрицаны H деп белгілейміз. Содан кейін (1.20) теңдеуін келесідей жазуға болады, ол скаляр ретінде:

$$q_i = \sum_{k=1}^r h_{ik} \dot{\pi}_k \quad (i = 1, \dots, s) \quad (1.21)$$

мұндағы, h_{ik} – H матрицасының элементтері.

Солайша, (1.21) теңдігі барлық жалпыланған жылдамдықтарды r тәуелсіз жылдамдықтар арқылы белгілеуге мүмкіндік береді. Сонда:

$$BH = 0 \quad (1.22)$$

Сәкесінше, $H^T B^T = 0$, және (1.21) теңдікті H^T көбейтсек қозғалыс теңдеулерінен анықталмаған көбейткіштерді алып тастауға мүмкіндік береді, сонымен қоса Маджи теңдеулерінің матрицалық формасын алуға мүмкіндік береді(1.23):

$$H^T \left(\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right)^T - \left(\frac{\partial T}{\partial q} \right)^T - Q \right) = 0 \quad (1.23)$$

Егер жүйенің кинетикалық энергиясының формуласына $T = T(q, \dot{q})$ теңдігі жалпыланған жылдамдық векторы үшін қойылса, онда жаңа функция (1.24) пайда болады:

$$\Theta = \Theta(q, \dot{\pi}) = T((q, H\dot{\pi})) \quad (1.24)$$

Соңғы қатынасты жалпыланған координаталар векторы бойынша саралау кезінде q сәйкестігі орын алады (1.25):

$$\frac{\partial \Theta}{\partial q} = \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \frac{\partial (H\dot{\pi})}{\partial q} \quad (1.25)$$

(1.25) теңдігінде вектордан векторға туынды алу ұғымы қолданылады, егер x және q сәйкесінше l және s өлшемді векторлар болса, онда $\frac{\partial x}{\partial q}$ теңдігі $(l \times s)$ түріндегі матрицаны береді:

$$\frac{\partial x}{\partial q} = \begin{pmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial x_1}{\partial q_s} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial x_l}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial x_l}{\partial q_s} \end{pmatrix} \quad (1.26)$$

Дәл солай дербес туынды үшін векторлық өрнек анықталады:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \dot{\pi}} = \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} H \quad (1.27)$$

(1.27) теңдігі уақыт бойынша транспозиция және дифференциалдау арқылы (1.28) теңдігін аламыз:

$$H^T \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right)^T = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \dot{\pi}} \right)^T - \frac{\partial H^T}{\partial t} p \quad (1.28)$$

мұндағы, $p = \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right)^T$ - жалпыланған импульстардың векторы.

(1.23) теңдікте кинетикалық туындыға қатысты дербес туындыларды (1.25), (1.28) қатысты ауыстырсак:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \dot{\pi}} \right)^T - H^T \left(\frac{\partial \Theta}{\partial \dot{q}} \right)^T = H^T Q + \left(\frac{\partial H^T}{\partial t} - H^T \left(\frac{\partial H \dot{\pi}}{\partial q} \right)^T \right) p. \quad (1.29)$$

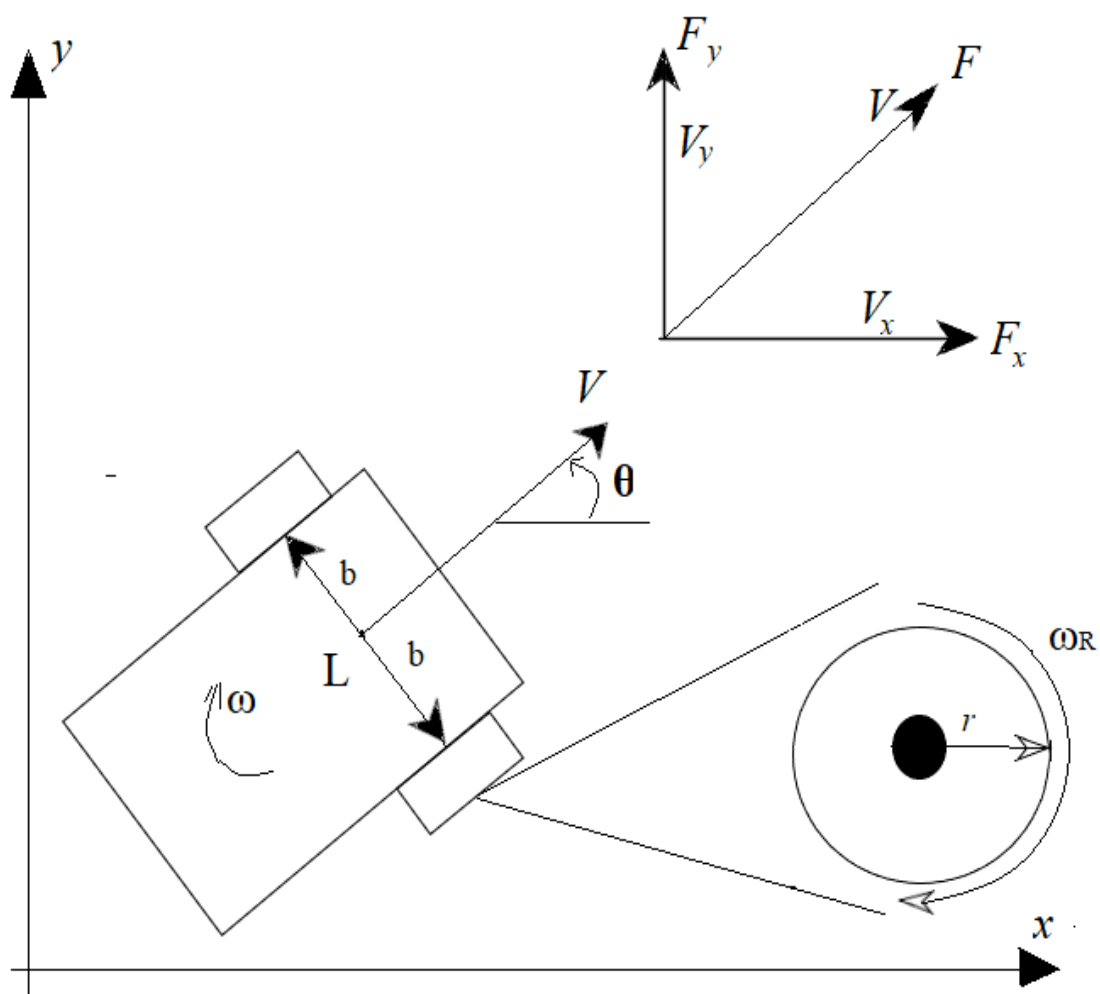
(1.23), (1.29) теңдеулерге үш индексті таңбалар нақты түрде кірмейді. Компьютерлік алгебра жүйелерін қолдана отырып, нақты формализмді таңдау зерттелетін мобильді роботтың математикалық моделі аралық есептеулерді азайту және соңғы теңдеулердің көлемін азайту қажеттілігінен туындайды.

2 ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БӨЛІМ

2.1 Мобильді роботтардың кинематикалық моделдері

Позицияға байланысты шектеулер қойылмай, жылдамдық бойынша шектеулер болғанда голономдық емес механикалық жүйелер қолданылады. Қарапайым, әрі түсінікті мысал ретінде – параллель көлік тұрағын қарастыруға болады. Көлік параллельді тұраққа бүйірден тұра алмайды, ол үшін алға-артқа жылжымалы қозғалыстар, дөңгелектерді қажетті бұрышқа бұру арқылы тұраққа тоқталады. Бұл жағдайда жергілікті автомобильдің қозғалысы шектеулі болғанымен, жаһандық қозғалысы шектеусіз болып келеді[12].

Дифференциалды жетектері бар голономдық мобильді роботтың кинематикалық моделі 2.1 - суретте көрсетілген. МР жылдамдығы дөңгелектерінің қозғалыс бағытымен шектеледі, ал сырғу болмайтын болса, МР қозғала алмайды. Егер МР дөңгелектерін қарама-қарсы бағыттарда қозғалтқан жағдайда, орнында тұрып айналуға мүмкіндік береді, бұл мобильді роботтың жаһандық қозғалысының шектеусіздігін көрсетеді.



2.1 - сурет – МР кинематикалық схемасы

2.1 – суретте x және y координаттар жүйесі МР орналасуына қатысты, ал θ – x осьіне қатысты жаһандық координаттар жүйесіндегі мобильді роботтың қозғалыс бағытын көрсетеді. 2.1 суретте көрсетілген r – мобильді роботтың дөңгелектерінің радиусын, L (2b) – дөңгелектерінің арақашықтығы. v – сызықтық, ω – бұрыштық жылдамдықтар және ω_R және ω_L сәйкесінше оң және сол дөңгелектерінің айналу жылдамдығы.

2.1 теңдікте векторлы үш еркіндік дәрежесі бар МР келтірілген:

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

(2.1) теңдікке сәйкес МР үш позициялы еркіндік дәрежесімен қозғала алатынын көреміз, Голономдық емес шектеулер салдарынан МР екі бағытта орын ауыстыра отырып, қозғала алады. Бұл V жылдамдықпен МР дөңгелектерінің бағыты бойынша және ω бұрыштық жылдамдығымен айналады. Сәйкесінше, (2.2) көрсетілгендей теңдеумен МР математикалық моделін сипаттай аламыз:

$$\begin{cases} \dot{x} = V \cos \theta, \\ \dot{y} = V \sin \theta \end{cases} \quad (2.2)$$

(2.2) теңдеуді түрлендірсек:

$$\frac{\dot{x}}{\cos \theta} = \frac{\dot{y}}{\sin \theta}, \quad (2.3)$$

$$\dot{x} \sin \theta = \dot{y} \cos \theta \quad (2.4)$$

Сәйкесінше, голономды емес МР жүйесі (2.5) теңдіктегідей функционалды шектеуге ие болады:

$$\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0 \quad (2.5)$$

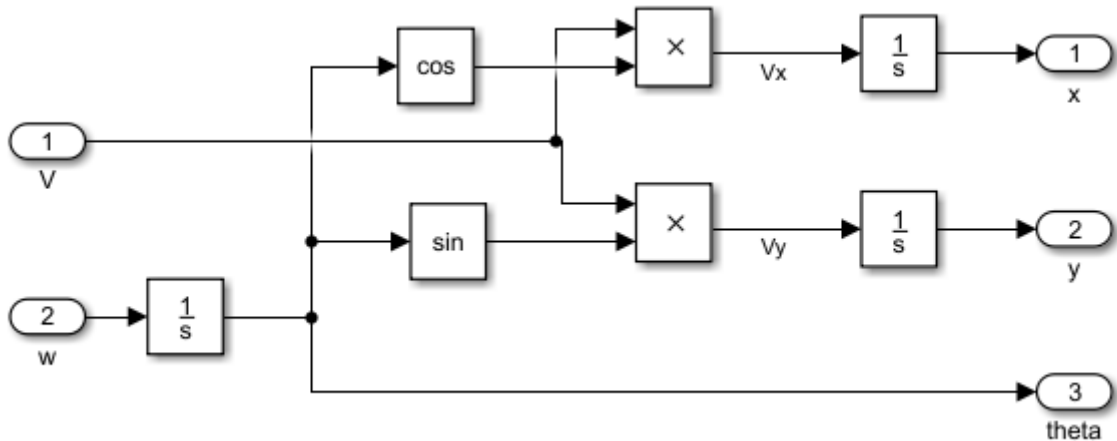
Дөңгелектердің үйкелуі сынды сыртқы күштерді ескермеген жағдайда, МР тегіс беттің үстінде сырғанайды деп сипаттауға келеді (2.6):

$$\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = v \quad (2.6)$$

Жоғарыда атап өтілген теңдіктердің нәтижесінде мобильді роботтың кинематикалық моделін келесідей сипаттаймыз (2.7):

$$q = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

(2.7) теңдіктегі моделді MatLab Simulink ортасында модельдейік:



