

Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті

ӘОЖ 621.396:004.896:004.93-047.37(043.3)

Қолжазба құқығында

**НУСИБАЛИЕВА АРАЙЛЫМ БЕКЖАНОВНА**

**М2М технологиясы негізінде робототехникалық жүйелер үшін жасанды  
көруді жобалау**

6D071900 – «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»

Философия докторы (PhD)

дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация жұмысы

Ғылыми жетекші:

PhD., қауымдастырылған профессор

Ғани Күдайбергенович Балбаев

Шетелдік ғылыми кеңесші:

PhD., профессор,

Джузеппе Карбоне

(Калабрия, Италия)

Қазақстан Республикасы

Алматы, 2024

## МАЗМҰНЫ

<b>НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР .....</b>	<b>3</b>
<b>ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ .....</b>	<b>4</b>
<b>КІРІСПЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>1 РОБОТТЫ КӨРУ ЖҰЙЕЛЕРІНДЕГІ М2М ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ШЕШІМДЕРІН ТАЛДАУ .....</b>	<b>9</b>
1.1 М2М технологияласы туралы түсінік.....	9
1.2 М2М-де қолданылатын байланыс хаттамалары.....	14
1.2.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) .....	14
1.2.2 CoAP (Constrained Application Protocol).....	17
1.2.3 LwM2M (Lightweight M2M) .....	18
1.2.4 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network).....	21
1.3 М2М технологияларын әртүрлі салаларда қолдануды зерттеу .....	24
1.4 Робототехникалық жүйелерде М2М (Machine-to-Machine) қолдануды зерттеу .....	28
1.5 М2М-ді робототехникамен біріктірудің техникалық мәселелері.....	39
1.6 М2М көмегімен Параллель Роботтық жүйелерді интеграциялау .....	46
1.7 Жасанды көру жүйесін ПР операцияларын синхрондауға біріктіру.....	53
1.8 Жасанды көру жүйесі бар ПР-қа шолу .....	56
1.9 Тарау бойынша қорытынды.....	63
<b>2. ПАРАЛЛЕЛЬ РОБОТТЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ ЖӘНЕ 3D МОДЕЛЫ.66</b>	<b>66</b>
2.1 Параллель робот платформасының центрінің орналасу қателігін есептеу .66	66
2.2 ПР жүйесінің трансляциялық қозғалыстарының кинематикасы .....	72
2.3 Параллель роботтың жұмыс аймағын анықтау .....	79
2.4 Орын ауыстыруынан туындаған платформа центрінің қателігін есептеу ...	83
2.5 Параллель Роботтың 3D моделі.....	85
2.6 Тарау бойынша қорытынды.....	86
<b>3. ПР БАСҚАРУ ЖҰЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ .....</b>	<b>88</b>
3.1 М2М байланыс протоколымен жасанды көру жүйесін құру .....	88
3.2 Жасанды көру жүйесін М2М байланыс хаттамасымен біріктіру .....	92
3.3 Тарау бойынша қорытынды.....	99
<b>4. М2М АРҚЫЛЫ БАСҚАРЫЛАТЫН ПАРАЛЛЕЛЬ РОБОТТЫ ЖАСАНДЫ ОРТАДА СЫНАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ .....</b>	<b>101</b>
4.1 Параллель Роботтың басқару жүйесінің прототипі .....	101
4.2 М2М арқылы басқарылатын ПР эксперименттік зерттеу .....	105
4.3 Нәтижелер мен объектілерді анықтау модельдерін талдау.....	108
4.4 Тарау бойынша қорытынды.....	114
<b>ҚОРЫТЫНДЫ.....</b>	<b>115</b>
<b>ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ .....</b>	<b>116</b>
<b>ҚОСЫМША А.....</b>	<b>126</b>

## НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертациялық жұмыста келесі стандарттарға сәйкес сілтемелер қолданылған:

ҚР СТ МЕСТ Р 52017-2010 (МЕСТ Р 52017-2003, IDT) «Ғарыш аппараттары. Ғарыштық тәжірибені дайындау және жүргізу тәртібі».

ҚР СТ МЕСТ Р 51264-2010 - «Электронды байланыс, информатика және сигнал беру құрылғылары. Жалпы техникалық шарттар».

МЕСТ 6.38.90 – Құжаттаманың сәйкестендірілген жүйелері. Ұйымдастырушылық-жарлықтық құжаттама жүйесі. Құжаттарды рәсімдеуге қойылатын талаптар.