2.2 – сурет – МР кинематикалық моделінің MatLab Simulink ортасындағы түрі

Мобильді роботтың әрбір дөңгелегінің сызықтық және бұрыштық жылдамдықтарының арасындағы байланыс теңдеулерін келесідей сипаттауға болады:

$$\begin{cases} v = \frac{w_L + w_R}{2} r, \\ \omega = \frac{w_R - w_L}{L} r \end{cases} \quad (2.8)$$

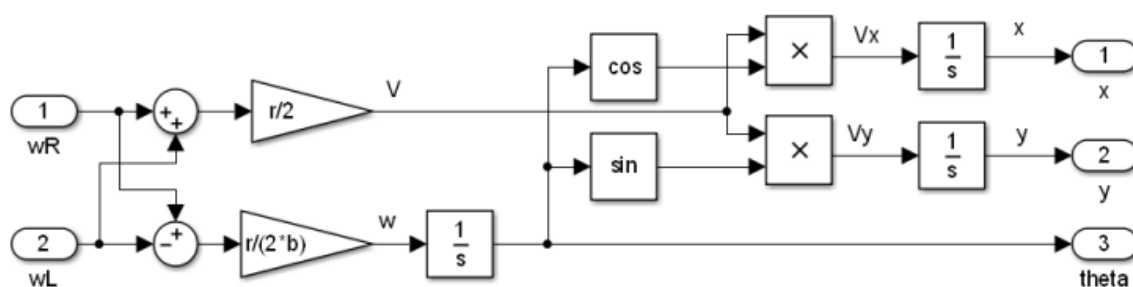
(2.8) теңдеуді түрлендіретін болсақ, дөңгелектерінің бұрыштық жылдамдықтарының МР бұрыштық және сызықтық жылдамдықтарының тәуелділігі келесідей сипатталады:

$$\begin{cases} w_R = \frac{1}{r} \left(v + \frac{\omega \cdot L}{2} \right), \\ w_L = \frac{1}{r} \left(v - \frac{\omega \cdot L}{2} \right) \end{cases} \quad (2.9)$$

(2.7) теңдікке МР ω және V жылдамдықтарын қоятын болсақ мобильді роботтың келесідей математикалық моделін аламыз:

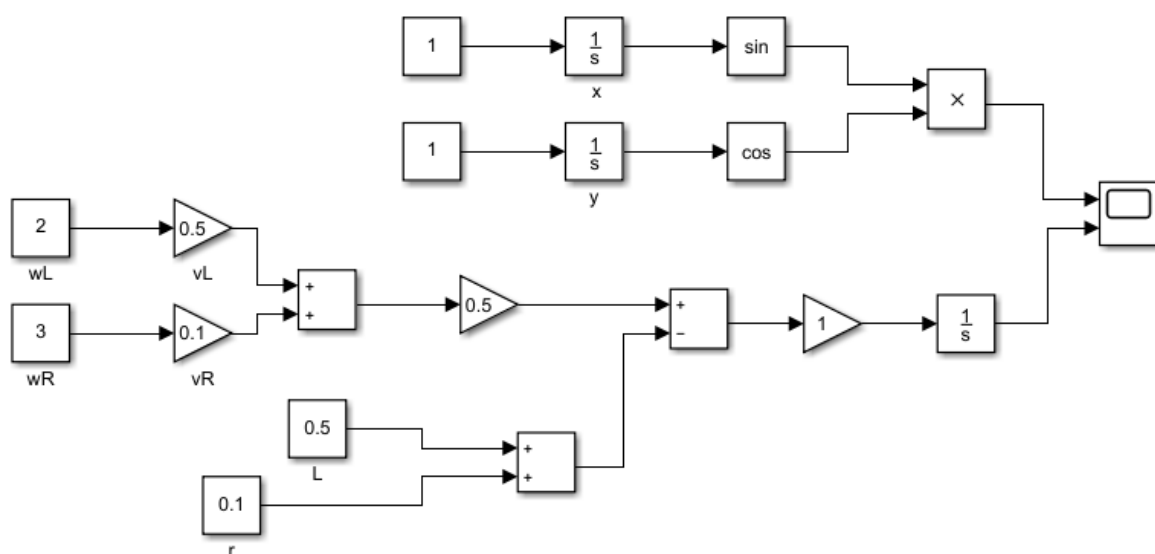
$$q = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} r \cos \theta & \frac{1}{2} r \cos \theta \\ \frac{1}{2} r \sin \theta & \frac{1}{2} r \sin \theta \\ -\frac{r}{L} & \frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_L \\ w_R \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Алынған модельдерге қатысты тұжырым жасасақ, мобильді роботтың қозғалыс бағыты оның оң және сол дөңгелектерінің айналу жылдамдығына байланысты екенін көрсетеді. (2.10) теңдіктің MatLab Simulink ортасында моделі 2.3 - суретте келтірілген:

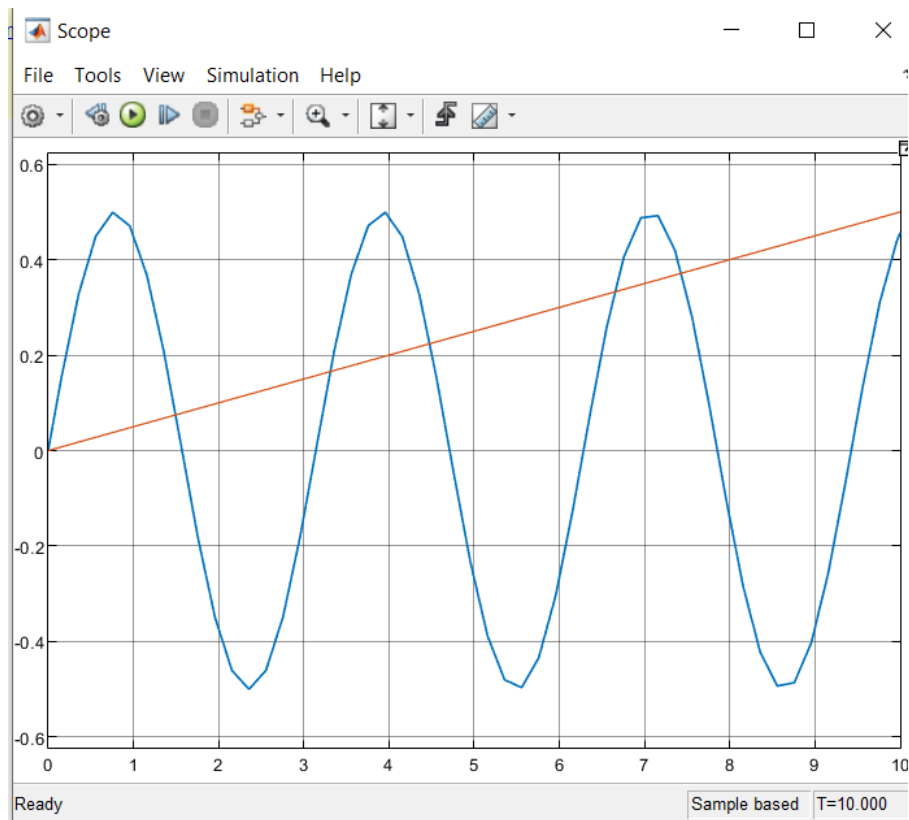


2.3 - сурет – Мобильді роботтың бұрыштық жылдамдығын басқарудың кинематикалық моделі

2.9 теңдікте сипатталған МР бұрыштық және сызықтық жылдамдықтарының тәуелділіктерін MatLab SimuLink ортасында модельдеу арқылы бұрыштық және бойлық жылдамдықтарының уақытқа тәуелділік графигін аламыз (2.4 сурет):



2.4 - сурет – МР бұрыштық және бойлық жылдамдықтарының теңдеуін модельдеу



2.5 - сурет – МР бұрыштық және бойлық жылдамдықтарының теңдеуін модельдеу нәтижесі

2.9 теңдік негізінде мобильді роботтың сол және оң, сәйкесінше алдыңғы және артқы дөңгелектерінің бұрыштық жылдамдықтары мен сызықтық жылдамдықтары бұрылу жылдамдығына тікелей тәуелді екені айқын дәлелденіп тұр. Сызықтық және бұрыштық жылдамдықтарының тәуелділіктерін MatLab SimuLink ортасында модельдеу арқылы МР қозғалысының уақытқа байланысты кинематикалық теңдеулерін, дәлірек айтқанда, бұрыштық және сызықтық жылдамдықтарының уақыт бойынша өзгеру графиктерін алуға болатыны көрсетілді. Модельдеу мобильді роботтың қозғалыс динамикасын талдауға және басқару алгоритмдерін жетілдіре отырып, жылдамдықтарын басқарып реттеуге мүмкіндік береді.

2.2 Мобильді роботты басқару алгоритмдері

Дұрыс бағдарламаланған мобильді робот кез келген тапсырманы қателіксіз, өз мақсатына жеткенге дейін тоқтаусыз қозғалыста болады. Мобильді роботтың қозғалысы жетектерді басқару арқылы қамтамасыз етіледі. Қозғалыс маршрутын жоспарлау блогы қозғалыс траекториясын синтездеп, мобильді роботтың кедергілермен соқтығыспай айналып өтуін қамтамасыз етеді [13].

Әрбір i -ші ретті қадамды орындауда мобильді робот енгізілген басқару алгоритмі бойынша жұмыс жасайды. Ол үшін кедергілер мен мобильді роботты геометриялық объект ретінде логикалық функция көмегімен сипаттаймыз:

$$F_{\text{го}}(D_k(x, y, z) \geq 0) = 1 \quad (2.11)$$

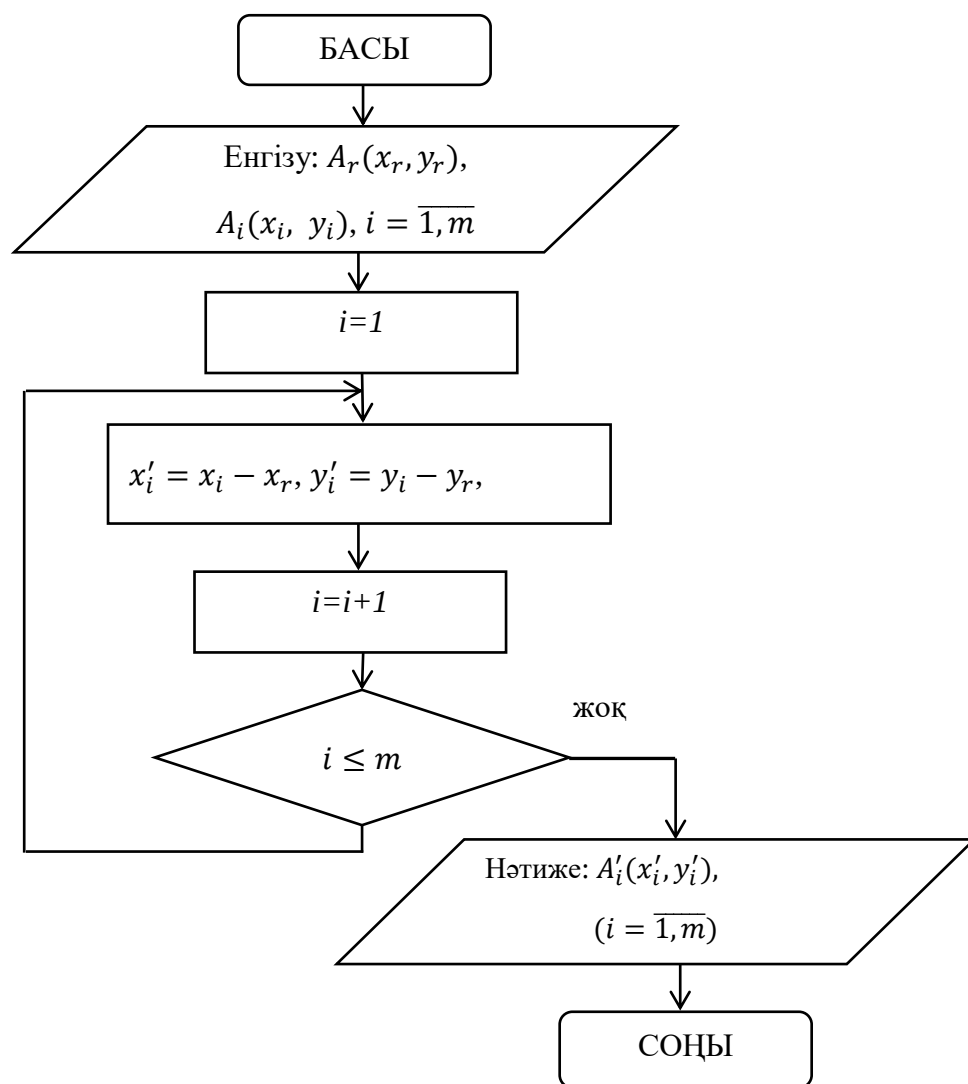
мұндағы $D_k(x, y, z) \geq 0$, $(k=1,2,\dots,r)$, k – қарапайым теңсіздікпен сипатталатын, геометриялық объекттің сыртқы шектерін білдіретін шектелген кеңістік бөлігі;

r – геометриялық объект шектейтін элементар беттің саны.

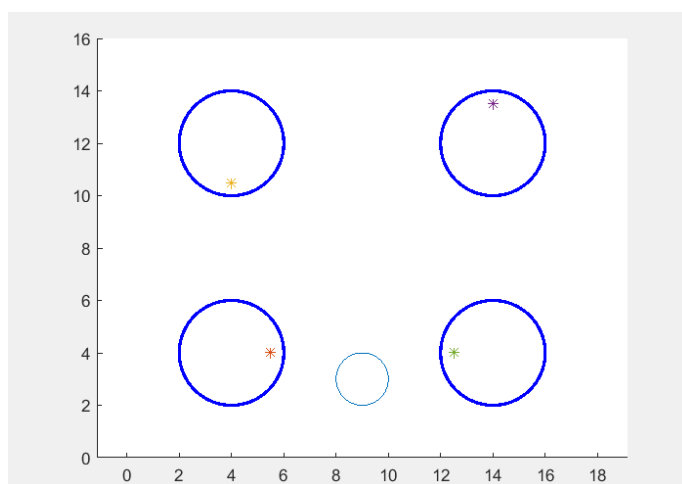
Мобильді роботты және стационарлы кедергілерді цилиндрлермен аппроксимациялай отырып бастапқы орналасу схемасын құрастырайық. Әр цилиндрдің проекциясының радиусы R_i , $i = \overline{1, m}$, тең шеңбер болады, m – кедергілердің санын көрсетеді. Мобильді роботты R_r болатын цилиндр проекциясымен көрсетеміз. Жабық кеңістікті координаттар жүйесі ретінде қарастырамыз.

Кедергілердің орналасуын тиісті цилиндрлердің центрмен $A_i(x_i, y_i)$, $i = \overline{1, m}$ көрсетеміз, m – кедергілер саны, сәйкесінше мобильді роботтың орналасуын $A_r(x_r, y_r)$ цилиндрінің центрмен белгілейміз (2.6 - сурет). Мақсатқа жету үшін белгілі бір тапсырманы орындайтын мобильді роботтың қажетті позициялау нүктелері болады [14].

2.6 - суретте жабық кеңістікте мобильді роботтың және кедергілердің орналасу мысалының MatLab бағдарламасындағы моделі келтірілген. OXYZ координаттар жүйесінде мобильді робот проекциялайтын шеңбер $A_{\text{мр}}(x_{\text{мр}}, y_{\text{мр}}, r_{\text{мр}}) = A_{\text{мр}}(9, 3, 1)$, стационарлы кедергілер $B_1(4, 4, 2)$, $B_2(4, 12, 2)$, $B_3(14, 12, 2)$, $B_4(14, 4, 2)$ және қажетті позициялау нүктелері $C_1(5.5, 4)$, $C_2(4, 10.5)$, $C_3(14, 13.5)$, $C_4(12.5, 4)$ координаталары бойынша орналасқан [14], [15].



2.6 - сурет – Кедергілердің МР координаттар жүйесіне қатысты жаңа орналасуларын есептеу блок - схемасы



2.7 - сурет – Мобильді роботтың және кедергілердің жабық кеңістікте бастапқы орналасулары

Қарастырылып отырған $OXYZ$ координаттар жүйесінен бөлек, мобильді роботтың және әрбір кедергінің өз координаттар жүйесі $O'X'Y'Z'$ бар. Негізгі координаттар жүйесінен мобильді роботтың координаттар жүйесіне көшу арқылы, мобильді роботтың қозғалыс қадамдарын басқара аламыз. Мобильді роботтың координаттар жүйесіндегі стационарлы кедергілерді келесідей есептейміз:

$$\forall i = \overline{1, m}: x'_i = x_i - x_r, y'_i = y_i - y_r \quad (2.12)$$

мұндағы, x'_i, y'_i – $O'X'Y'Z'$ координаттар жүйесіндегі стационарлы кедергілердің орналасуы.

Сәйкесінше қажетті позициялау нүктелерінің де $O'X'Y'Z'$ координаттар жүйесінде орналасуын келесідей есептейміз:

$$\forall j = \overline{1, s}: x'_j = x_j - x_r, y'_j = y_j - y_r, z'_j = z_j \quad (2.13)$$

мұндағы, x'_j, y'_j – $O'X'Y'Z'$ координаттар жүйесіндегі қажетті позициялау нүктелерінің орналасуы.

Мобильді роботтың $O'X'Y'Z'$ координаттар жүйесіне қатысты стационарлы кедергілердің және қажетті позициялау нүктелерінің жаңа орналасуларын есептелгеннен соң, қозғалыс кезінде мобильді роботтың әрбір кедергілермен соқтығыспау шарты орындалуы керек, бұл шарт келесі теңсіздікпен (2.14) сипатталады:

$$\forall i = \overline{1, m}: x_i'^2 + y_i'^2 - R_i - R_r \geq 0, \quad (2.14)$$

мұндағы, x'_i, y'_i – стационарлы кедергілердің орналасу координаттары;

R_i – стационарлы кедергілер проекциялайтын шеңбердің радиусы;

R_r – мобильді робот проекциялайтын шеңбердің радиусы.

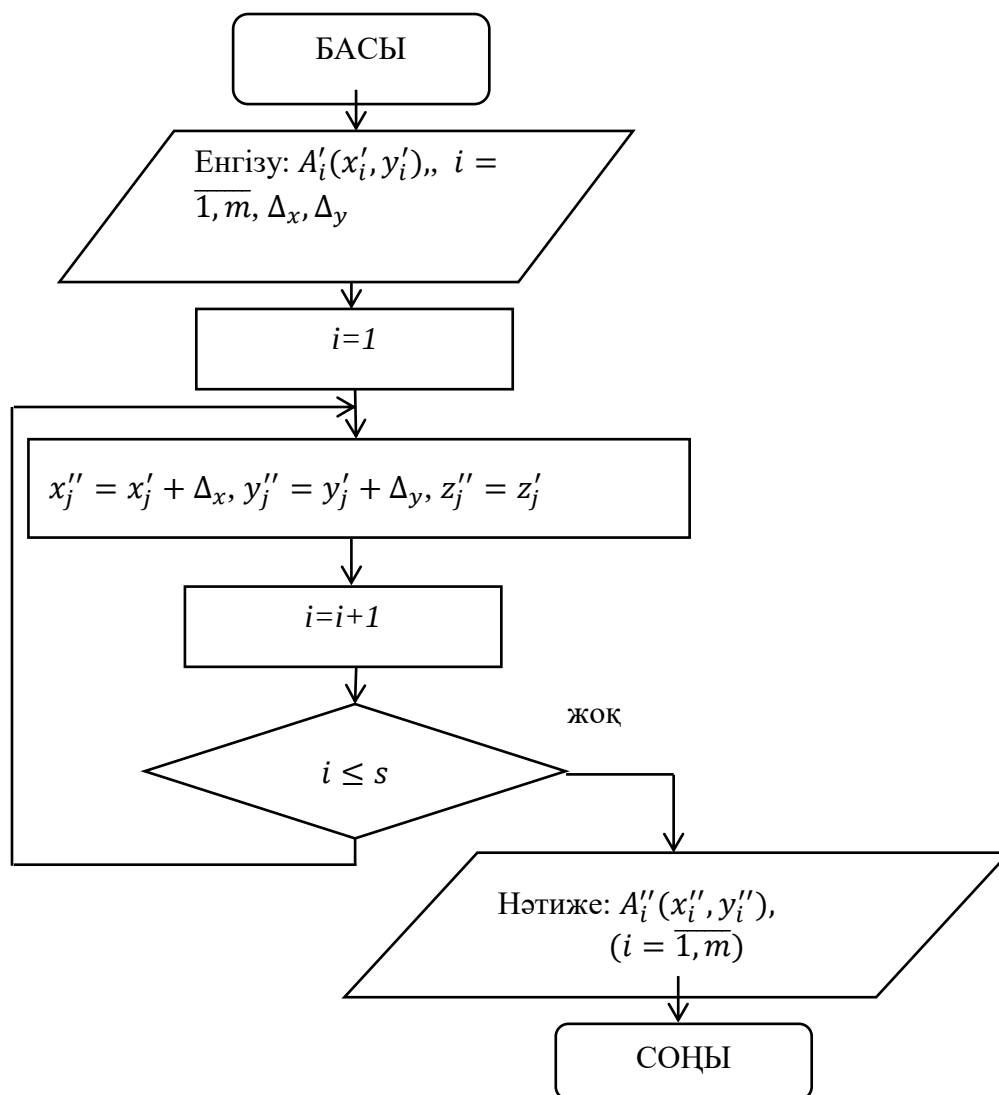
Мобильді роботтың мақсатқа жету үшін стационарлы кедергілермен соқтығыспай қозғалуы үшін жасайтын әрбір i -ші ретті қадамының ұзындығы шеңбер радиусынан $R_i, i = \overline{1, m}$ аспауы қажет. Әрбір i -ші ретті қадамнан кейін кедергілер аппроксимациялайтын шеңбердің дельта векторының проекцияларына қатысты жаңа координаталарын (2.15) теңдікте көрсетілгендей есептеу қажет:

$$\forall i = \overline{1, m}: x'_i = x_i + \Delta_x, y'_i = y_i + \Delta_y \quad (2.15)$$

мұндағы Δ_x – OX осі бойынша $\vec{\Delta}$ векторының проекциясы,

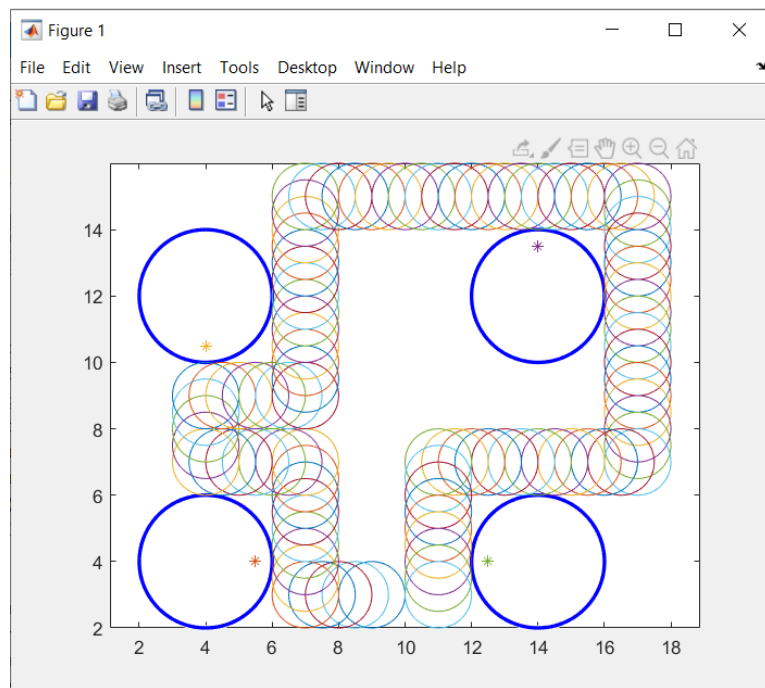
Δ_y – OY осі бойынша $\vec{\Delta}$ векторының проекциясы.