МЕСТ 7.32.2001 – Ақпарат, кітапхана және баспа істері жөніндегі стандарттар жүйесі. Ғылыми зерттеу жұмысы жөніндегі есеп. Рәсімдеу құрылымы мен ережелері.

МЕСТ 8.417 – 81 – Мемлекеттік өлшемдер біртұтатстығын қамтамасыз ету жүйесі. Физикалық шамалардың бірліктері.

ҚР СТ МЕСТ 15.011-2005 – Патенттік зерттеулер.

## ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ

M2M – Машинааралық байланыс;

ЖИ (AI) – Жасанды интеллект;

МО – Машиналық оқыту;

TLS – Transport Layer Security

CoAP – Constrained Application Protocol (Шектеулі қолданба протоколы)

ПР – Параллель робот

ДТ – Дельта Робот

ЖК – Жасанды Керу

## КІРІСПЕ

**Жұмыстың өзектілігі.** Machine-to-Machine (M2M) технологияларын қолдана отырып, роботтық жүйелерде жасанды көруді дамыту байланыс саласында үлкен маңызға ие. Бұл қиылысу бірнеше салада инновациялар мен практикалық қосымшаларды ынталандырады. Жақсартылған байланыс жүйелері және жұмыстардағы жасанды көру жүйелеріне деректерді беру визуалды деректердің үлкен көлемін жасайды. M2M технологиялары шешім қабылдау процестерін жақсартып отырып, роботтар мен Орталық жүйелер арасында осы деректердің тиімді және сенімді берілуін қамтамасыз етеді. Өткізу қабілеттілігін басқару жетілдірілген M2M протоколдары роботтық жүйелердің маңызды визуалды деректерінің басымдыққа ие болуын және ең аз кідіріспен берілуін қамтамасыз ету арқылы өткізу қабілеттілігін пайдалануды оңтайландырады.

Бұл жұмыста M2M байланыс технологияларын қолдана отырып, Параллель Роботтың (ПР) жасанды көріністерін әзірлеу қарастырылды, негізгі компоненттерге, процестерге және ықтимал қосымшаларға баса назар аударылды.

**Жұмыстың мақсаты.** M2M технологияларын қолдану арқылы Параллель Роботтың жасанды көрінісін әзірлеу.

**Жұмыс әдістері (идея)** – аналитикалық, компьютерлік модельдеу әдістері және виртуалды сынақтар қолданылады. Модельдеу құралдары ретінде SolidWorks 3D CAD Design Software & PDM Systems қолданылды, сонымен қатар Arduino IDE бағдарламалау модельдеу нәтижелерін өңдеу үшін қолданылды.

### **Жұмыстың міндеттері:**

Диссертацияда қойылған мақсатқа сәйкес мынадай міндеттер тұжырымдалған:

1. M2M арқылы басқарылатын жасанды интеллекттегі Параллель Роботтың кинематикалық сұлбасын жасау.
2. M2M басқарылатын жасанды интеллекттегі Параллель Роботтың 3D модельн және механикалық дизайнын, басқару жүйесін және электроникасын әзірлеу.
3. Нысандарды тану және кескіндерді өңдеу үшін компьютерлік көру алгоритмдерін әзірлеу.

### **Қорғауға шығарылған негізгі ережелер:**

1. M2M басқарылатын жасанды интеллекттегі Параллель Роботының кинематикалық мәнімен жұмыс аймағын анықтау.
2. Әзірленген кинематикалық модельді қолдана отырып, Параллель Роботтың 3D моделімен механикалық дизайнын SolidWorks 3D CAD Design Software & PDM Systems бағдарламалық кешенінде құрылды.
3. Параллель Робот пен M2M байланыс протоколымен жасанды көру жүйесін құру және біріктіру.
4. Жасанды көру жүйесін M2M байланыс хаттамасымен біріктіру.

5. M2M арқылы басқарылатын Параллель Роботтың зертханалық моделін тестілеу және верификациялау үшін жасанды ортада сынау және бағалау.

**Жұмыстың негізгі нәтижелері:**

1. Параллель робот платформасының центрінің орналасу қатесін есептеу және орын ауыстыруынан туындаған платформа центрінің қателігін есептеу.
2. Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN алгоритмінің архитектурасы.
3. Объектілердің траекториясын анықтауға және бақылауға арналған машиналық көру схемасы
4. Машина мен машинаның өзара әрекеттесуінің блок-схемасы (M2M).
5. Қозғалыс траекториясын болжауға арналған роботтық платформаның жұмыс схемасы.