Әрбір i -ші қадамнан кейін мобильді роботтың жаңа координаталарын есептеп отыру қажет. Мұны анықтайтын процедураның блок - схемасы 2.8 - суретте көрсетілген [14], [15].



2.8 - сурет – Мобильді роботтың i -ші қадамнан кейінгі орналасу координатасын есептеудің блок - схемасы

2.7 - суретте көрсетілген мобильді роботтың және стационарлы кедергілердің жабық кеңістікте бастапқы орналасулары бойынша аталған процедураларды жүргізу нәтижесінде қозғалыс траекториясының моделін жасай аламыз. Жабық кеңістіктегі стационарлы кедергілерді бастапқы координаталары бойынша соқтығыспай айналып өтуін қамтамасыз ету үшін әрбір i -ші қадамнан кейінгі мобильді роботтың орналасу координатасын 2.8 - суретте келтірілген блок - схемадағы алгоритм бойынша есептеулер жүргіземіз, нәтижесінде жабық кеңістіктегі мобильді роботтың стационарлы кедергілерді айналып өту алгоритмін бағдарламалаймыз. Мобильді роботтың қозғалыс үлгісінің траекториясы 2.9 - суретте келтірілген.



2.9 - сурет – Жабық кеңістіктегі мобильді роботтың қозғалыс үлгісінің траекториясы

Яғни, 2.9 - суретте көргендей жабық кеңістіктегі мобильді роботтың стационарлы кедергілерді айналып өту алгоритмін MatLab бағдарламасының көмегімен қозғалыс траекториясы үлгісінің визуализациясы жасалды.

3 МОБИЛЬДІ РОБОТТЫҢ ПРОТОТИПІН ҚҰРАСТЫРУ

Мобильді роботты құрастыру үшін Arduino Uno микроконтроллері және перифериялық құрылғыларды қосуға мүмкіндік беретін Sensor Shield v5.0 модулі қарастырылды. Тұрақты ток негізіндегі редукторлы қозғалтқыш жетектері L298N драйвері арқылы басқарылады. Қоршаған ортадағы кедергілерді анықтау мақсатында HC-SR04 ультрадыбыстық датчик пайдаланылды. Мобильді робот автономды түрде қозғалу мүмкіндігіне ие болуы үшін қуат көзі ретінде 18650 аккумуляторлары қолданылды.

3.1 Arduino Uno платформасы

Arduino UNO - бұл ATmega328P микроконтроллеріне негізделген плата. Оның 14 сандық кіріс/шығыс контактілері бар, олардың 6-сы ШИМ шығысы ретінде қолданыла алады, сондай-ақ 6 аналогты кірісі, 16 МГц керамикалық резонаторы, USB қосылымы, қуат разъемі, ICSP разъемі және қайта жүктеу түймесі бар. Бұл плата микроконтроллерді қолдау үшін барлық қажетті компоненттерді қамтиды; оны компьютерге USB кабелі арқылы қосып немесе тұрақты ток адаптерімен немесе батареямен қосып жұмыс бастауға болады. Arduino Uno платформасында ATmega328P микросхемасы платаға жалғанбағандықтан, оны қажет жағдайда оңай ауыстыруға болады. ATmega328P микросхемасында 1 КБ EEPROM бар - бұл қуат көзінен айырғанда, сақталып тұратын жад. Микроконтроллер бағдарламаланатын интегралды схема, ол қарапайым командалар арқылы күрделі механикалық, электрлік және бағдарламалық жүйелердің жұмысын басқаруға мүмкіндік береді. Arduino Uno платформасының негізгі техникалық сипаттамалары 3 - кестеде келтірілген, ал 3.1 суретте осы платформаның бейнесі [16].

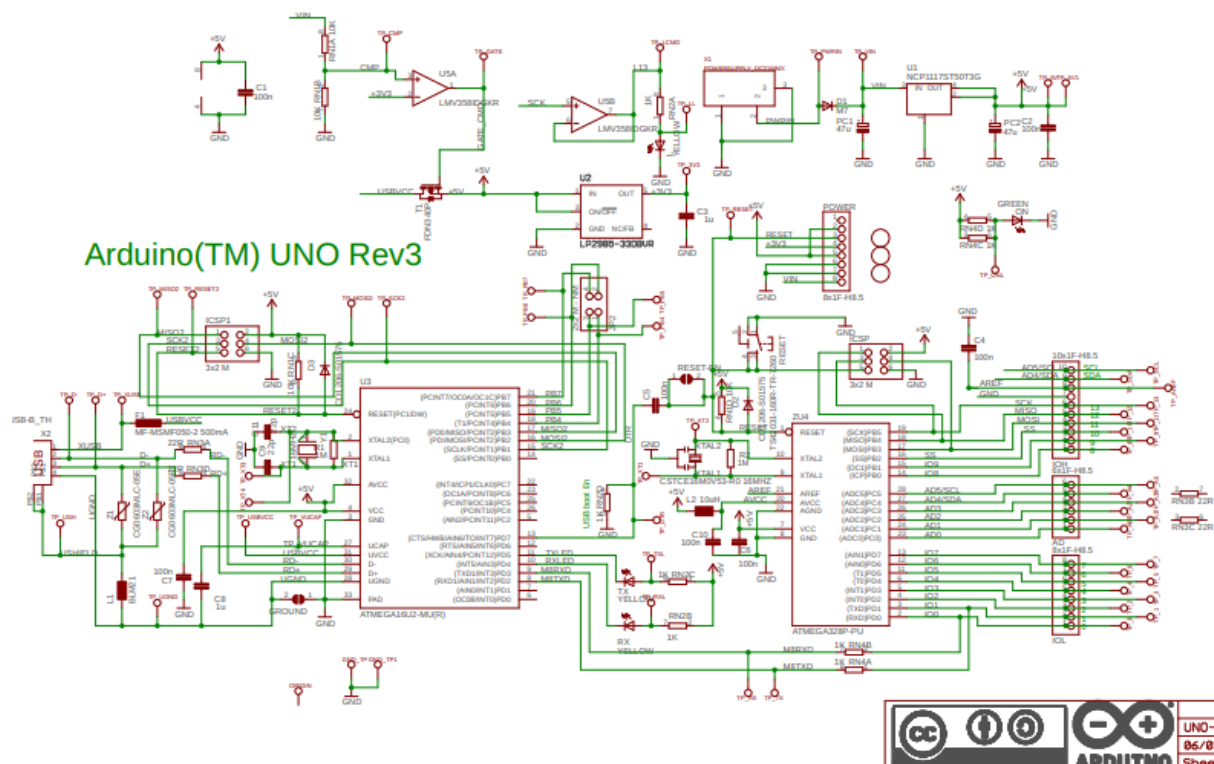


3.1 - сурет – Arduino Uno платформасы

3.1 кесте – Arduino Uno платформасының негізгі техникалық сипаттамалары

Микроконтроллер	8 биттік ATmega328 негізінде
Жұмыс кернеуі	5 В
Ұсынылатын кіріс кернеуі	7-12В
Шектік кіріс кернеуі	6-20 В
Сандық кірістері және шығыстары	14
Аналогтық кірістер саны	6
Кірісі мен шығысындағы тұрақты ток	40 мА
Шығысындағы тұрақты ток	50 мА
Флэш-жады	32 КБ
Жедел есте сақтау құрылғысы	2 КБ
Жиілігі	16МГц

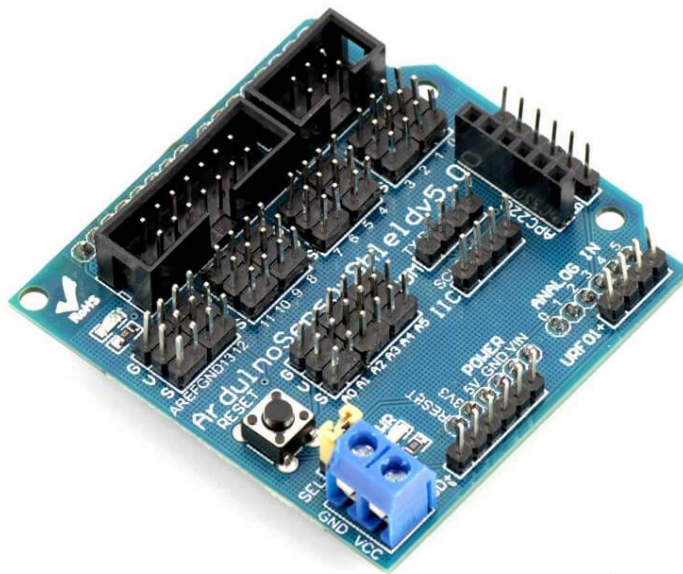
Arduino Uno қорек көзіне аккумулятор батареялар арқылы немесе USB байланысы арқылы қосылады да, қуат көзі автоматты түрде таңдалады. Сыртқы қуат көзі ретінде AC/DC кернеу түрлендіргіші (қорек блогы) немесе аккумуляторлық батарея пайдаланылуы мүмкін. 12 В жоғары кернеуді қолданған кезде кернеу реттегіші қызып, зақымдалуы ықтимал. Сондықтан ұсынылатын кернеу диапазоны 7 В-тан 12 В-ға дейінгі аралықты қамтиды. [17]. 3.2 - суретте Arduino Uno платформасының принципіалды схемасы көрсетілген.



3.2 - сурет – Arduino Uno платформасының принципіалды схемасы [17]

3.2 Sensor Shield v5.0 платасы

Sensor Shield v5.0 платасы әртүрлі датчиктерді үш контактілі жер-қуат-сигнал пиндері арқылы ыңғайлы қосуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, интерфейстердің I2C, UART және тағы басқа көптеген сигналдары жеке шығарылған. Қосымша плата қуат көзін Arduino микроконтроллерінен де, сыртқы қуат көздерінен де ала алады. Кернеу берілген кезде қызыл немесе жасыл түсті индикатор жанып тұрады. Қосымша платаны сыртқы қуат көзінен жұмыс істеу режиміне ауыстыру үшін SEL деп белгіленген контактілерге көпіршікті қою жеткілікті. 3.3 - суретте Sensor Shield v5.0 платасының көрінісі берілген [18].



3.3 - сурет – Sensor Shield v5.0 платасының бейнесі

SD card интерфейсі - бұл жад картасы модулін қосуға арналған. Бірінші шығысы «+» деп, қалғандары сәйкесінше VCC, GND, D11, D10, D13, D12 белгіледі. Бұл жад картасына құрылғының жұмысын және сенсорлардың мәліметтерін жазу үшін қолайлы.

Ультрадыбыстық интерфейс - ультрадыбыстық датчикті қосуға арналған. Платада URF01 деп белгіленеді. Шығыс пиндері «+», VCC, A0, A1, GND. Ультрадыбыстық датчик кедергілерге дейінгі қашықтықты анықтау үшін қолданылады.

Қуат интерфейсі - сыртқы қуат көзін қосуға арналады. Сыртқы қуат көзі кернеуі 5 В болуы қажет. Қосымша қуат көзі қосымша модульдер көп болған жағдайда қажет.

Аналогты кіріс және шығыс порттары - кіріс немесе шығыс ретінде жұмыс істей алатын контактілер A0, A1, A2, A3, A4, A5. Әрбірінің 3 контактісі бар, олар V қуат, G минус, S сигнал, сәйкесінше барлығы алты шығыстан тұрады.

Сандық кіріс және шығыс порттары - сандық контактілер интерфейсі кіріс және шығыс ретінде жұмыс істейді, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, GND, AREF деп белгіленеді. Әр портта VCC, GND, Signal деп аталатын 3 контактілерден тұрады. AREF шығысы - аналогты кірістер үшін сілтеме кернеуі, ол бірден 16 құрылғыны қосуға мүмкіндік береді.

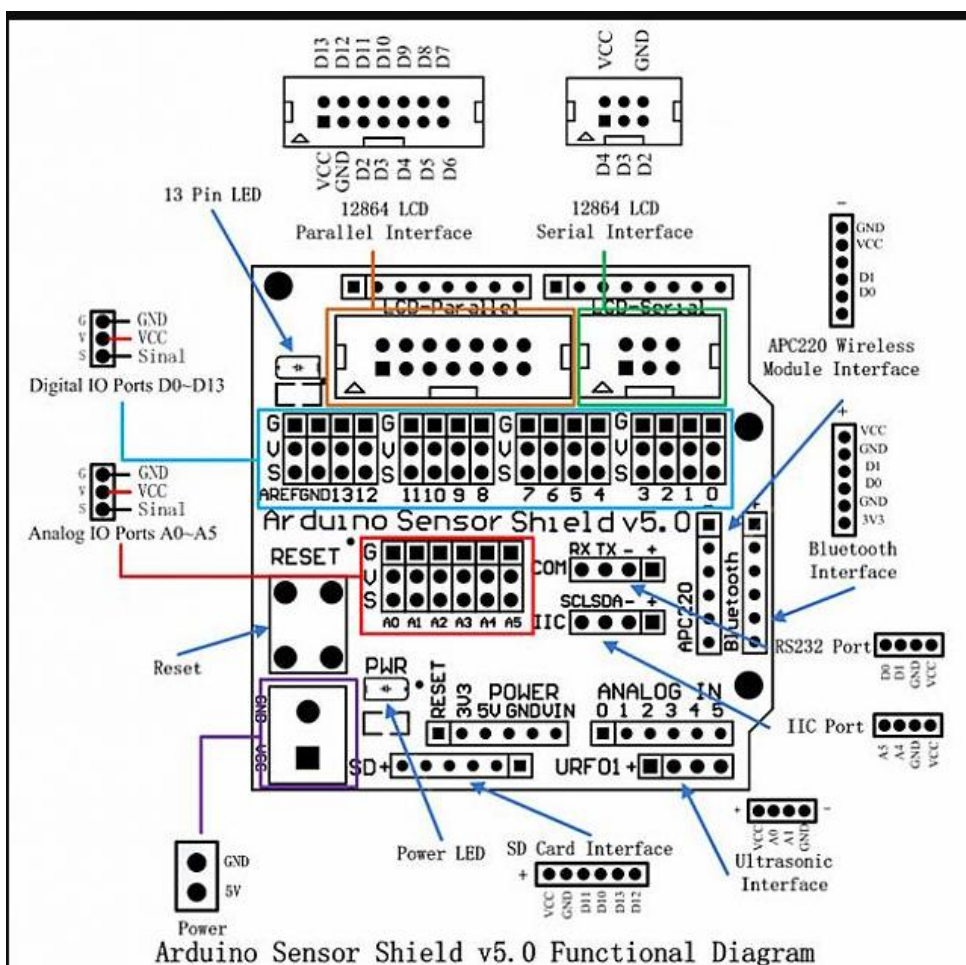
I2C (IIC) порты - интегралды схемаларды байланыстыруға арналған, қатарлы шинаны білдіреді, сәйкесінше төрт контактісі SCL (Serial Clock), SDA (Serial Data), «-», «+» бар. Осы порт арқылы қосымша микроконтроллерді қосып, ақпарат алмасуға болады.

RS232 интерфейсі - COM порттың қатарлы шинасы, компьютерге USB арқылы ақпарат беру мүмкіндігін беретін, төрт контактіден TX, RX, «-», «+» тұрады.

LCD параллель порты - ЖК дисплейді қосуға арналған 14 контактілі параллель порт.

LCD қатарлы порты - ЖК дисплейді қатарлы қосуға арналған 6 контактілі порт[19].

3.4 - суретте жоғарыда сипатталған Sensor Shield v5.0 платасының контактілердің орналасуы келтірілген.



3.4 - сурет – Sensor Shield v5.0 платасының контактілердің орналасуы [19]

3.3 L298N микросхемасы негізіндегі қозғалтқыш драйверінің модулі

L298N драйвері тұрақты ток қозғалтқыштарын көп функционалды басқару үшін кеңінен қолданылады. Қозғалтқыш модулінің схемасы екі H-көпірден тұрады, сондықтан оған бір биполярлы қадамдық қозғалтқышты немесе бір уақытта екі тұрақты ток қозғалтқышын қосуға болады.

Екі фазалы бір қадамдық қозғалтқышты басқаруға мүмкіндік береді. Егер екі қозғалтқышты басқару қажет болған жағдайда, олардың айналу бағытымен қатар айналу жылдамдығын да басқаруға мүмкіндігі бар, ол үшін сәйкес шығыстарына ШИМ-сигнал (PWM) беріледі. Егер жылдамдықты басқару қажет болмаса, ENA және ENB шығыстарын тиісті +5V контактілеріне көпір схемасымен қосуға болады [20].

3.5 - суретте L298N микросхемасы негізіндегі қозғалтқыш драйверінің модулінің бейнесі келтірілген.



3.5 - сурет – L298N микросхемасы негізіндегі қозғалтқыш драйверінің модулі

L298N драйвер модулінің 6 негізгі басқару шығысы бар:

- ENA - А қозғалтқышының жылдамдығын ШИМ (PWM) сигналы арқылы басқару шығысы;
- IN1 - А қозғалтқышының 1-басқару сигналы;
- IN2 - А қозғалтқышының 2-басқару сигналы;
- IN3 - В қозғалтқышының 1-басқару сигналы;
- IN4 - В қозғалтқышының 2-басқару сигналы;

– ENB - В қозғалтқышының жылдамдығын PWM сигналы арқылы басқару шығысы.

Модульдің техникалық сипаттамалары 3.2 - кестеде келтірілен.

3.2 кесте – L298N драйвер модулінің негізгі техникалық сипаттамалары

Сыртқы логикалық бөлікті қоректендіру кернеуі (Vss)	+5 В – +7 В
Логикалық басқару бөлігіне кіріс кернеу (Vd)	6 В – 12 В
Қозғалтқышты басқару жағына кіріс кернеу (Vs)	+5 В – +35 В
Сыртқы логикалық бөліктің жұмыс тогы (Iss)	0 – 36 мА
Әрбір басқарылатын арнаның жүктеме тогы	2 А
Әрбір арнаның шектік жүктеме тогы	3 А
Максималды тұтыну қуаты	20 Вт
Жұмыс температурасының диапазоны	-25°C-тан +130°C-қа дейін

3.4 HC-SR04 ультрадыбыстық қашықтық өлшегіш

HC-SR04 – ультрадыбыстық толқындардың шағылуы негізінде, қашықтықты дәл өлшеуге арналған құрылғы. Құрылғыны Arduino, Raspberry Pi және басқа да микроконтроллерлермен оңай қосуға болады. Жоғары дәлдігі мен қарапайым қосылуы бұл модульді робототехника және автоматтандыру жүйелері үшін таптырмас құрал етеді [21].

HC-SR04 ультрадыбыстық қашықтық өлшегіш датчигін робототехника саласында кедергілерді анықтау және мақсатқа жету үшін жол табуда, қауіпсіздік жүйелерінде объектілерді бақылау, автотұрақ жүйелерінде қашықтықты есептеуде, білім саласында электроника мен автоматтандыруды меңгеруде қолданады. Артықшылықтары жоғары дәлдікпен жұмыс істейді, тұтынатын қуаты төмен, бағдарламалануы қарапайым, көптеген микроконтроллерлермен үйлесімді.

3.6 - суретте HC-SR04 ультрадыбыстық қашықтық өлшегіштің бейнесі, ал 3.3 кестеде техникалық сипаттамалары келтірілген.



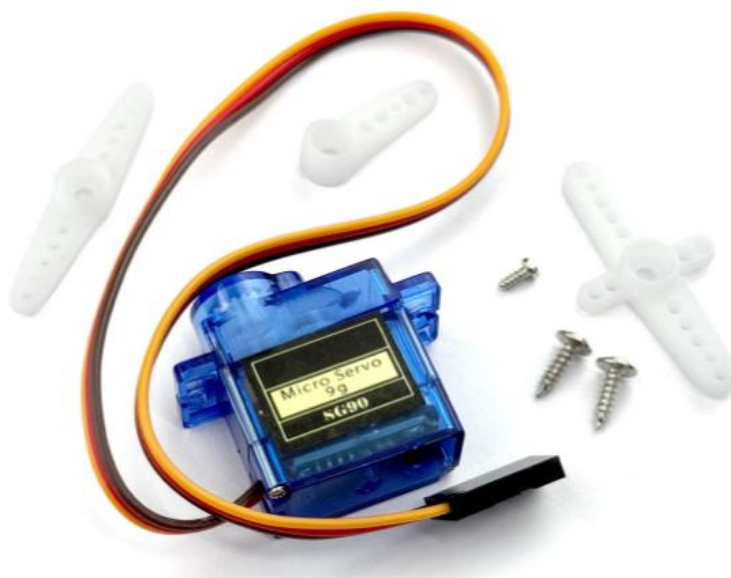
3.6 - сурет – HC-SR04 ультрадыбыстық қашықтық өлшегіш

3.3 кесте – HC-SR04 ультрадыбыстық қашықтық өлшегішінің негізгі техникалық сипаттамалары

Өлшеу диапазоны	2–400 см
Дәлдігі	±3 мм
Жұмыс кернеуі	5 В
Өлшеу бұрышы	15°
Жауап беру уақыты	15 мс
Ток тұтынуы	≤15 мА
Өлшемдері	45 × 20 × 15 мм