**Жұмыс нысаны** – M2M арқылы басқарылатын жасанды интеллекттегі Параллель Робот.

**Жұмыстың пәні** – объектілерді анықтау мен сұрыптаудың дәлдігі мен жылдамдығына баса назар аударатын отырып, M2M байланыс технологиялары мен жасанды көру әдістерін қолдана отырып басқарылатын ПР-ты бағыттау жүйесін әзірлеу және зерттеу.

**Ғылыми жаңалығы:**

- M2M арқылы басқарылатын жасанды интеллекттегі ПР-тың кинематикалық сұлбасын әзірлеу болып табылды.
- Нысандарды тану және кескіндерді өңдеу үшін компьютерлік көру алгоритмдерін әзірлеу.
- Бағдарламалық алгоритмі бар M2M арқылы басқарылатын жасанды интеллекттегі ПР-тың зертханалық үлгісін ұсыну.

**Жұмыстың практикалық маңыздылығы** M2M технологиялары мен машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, ПР-ты жасанды көру және адаптивті нысанды анықтау алгоритмдерінің интеграциясы әртүрлі жарық жағдайларында жоғары манипуляция жылдамдығы мен дәлдігін қамтамасыз етеді.

**Автордың жеке үлесі** зерттеу міндеттерін қоюдан, диссертациялық жұмыста баяндалған теориялық және эксперименттік зерттеулердің негізгі көлемін орындаудан, алынған нәтижелерді қорыту, эксперименттік зерттеу әдістемелерін әзірлеу, зерттеулер жүргізу, қорытындылар мен ұсыныстар әзірлеу, нәтижелерді талдау және оларды ғылыми мақалалар мен баяндамалар түрінде рәсімдеуден тұрады.

**Жұмыс нәтижелерін апробациялау.** Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 4 Халықаралық және ғылыми-техникалық конференцияларда, соның ішінде:

- Mechanisms and Machine Science, Springer, New Trends in Medical and Service Robotics халықаралық конференциясында (Cluj-Napoca, Romania, 2018 ж.);
- Mechanisms and Machine Science, Springer, Advances in Mechanism and Machine Science (IFTToMM WC 2019) халықаралық конференциясында (Kraków, Poland. 14 June 2019);

– 2020 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR) халықаралық конференциясында (Cluj-Napoca, Romania); апробациядан өтті.

**Жұмыстың жарияланымдары.** Диссертация тақырыбы бойынша 10 баспа жұмысы жарияланды. Оның ішінде бір жұмыс Scopus (Скопус) деректер базасы мәліметтері бойынша 1-ші квартильге кіретін журналда (процентиль 79%), екі жұмыс – Scopus (Скопус) деректер базасы мәліметтері бойынша 3-ші квартильге кіретін журналда (процентиль 38, 45%), төрт жұмыс - ҚР БҒМ БҒСҚК ұсынған журналда, және 1 пайдалы модельге Патент №5019, 2020. жарық көрді.

#### **Жұмыстың көлемі мен құрылымы.**

Диссертация кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан, пайдаланылған дереккөздер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Диссертацияның көлемі машинамен басылған мәтіннің 127 бетін, 19 кестені, 71 суретті, 46 атау мен 1 қосымшаны қамтитын және 111 әдебиеттер тізімін құрайды.

#### **Жұмыстың негізгі мазмұны**

Жұмыс төрт тараудан құралған.

**I тарауда** роботты көру жүйелерінде M2M (Machine-to-Machine) технологиясын қолданудың әртүрлі аспектілері қарастырылды. M2M негізгі ұғымдары және оның қазіргі әлемдегі маңызы қарастырылды. MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS, AMQP, XMPP, LwM2M, Zigbee және LoRaWAN сияқты негізгі байланыс протоколдары сипатталған, олардың нақты қолданылуы мен артықшылықтарын атап көрсетілді.

Денсаулық сақтау, логистика және ауыл шаруашылығы, сондай-ақ робототехника, әсіресе жасанды көру жүйелерінде M2M қолдану әртүрлі салаларда талданды. M2M-ді робототехникамен біріктіру кезінде туындайтын техникалық мәселелер талқыланады және роботтық жүйелердегі M2M арқасында қол жеткізуге болатын инновациялардың перспективалары қарастырылады.

**II тарауда** жасанды интеллектпен басқарылатын M2M контекстіндегі Параллель роботның кинематикалық сұлбасына арналған. ПР-ның платформа орталығының орналасу қателіктерін есептеу әдістерін, трансляциялық қозғалыс кинематикасының теңдеулері мен әдістерін талдауды, ПР-ның жұмыс аймағын анықтауды және орын ауыстырудан туындаған қателіктерді есептеуді қоса алғанда, негізгі аспектілерді қамтиды. Бұл тарауда ПР-ның дәлдігін, тиімділігін және сенімділігін арттыруға бағытталған.

**III тарауда** ПР-тың дамытудың маңызды аспектілерін қарастырылды, соның ішінде дизайнды жобалау және талдау үшін 3D модельдерін қолдану, компоненттері, схемалары мен контроллерлері бар электронды жүйені құру, деректерді беру және басқару үшін M2M байланыс протоколдарын қолдана отырып жасанды көру жүйесін құру және осы жүйені M2M-мен біріктіру, бұл ПР өзара әрекеттесуін жақсартады.

**IV тарауда** Бұл тарауда манипуляция жылдамдығы мен нысанды анықтау дәлдігі маңызды бөлшектерді орналастыруға және сұрыптауға баса назар аудара

отырып, ПР-ның жасанды көру жүйесін жобалау және бағалау зерттелді. Өндірістік ортадағы эксперименттік зерттеу әртүрлі жарық жағдайларында жүйенің өнімділігін бағалады. С++ және Python қолданатын дамыған жүйе объектілерді дәл анықтау және орналастыру үшін LAB Машиналық оқыту және түс кеңістігін тану әдістерін сәтті қолданды. YOLOv8 және MASK-R-CNN модельдерінің салыстырмалы талдауы YOLOv8 жылдамырақ екенін көрсетті, бірақ MASK-R-CNN әсіресе қиын жарық жағдайында дәлдікті қамтамасыз етеді. Тиісті модельді таңдау тапсырманың талаптарына байланысты маңызды және LAB түс кеңістігін пайдалану нысандарды сүзу мен тануды жақсартты. Тұтастай алғанда, нәтижелер нақты өнімділікті жақсарту үшін модельдерді оңтайландыруға назар аударуды ұсына отырып, өнеркәсіптік қолданбалардағы ПР-ның тиімділігін арттыру үшін заманауи алгоритмдердің әлеуетін көрсетеді.

Қорытындыда диссертациялық зерттеудің алынған нәтижелері мен қорытындылары ұсынылған, таңдалған бағыт бойынша одан әрі жұмыс жоспарлары көрсетілген.



# 1 РОБОТТЫ КӨРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ М2М ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ШЕШІМДЕРІН ТАЛДАУ

## 1.1 М2М технологияласы туралы түсінік

«Машина-машина» немесе М2М — бұл желілік құрылғыларға адамның көмегінсіз ақпарат алмасуға және әрекеттерді орындауға мүмкіндік беретін кез келген технологияны сипаттау үшін қолданылатын кең термин [1]. М2М интернетке қосылусыз екі нүктелі ақпарат алмасуды ұсынады. Ол сондай-ақ адамның қолмен араласуын қажет етпейді. М2М байланысы телеметрияда бұрыннан қолданылған.

Телеметрия — бақылау, талдау және басқару үшін қашықтағы немесе жету қиын объектілерден орталық жүйеге деректерді автоматты түрде өлшеу және беру процесі [2].

Заттар интернеті (IoT, Internet of Things) — бұл интернетке қосылуға және деректермен алмасуға мүмкіндік беретін сенсорлармен, бағдарламалық жасақтамамен және басқа технологиялармен жабдықталған өзара байланысты құрылғылар мен объектілер жүйесін сипаттайтын тұжырымдама. IoT мақсаты — объектілерді нақты уақыт режимінде автоматтандырылған басқару және бақылау мүмкіндігін қамтамасыз ету [3].

М2М Заттар интернеті пайда болғанға дейін пайда болды [1], сондықтан Заттар интернеті М2М функционалдығын жетілдіріп, күрделі функцияларды ұсынады деп айтуға болады [3]. Бұл сымсыз қосылған құрылғыларға адамның қатысуынсыз бір-бірімен тікелей байланысуға мүмкіндік береді. М2М кіріс деректерді сақтайды және оны басқа құрылғыларға жібереді. Бұл құрылғыларға интернетке қосылуды қажет етпестен байланысуға мүмкіндік беретін технология түрі. М2М-дің ең көп таралған қосымшаларының бірі ол бақылау, қорғау және басқару [4].