3.5 SG90 сервожетегі

SG90 9G – бұл шағын өлшемді аналогтық сервожетек, ол микроэлектроника мен робототехника салаларында, одан бөлек жеке техникалық жобаларда кеңінен қолданысқа ие құрылғы болып табылады. Бұл құрылғының бұрылу бұрышының жоғары дәлдікпен басқару мүмкіндігі және баяу айналу жылдамдығы арқасында ерекшеленеді. Оны Arduino, ESP8266, ESP32 секінді микроконтроллер платформаларымен жобалауға ыңғайлы мүмкіндіктер береді. Сервожетектің салмағы аз болғанымен, берік нейлон тісті берілістері арқасыда ұзақ уақытта өз жұмысын дұрыс орындауын қамтамасыз етеді. Аталған ерекшеліктерінің арқасында мобильді құрылғылар мен робототехникалық жүйелерде қолданысқа қолайлы етеді. 3.7 - суретте сервожетектің бейнесі және 3.4 - кестеде негізгі техникалық сипаттамалары келтірілген:



3.7 – сурет – SG90 сервожетегі

3.4 кесте – SG90 сервожетектің негізгі техникалық сипаттамалары

Тісті беріліс материалы	Нейлон
Сервожетек түрі	Аналогтық
Жұмыс кернеуі	4.5–5.5 В
Жоғарғы ток күші	1 А
Айналу диапазоны	180 градус
Айналу жылдамдығы	4.8 В кезінде 60° бұрылу - 0.1 сек.
Салмағы	9 грамм

SG90 сервожетегінің бұрыштық басқару жүйесінің дәлдігі жоғары және айналу бұрышы нақты реттеледі. PWM (импульс-ені модуляциясы) сигналы арқылы басқару мүмкіндігі және тозуға төзімділігі жоғары болып келеді. Нейлон тісті механизм құрылғының қолдану ұзақтығын арттыруға мүмкіндік береді және бұл сервожетектің артықшылықтары ретінде ерекшеленеді. Роботтық жүйелерде, манипуляторларды басқаруда, роботты техникалық кешендерде құрылғылардың қозғалмалы бөліктерін қозғалысқа келтіруде, автоматты құрылғылар мен ойыншықтар жасауда, жасанды интеллект құрылғылардағы қозғалтқыш механизмдерді басқаруда пайдаланылады. Arduino-мен қосу схемасы – қорек көзі VCC пині арқылы 5 В кернеу көзіне, GND пині жерге ортақ шинаға, басқарушы сигнал PWM Arduino цифрлық шығысына жалғанады.

3.6 18650 формасындағы литий-ионды аккумулятор және батарея ұясы

18650 – қазіргі уақытта ең кең таралған цилиндрлік литий-ионды, қайта қуаттауға мүмкіндік беретін аккумуляторлардың бірі. Оның атауы өлшемдерінен, яғни 18 мм диаметрі және 65 мм ұзындығынан туындаған. Бұл цилиндрлік литий-ионды аккумуляторлар жоғары энергия тығыздығымен, қайта қуаттауға беретін мүмкіндігінің арқасында ұзақ қызмет ету мерзімімен ерекшеленеді. Олар көбінесе портативті құрылғыларда, автономды жүйелерді жобалауда, электротранспортта және Arduino жобаларында қолданылады. 3.8 - суретте цилиндрлік литий-ионды аккумуляторлардың кескіні және 3.5 - кестеде негізгі техникалық сипаттамалары келтірілген.

3.5 кесте – 18650 формасындағы литий-ионды аккумуляторлардың негізгі техникалық сипаттамалары

Номиналды кернеу	3.7 В
Қуат сыйымдылығы	1500–3500 мА·сағ (модельге байланысты)
Қайта зарядталу саны	500–1000 цикл
Шығу тогы	Тұрақты (әдетте 2–10 А аралығында)
Қорғаныс	кіріктірілген РСМ (Protective Circuit Module) баp



3.8 - сурет – 18650 формасындағы литий-ионды аккумуляторы

3.7 Редукторлы тұрақты ток қозғалтқышы

Редукторы бар тұрақты ток қозғалтқышы – Беріліс қорабы алдыңғы бөлігінде орналасқан, әдетте сары түсте келетін пластик корпуста орналасқан құрылғы. Құрылғының беріліс жүйесінің қатынасы 1:48, яғни айналу моментті арттырғанда, шығыс білігіндегі күш көбейеді.

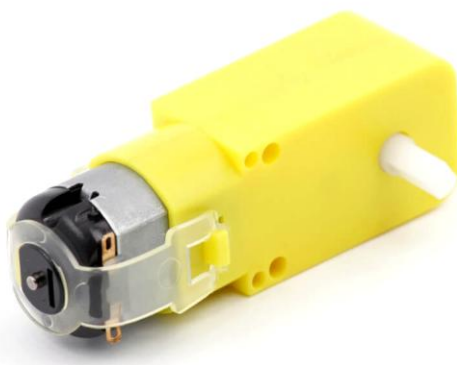
Редуктордың тісті берілістері пластикалық материалдан жасалған, ол өз кезегінде механикалық тиімділікті қамтамасыз етеді.

Қозғалтқыштың жетекші білігі сыртқа екі жағынан шығады, бұл қозғалтқыштың дөңгелекті орнату мүмкіндігін екі еселейді, яғни дөңгелектерді оң немесе сол, кез-келген жағынан орнатуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, екінші жағына айналысты бақылау жасауға мүмкіндік беретін оптикалық энкодердің дөңгелегін бекітуге болады.

Сенімді механикалық құрылымының арқасында және шағын өлшемдерімен мобильді роботтарды құрастыруда, Arduino жобаларында және түрлі автоматтандырылған жүйелерде кеңінен қолданылады. 3.9 - суретте редукторы бар тұрақты ток қозғалтқышының кескіні және 3.6 - кестеде негізгі техникалық сипаттамалары келтірілген.

3.6 кесте – Қозғалтқыштың негізгі техникалық сипаттамалары

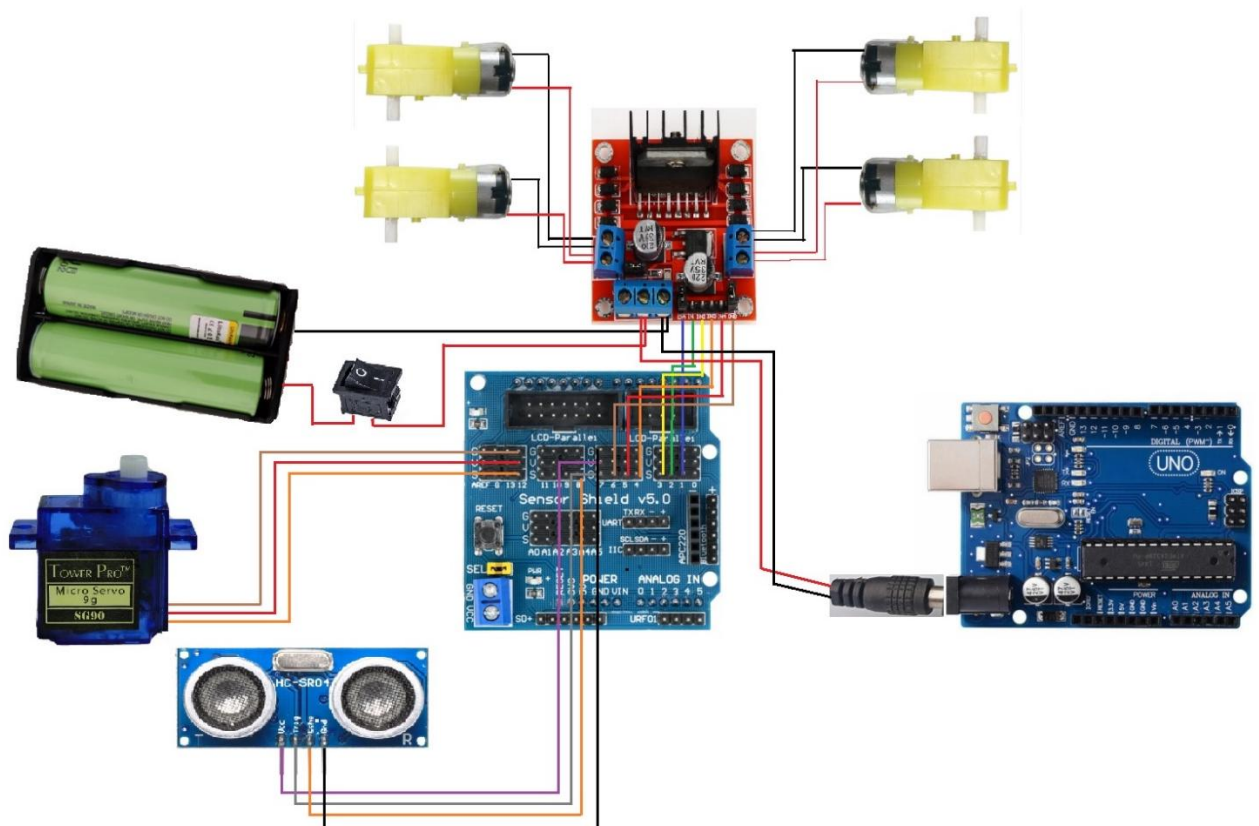
Жұмыс кернеуі	3 – 12 В
Ұсынылатын кернеу	6 – 8 В
Редуктордың беріліс қатынасы	1:48 (3 В кернеуінде, жүктемесіз)
Номиналды тұтыну тогы	70 мА
Максималды ток	250 мА
Айналу жылдамдығы	100 айн/мин (3 В кезінде), 200 айн/мин (6 В кезінде)
Шығу білігінің диаметрі	3,5 мм
Салмағы	40 г
Габариттік өлшемдері	70.5 × 27 × 23 мм



3.9 - сурет – Редукторлы тұрақты ток қозғалтқышы

3.8 Мобильді робот құраушыларының қосу схемасы

Мобильді роботты құрастыруда Arduino Uno микроконтроллері және перифериялық құрылғыларды қосуға мүмкіндік беретін Sensor Shield v5.0 модулі қолданылды. Тұрақты ток негізіндегі редукторлы қозғалтқыш жетектері L298N драйвері арқылы басқарылады. Қоршаған ортадағы кедергілерді анықтау мақсатында HC-SR04 ультрадыбыстық датчик пайдаланылды. Мобильді робот автономды түрде қозғалу мүмкіндігіне ие болуы үшін қуат көзі ретінде 18650 аккумуляторлары таңдалды. Аталған МР құраушыларының бір-біріне қосу схемасы 3.10 - суретте көрсетілген.



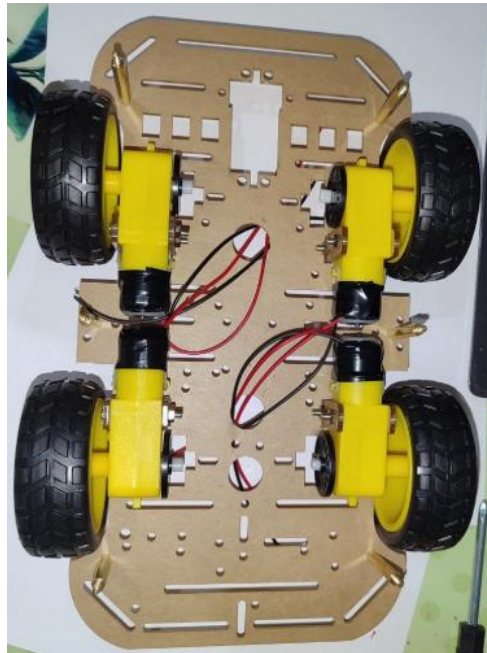
3.10 - сурет – МР құраушыларының бір-біріне қосу схемасы

L298N қозғалтқыш драйверіне төрт мотор-редуктор жалғанды, олардың әрқайсысы сәйкесінше қызыл және қара сымдары драйвердің тиісті motor пиніне жалғанды. Бұл мотор-редукторлардың қозғалысын басқаруға мүмкіндік берді. Қуат көзі ретінде екі 18650 аккумуляторы батарея қолданылады, қосу схемасында көрсетілгендей қара сым L298N қозғалтқыш драйверінің GDN пиніне, ал қызыл түсті сым өшіріп қосқыш батырмасы арқылы VMS пиніне жалғанды.