М2М пайдаланушыларға деректерді бір құрылғыдан екіншісіне жинауға, сақтауға және жіберуге мүмкіндік береді [5]. Бұл пайдаланушыларға өз активтерін қашықтан басқаруға, ұйымдарды басқаруға немесе қашықтан қосылу арқылы құрылғыларға қосылуды ұсынуға мүмкіндік береді. Дегенмен, М2М кеңірек деректер алмасуды немесе құрылғыларды қосуды қамтамасыз етпейді.

Жасанды интеллект (AI) және машиналық оқыту (МО) жүйелер арасындағы байланысты жеңілдетеді, бұл оларға дербес таңдау жасауға мүмкіндік береді [6].

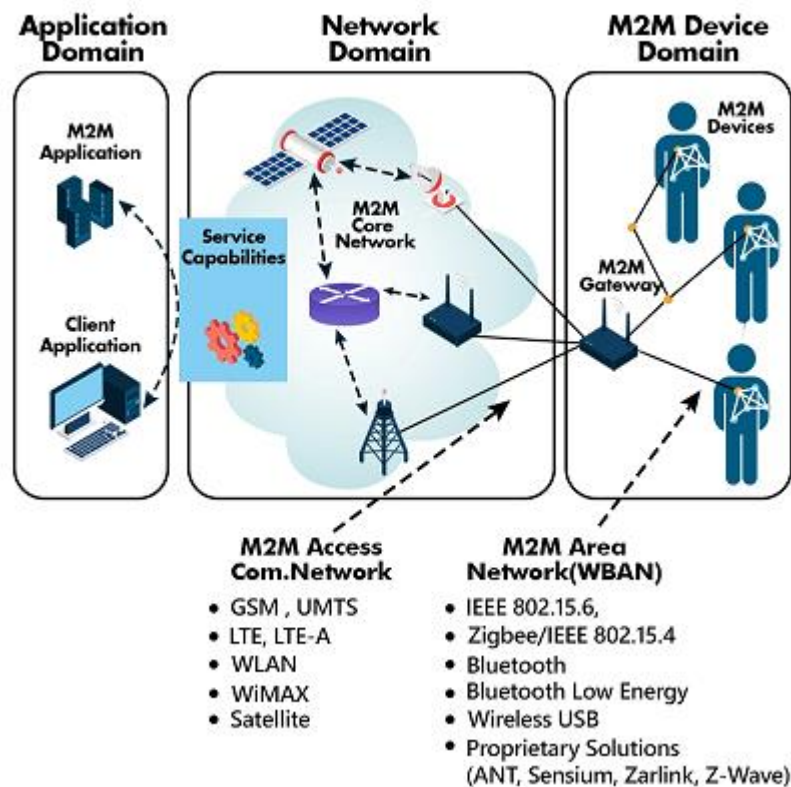
М2М негізгі мақсаты — сенсор деректерін алу және оларды желіге беру. SCADA немесе басқа қашықтан бақылау құралдарынан айырмашылығы, М2М жүйелері оларды үнемді ету үшін жиі қол жетімді желілер мен қол жеткізу әдістерін пайдаланады [7].

М2М жүйесінің негізгі компоненттеріне сенсорлар, RFID, Wi-Fi желісі немесе ұялы байланыс және желілік құрылғыға деректерді түсіндіруге және шешім қабылдауға көмектесу үшін бағдарламаланған офлайн есептеу

бағдарламалық құралы кіреді [8]. Бұл M2M қосымшалары алдын-ала бағдарламаланған автоматтандырылған әрекеттерді орындай алатын деректерді түрлендіреді.

Машинааралық байланыстың ең танымал түрлерінің бірі — өткен ғасырдың басынан бастап жедел деректерді беру үшін қолданылатын телеметрия. Телеметрия [9] алдымен телефон желілерін, содан кейін радиотолқындарды алыс жерлерде бақылау құралдарынан алынған өнімділік өлшемдерін беру үшін пайдаланды.

Интернет және сымсыз технологияның жетілдірілген стандарттары телеметрияның рөлін таза ғылымнан, техникадан және өндірістен жылыту құрылғылары, электр есептегіштері және тұрмыстық техника сияқты интернетке қосылған құрылғылар сияқты өнімдерде күнделікті қолдануға дейін кеңейтті [10].