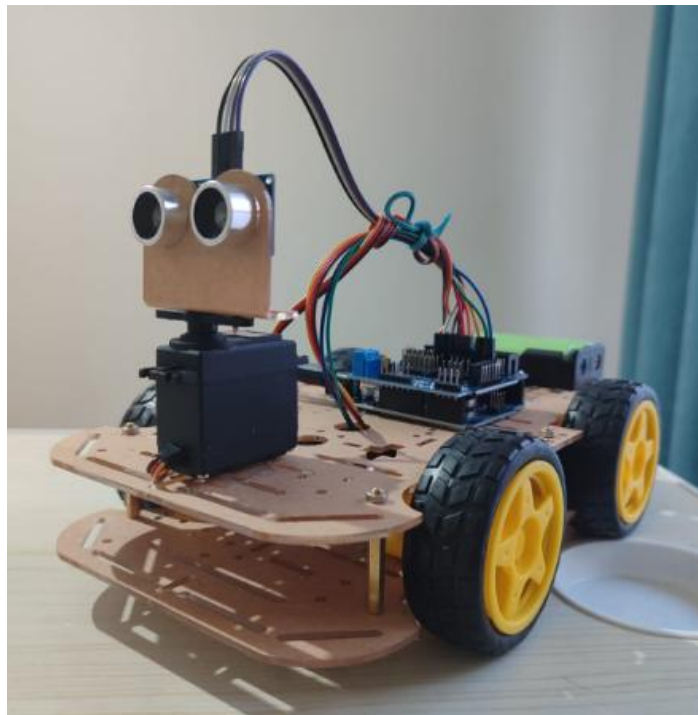
Қосымша құрылғыларды жалғау мақсатында Sensor Shield кеңейткіш модуль пайдаланылды. Ең алдымен қозғалтқыш драйверімен жалғап аламыз, ENA, IN1, IN2 IN3, IN4, ENB пиндері арқылы кеңейткіш модульдің сигналды басқару пиндеріне жалғанады. Ал модуль Arduino-ға тікелей орнатылады. HC-

SR04 ультрадыбыстық қашықтық датчигі және сервожетек кеңейткіш модуліне жалғанды.

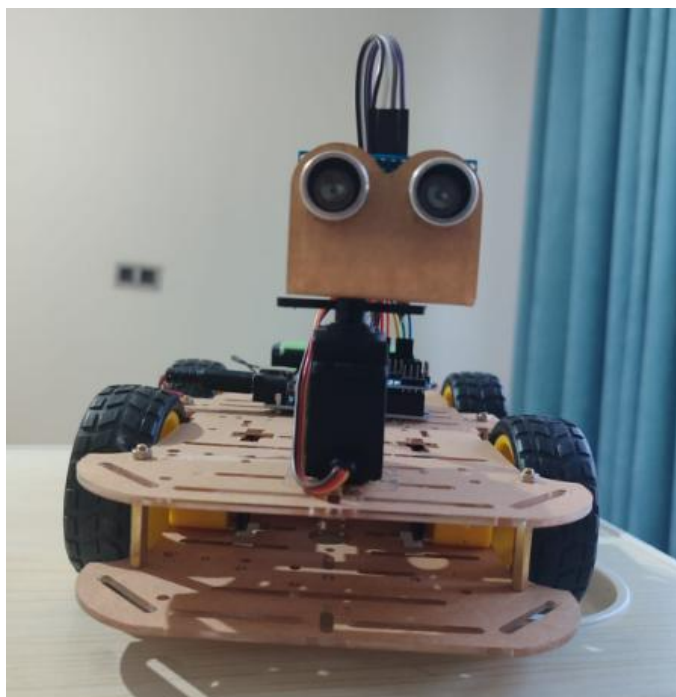
3.10 - суретте көрсетілген схема бойынша мобильді роботтың прототипі құрастырылды. Алдымен 3.11 - суретте мотор-редукторлардың орналасуы келтірілген, сәйкесінше келесі суреттерде мобильді роботтың дайын жиналған прототипі бейнеленген.



3.11 - сурет – Қозғалтқыштардың жалғануы



3.11- сурет – Мобильді роботтың прототипінің қырынан қарағандағы бейнесі



3.12- сурет – Мобильді роботтың прототипінің тура алдынан қарағандағы бейнесі



3.13 - сурет – Мобильді роботтың оқыту алгоритмін тәжірибе жүзінде тексеру

Зерттеу нәтижесінде редукторы бар тұрақты ток қозғалтқыштары, сервопривод, ультрадыбыстық қашықтық өлшегіш, L298N қозғалтқыш драйвері, Sensor Shield кеңейткіш модулі және Arduino Uno микроконтроллері негізінде мобильді роботтың жабық кеңістікте кедергілерді оқыту мақсатында жұмыс істейтін прототипі жасалды.

Магистрлік диссертацияны орындау барысында жинақталған мобильді роботтың прототипі жабық кеңістікте берілген тапсырманы орындау мақсатында сыналды және тәжірибе оң нәтиже көрсетті. Құрастырылған схема мен жасалған алгоритмдер негізінде мобильді роботтың прототипі автономды түрде қозғала алады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл магистрлік диссертацияда жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқытудың және оларды тиімді айналып өту алгоритмі жасалды. Негізгі теориялық бөлімде мобильді роботтың түрлеріне, одан бөлек МР басқару алгоритмдеріне талдау жасалды. Голономды емес жүйелердің кинематикалық моделдері табылды.

Мобильді роботтардың бұрыштық және сызықтық жалдамдықтарын есептеу теңдеулері құрастырылып, уақытқа тәуелділік графиктері MatLab SimuLink ортасында тұрғызылды. Сондай-ақ, мобильді роботты басқарудың алгоритмдері жасалды.

Басқару алгоритмі негізінде мобильді роботтың прототипі жасалды. Ол үшін Arduino Uno платформасы, Sensor Shield v5.0 платасы, L298N қозғалтқыш драйвері, HC-SR04, SG90 сервожетек, редукторлы тұрақты ток қозғалтқыштары, 18650 формасындағы литий-ионды аккумуляторлары қолданылды. Мобильді роботтың прототипі жиналғаннан кейін, Arduino IDE ортасының көмегімен бағдарламалық код енгізілді.

Басқару алгоритмінің және бағдарламалық кодтың дұрыстығын тексеру мақсатында жабық кеңістікте тәжірибелер жүргізілді. Нәтижесінде мобильді роботты жабық кеңістікте кедіргілерді анықтау мақсатында алгоритмдер оқытылды. Ұсынылған алгоритм өз міндеттерін дұрыс орындайтынын, яғни кедергілерді анықтау мақсатында олармен соқтығыспай айналып өтетіндігі көрсетілді. Бұл нәтиже магистрлік диссертацияны орындау барысында қойылған негізгі тапсырмалар орындалғанын көрсетеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Klančar G., Zdešar A., Blažič S., Škrjanc I. *Wheeled Mobile Robotics: From Fundamentals Towards Autonomous Systems*. – Ljubljana: University of Ljubljana, 2016. – 502 p.
- 2 Рубио Ф., Валеро Ф., Ллопис-Альберт К. Обзор мобильных роботов: концепции, методы, теоретические основы и приложения // *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2019.
- 3 Инструкция по эксплуатации iRobot Roomba 620, 2009-2010, <https://www.manualspdf.ru/irobot/roomba-620/инструкция?p=33>
- 4 Робот Atlas от Boston Dynamics , 2025, <https://www.ixbt.com/news/2025/03/20/atlas-atlas-boston-dynamics.html>
- 5 Katona K., Neamah H. A., Korondi P. Obstacle Avoidance and Path Planning Methods for Autonomous Navigation of Mobile Robot // *Sensors*. 2024. Vol. 24, № 11. Art. 3573.
- 6 Ханкелдиева Г., Абжапаров К. Разработка алгоритма обхода стационарных препятствий мобильным роботом в замкнутом пространстве // Труды междунар. науч.-практ. конф. «Satbayev International Conference 2024. Интеграция науки и технологий: путь к устойчивому развитию». Алматы, 2024. С. 1018–1023.
- 7 Исаев А. Г. Автономные мобильные роботы: теория и практика. Москва: МГТУ, 2021. 286 с.
- 8 Кузнецов В. И. Техническое зрение для мобильных роботов. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2020.– 214 с.
- 9 Сидоров И. П. Применение систем технического зрения в мобильной робототехнике // *Журнал робототехники и автоматизации*. 2019. Т. 12, № 3. – С. 45–50.
- 10 Ханкелдиева Г. Э., Абжапаров К. А. Мобильді роботтың қозғалысын бағдарлау жүйесі // Труды междунар. науч.-практ. конф. «Устойчивое развитие и современные комплексные, ресурсосберегающие и энергоемкие технологии в горно-металлургической отрасли». Алматы, 2024.– С. 334–339.
- 11 Девянин Е. А. О движении колёсных роботов // Докл. науч. школы-конф. «Мобильные роботы и мехатронные системы», 7—8 декабря 1999 г. Москва: Институт механики МГУ, 1999. С. – 169–200.
- 12 Мартыненко Ю. Г. Динамика и кинематика мобильных роботов // *Соросовский образовательный журнал*. 2000. № 5. С. – 110 –116.
- 13 Карташев В. А., Павловский В. Е., Платонов А. К., Сазонов В. В., Соколов С. М., Ярошевский В. С. Опыт создания алгоритмов и программ для управления роботами (организация работ и пути повышения надежности роботов). 2016. – С.32.
- 14 Бейсембаев А. А., Әсембай А. Ә. Формализованное описание и алгоритм построения компоновочной схемы роботизированного технологического комплекса // *Вестник КазНУ*. 2017. № 3 (121). – С. 557–563.

15 Ханкелдиева Г. Э., Абжапаров К. А. Жабық кеңістіктегі мобильді роботтың стационарлы кедергілерді айналып өту алгоритмін жобалау // Сб. трудов конф. «Сатпаевские чтения». Алматы, 2024. – С. 1018–1023.

16 Arduino. Arduino Uno Rev3. Technical documentation, 2025. <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>

17 Блум Дж. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства. Москва: ДМК Пресс, 2018. 336 с.

18 AmperMarket.kz. Сенсорный шилд для Arduino Uno V5.0., 2025. <https://ampermarket.kz/shields/sensor-shield-v5/>

19 AmperMarket.kz. Драйвер двигателей L298Nб 2025. <https://ampermarket.kz/motors/drivers/driver-l298n/>

А Қосымшасы

MP басқару алгоритмінің бағдарламалық коды

```
#include <Servo.h>

Servo myservo;

int enableA = 1;
int pinA1 = 3;
int pinA2 = 2;

int servposnum = 0;

int enableB = 6;
int pinB1 = 5;
int pinB2 = 4;

#define trigPin 7
#define echoPin 8

// Объявляем функции заранее
void car();
void avoid();
void enableMotors();

void setup() {
    pinMode(enableA, OUTPUT);
    pinMode(pinA1, OUTPUT);
    pinMode(pinA2, OUTPUT);

    pinMode(enableB, OUTPUT);
    pinMode(pinB1, OUTPUT);
    pinMode(pinB2, OUTPUT);

    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);

    myservo.attach(9); // Подключен к пину 9

    enableMotors(); // Включаем моторы
    Serial.begin(9600); // Для отладки, не обязательно
}

void loop() {
    car();
    avoid();
}
```

А Қосымшасының жалғасы

```
// --- жетектерді басқару ---
void motorAforward() {
    digitalWrite(pinA1, HIGH);
    digitalWrite(pinA2, LOW);
}
void motorBforward() {
    digitalWrite(pinB1, LOW);
    digitalWrite(pinB2, HIGH);
}
void motorAbackward() {
    digitalWrite(pinA1, LOW);
    digitalWrite(pinA2, HIGH);
}
void motorBbackward() {
    digitalWrite(pinB1, HIGH);
    digitalWrite(pinB2, LOW);
}
void motorAstop() {
    digitalWrite(pinA1, HIGH);
    digitalWrite(pinA2, HIGH);
}
void motorBstop() {
    digitalWrite(pinB1, HIGH);
    digitalWrite(pinB2, HIGH);
}
void motorAcoast() {
    digitalWrite(pinA1, LOW);
    digitalWrite(pinA2, LOW);
}
void motorBcoast() {
    digitalWrite(pinB1, LOW);
    digitalWrite(pinB2, LOW);
}
void motorAon() {
    digitalWrite(enableA, HIGH);
}
void motorBon() {
    digitalWrite(enableB, HIGH);
}
void motorAoff() {
    digitalWrite(enableA, LOW);
}
void motorBoff() {
    digitalWrite(enableB, LOW);
}

void forward(int duration) {
    motorAforward();
    motorBforward();
}
```

А Қосымшасының жалғасы

```
    delay(duration);
}
void backward(int duration) {
    motorAbackward();
    motorBbackward();
    delay(duration);
}
void right(int duration) {
    motorAbackward();
    motorBforward();
    delay(duration);
}
void left(int duration) {
    motorAforward();
    motorBbackward();
    delay(duration);
}
void coast(int duration) {
    motorAcoast();
    motorBcoast();
    delay(duration);
}
void breakRobot(int duration) {
    motorAstop();
    motorBstop();
    delay(duration);
}
void disableMotors() {
    motorAoff();
    motorBoff();
}
void enableMotors() {
    motorAon();
    motorBon();
}

// --- Датчик расстояния ---
int distance() {
    int duration, dist;
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH, 30000); // 30ms таймаут
    dist = duration / 58;
    return dist;
}
```

А Қосымшасының жалғасы

```
// --- Главная логика движения ---
void car() {
    int distance_0 = distance();

    while (distance_0 > 15) {
        // Поворот сервопривода для сканирования
        if (servposnum == 0) {
            myservo.write(90); // Центр
            servposnum = 1;
            delay(200);
        } else if (servposnum == 1) {
            myservo.write(135); // Правее
            servposnum = 2;
            delay(200);
        } else if (servposnum == 2) {
            myservo.write(90); // Снова центр
            servposnum = 3;
            delay(200);
        } else if (servposnum == 3) {
            myservo.write(45); // Левее
            servposnum = 0;
            delay(200);
        }

        forward(100);
        distance_0 = distance();
    }

    breakRobot(0);
}

// --- Объезд препятствия ---
void avoid() {
    backward(500);
    right(360);
}
```

Ханкелдиева Гулнара Эркиновнаның

(Білім алушының Т. А. Ә.)

Магистрлік диссертациясына

(жұмыс түрінің атауы)

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

(Шифр және ББ атауы)

Тақырыбы: «Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау».

Магистрлік диссертацияда жабық кеңістікте мобильді роботтың кедергілерді анықтау қабілетін арттыруға бағытталған оқыту алгоритмі жасалған. магистрант бірқатар маңызды міндеттерді орындаған: мобильді роботтың кинематикалық моделін құрып, кедергілерді анықтау алгоритмдерін жасаған. Сондай-ақ, мобильді роботтың нақты прототипі жасалып, тәжірибелік сынақтар жүргізілген.

Теориялық бөлімде мобильді роботтардың түрлеріне, олардың қозғалысын басқару алгоритмдеріне – атап айтқанда, классикалық және эвристикалық тәсілдерге шолу жасалған. Жүйенің навигациясы мен траекторияны жоспарлау механизмдері талданып, математикалық модельдер құрылып, MatLab Simulink ортасында бұрыштық және сызықтық жылдамдықтардың уақытқа тәуелділік графиктері модельденген.

Практикалық бөлімде Arduino Uno платформасын қолданылып, нақты физикалық прототип жиналған. Роботтың микроконтроллері – ATmega328P негізінде бағдарламалық код әзірленіп, алгоритмдер тәжірибе жүзінде сынақтан өткізілген.

Диссертацияны орындау барысында магистрант Ханкелдиева Гулнара Эркиновна өзін теориялық жағынан дайындығы жоғары, инженерлік есептерді шешуге қабілетті, зерттеу жүргізуде тиянақты, жауапкершілікті сезінетінін көрсете білді.

Жұмыс қойылған мақсатқа толықтай сай келеді, құрылымы мен мазмұны ғылыми талаптарға сәйкес келеді. Магистрлік диссертация барлық талаптарға сай орындалған және 7M07101 – «Автоматтандыру және роботтандыру» білім беру бағдарламасы бойынша құрылған Мемлекеттік аттестаттау комиссиясында қорғауын ұсынамын.

Ғылыми жетекші

Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ

«Автоматтандыру және басқару»

кафедрасының қауымдастырылған

профессоры, PhD

 Абжапаров К.А.

« 13 » 06 2025 ж.

Ханкелдиева Гулнара Эркиновнаның

(Білім алушының Т. А. Ә.)

Магистрлік диссертациясына

(жұмыс түрінің атауы)

СЫН-ПІКІР

7M07101 – Автоматтандыру және роботтандыру

(Шифр және ББ атауы)

«Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау» тақырыбында орындалған.

Орындалды:

а) Графикалық бөлім 15 бетте

б) түсіндірме жазбасы 66 бетте

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Ұсынылған магистрлік диссертацияда мобильді робототехника саласындағы өзекті мәселелердің бірі – жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында роботты оқыту алгоритмін әзірлеуге бағытталған.

Жұмысты орындау барысында, технологиялық бөлімде голономды емес механикалық жүйелердің қозғалыс теңдеулері мен олардың матрицалық сипаттамалары көрсетілген. Сонымен қатар, мобильді роботтың кинематикалық теңдеулері құрастырылып, MatLab Simulink ортасында бұрыштық және сызықтық жылдамдықтардың уақытқа тәуелділігі модельденген. Бұл бөлімде басқару алгоритмдерін нақты математикалық және визуалды модельдер арқылы сипатталған. Мобильді роботтың прототипі құрастырылған. Алгоритмдер ATmega328P микроконтроллеріне негізделген Arduino платформасына жүктеліп, тәжірибелік тексерулер арқылы олардың тиімділігі көрсетілген.

Орындалған жұмысқа келесі ескертулер бар:

– Эксперименттік деректердің көлемі шектеулі. Тәжірибелік сынақтар нақты бір жағдайларда ғана жүргізілген;

– Ультрадыбыстық датчиктен (HC-SR04) алынған деректерге сүзгілеу, шуылдан тазарту немесе сенімділікті арттыру әдістері терең сипатталмаған.

Аталған ескертулерге қарамай, магистрлік диссертация жоғары деңгейде орындалған және жақсы тәжірибелік нәтижелер көрсетті.

Магистрлік диссертация 7M07101 – «Автоматтандыру және роботтандыру» білім беру бағдарламасының талаптарымен орындалған. Жалпы, В+ (88%) "жақсы" деген бағаға ие, ал Ханкелдиева Гулнара Эркиновна 7M07101 – «Автоматтандыру және роботтандыру» білім беру бағдарламасының магистр лауазымына сай деп есептеймін.

Сын-пікір беруші

Ғ. Даукеев атындағы АЭЖБУ

"IT және Жасанды интеллект"

кафедрасының доктор PhD,

қауымдастырылған профессоры

Иманбекова У. Н.

«16» 06 2025ж.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

Қызметі
«16» 06 2025ж.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ханкелдиева Гулнара Эркиновна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау

Научный руководитель: Куаныш Абжапаров

Коэффициент Подобия 1: 7.7

Коэффициент Подобия 2: 5.5

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 2

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:

Осы жұмыстағы ұсынылған плагиат болып есептелмейді, шығарам тіл кәсіпші құрылымын сәйкестендірген, ақпараттың көрсетілуі оң, бірақ ақпарат осы жұмыстың құрамына кірмейді.

Дата

проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ханкелдиева Гулнара Эркиновна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау

Научный руководитель: Куаныш Абжапаров

Коэффициент Подобия 1: 7.7

Коэффициент Подобия 2: 5.5

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 2

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



Заведующий кафедрой

**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: Ханкелдиева Гулнара Эркиновна

Тақырыбы: Жабық кеңістіктегі кедергілерді анықтау мақсатында мобильді роботты оқыту алгоритмін жасау

Жетекшісі: Куаныш Абжапаров

1-ұқсастық коэффициенті (30): 7.7

2-ұқсастық коэффициенті (5): 5.5

Дәйексөз (35): 0.3

Әріптерді ауыстыру: 2

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

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 жіберілсін.

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

Негіздеме:

Күні



Кафедра меңгерушісі



PolyTech is the best!



СЕРТИФИКАТ

Certificate

«SATBAYEV INTERNATIONAL CONFERENCE - 2024. INTEGRATION OF SCIENCE AND TECHNOLOGY:
THE PATHWAY TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT»

жоғарғы деңгейлі
on the topic

«Жабық кеңістіктегі мобильді роботтың стационарлы кедергілерді
айналып өту алгоритмін жобалау»

« Development of an algorithm for circumventing stationary obstacles
by a mobile robot in a confined space»
(Г. Ханкелдиева, К. Абжапаров)

атты мазмұнды баяндама ұсынғаны үшін беріледі
for providing a high-level seminar report



М.Бегентаев

2024 ж.



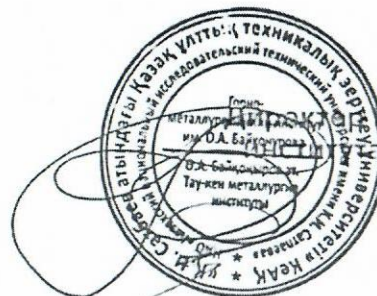
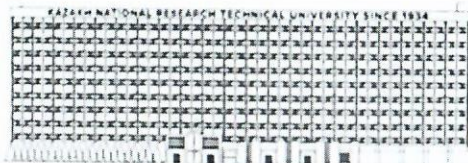
СЕРТИФИКАТ

подтверждает, что

Ланкедиева Т.Э., Абжанаров Ж.А.

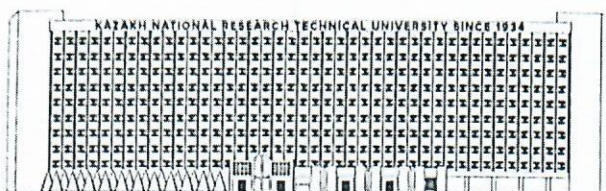
принял (-а) участие в Международной научно-практической конференции
**«УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ,
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭНЕРГОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ»**

посвященной 85-летию со дня рождения академика НАН ВШ, заслуженного деятеля РК,
профессора, доктора технических наук Луганова Владимира Алексеевича



горно-металлургического
имени О.А. Байконурова
Рысбеков К.Б

2024



PolyTech is the best!

ДИПЛОМ

**«International Satbayev Conference 2024.
Ғылым мен технологияның интеграциясы:
тұрақты даму жолы»**
халықаралық конференциясына қатысып,

Сәткелдиева Гүлжара Әркеновна

I орын

алғаны үшін марапатталады



М. Бегентаев