Сурет 1.1 - M2M Архитектурасы [2]

Жабдықтар мен жүйелерді қашықтан бақылау мүмкіндігінен басқа, M2M негізгі артықшылықтарына мыналар жатады олар [11]:

- техникалық қызмет көрсетуді және жабдықтың тоқтап қалуын азайту арқылы шығындарды азайту;

- жергілікті жерде өнімге қызмет көрсету бизнесі үшін жаңа мүмкіндіктерді анықтау арқылы кірісті ұлғайтты;

- жабдықты істен шыққанға дейін немесе қажет болған жағдайда ғана алдын ала бақылау және техникалық қызмет көрсету арқылы тұтынушыларға қызмет көрсетуді жақсарту;

- қашықтан бақылау үшін машинааралық байланыс жиі қолданылады.
- M2M технологиясының негізгі ерекшеліктері:*
- қуатты аз тұтыну, бұл жүйенің M2M қосымшаларына тиімді қызмет ету қабілетін жақсартуға мүмкіндік береді;
  - пакеттік коммутация қызметін ұсынатын желі операторы;
  - оқиғаларды анықтау үшін функционалдылықты қамтамасыз ететін бақылау мүмкіндіктері;
  - уақыт бойынша төзімділік, яғни деректерді беру кейінге қалдырылуы мүмкін;
  - уақытты бақылау, яғни деректерді алдын-ала белгіленген кезеңдерде ғана жіберуге немесе алуға болады;
  - белгілі бір аймақтарға кірген кезде құрылғыларды ескертетін немесе оятатын орынға байланысты триггерлер;
  - деректердің аз мөлшерін үздіксіз жіберу және алу мүмкіндігі.

M2M және интернет заттары көптеген адамдар бұл терминдерді бір - бірінің орнына қолданғанымен, M2M және IoT бірдей емес [12]. Заттар интернетіне M2M қажет, бірақ M2M IoT қажет емес. Екі термин де қосылған құрылғылардың байланысын білдіреді, бірақ M2M жүйелері көбінесе оқшауланған, дербес желілік жабдық болып табылады. IoT жүйелері M2M-ді жана деңгейге көтеріп, әртүрлі жүйелерді бір-бірімен байланысты үлкен экожүйеге біріктіреді.

M2M жүйелері ұялы немесе сымды желілер арқылы машиналар, сенсорлар мен жабдықтар арасындағы нүктеден нүктеге дейінгі байланысты пайдаланады, ал IoT жүйелері IP негізіндегі желілерге Заттар интернетіне қосылған құрылғылардан жиналған деректерді шлюздерге, бұлтқа немесе аралық платформаларға жіберу үшін сүйенеді [13].

1.1 кестеде M2M және IoT негізгі айырмашылықтары мен сипаттамалары жинақталған, тиісті технологиялар, қосымшалар және жұмыс әдістемелері көрсетілген.

Кесте 1.1 - M2M және Интернет Заттарын салыстыру [11-13]

<i>Ерекшелігі</i>	<i>Машинааралық өзара әрекеттесу (M2M)</i>	<i>Заттар интернеті (IoT)</i>
1	2	3
<i>Анықтама</i>	Сымды немесе сымсыз қосылымдарды қолданатын құрылғылар арасындағы тікелей байланыс.	Интернет арқылы байланысатын және деректерді жинайтын, бөлісетін және өңдейтін өзара байланысты құрылғылар желісі.
<i>Байланыс әдісі</i>	Әдетте нүкте-нүкте байланысы қолданылады.	Байланыс үшін интернет протоколдарын пайдаланады.

## 1.1 кестенің жалғасы

1	2	3
<i>Желі түрі</i>	Көбінесе жеке желілерге, ұялы байланыс желілеріне сүйенеді.	Жалпыға қол жетімді Интернетті, Wi-Fi және басқа IP негізіндегі желілерді пайдаланады.
<i>Қосылу мүмкіндіктері</i>	Белгілі бір құрылғылармен және көбінесе алдын ала конфигурацияланған қосылымдармен шектелген.	Сенсорларды, жетектерді және деректер процессорларын қоса алғанда, көптеген құрылғыларды қосады.
<i>Деректерді өңдеу</i>	Деректер жиі өңделеді және жергілікті жерде сақталады.	Деректерді жергілікті немесе бұлтта өңдеуге болады.
<i>Үйлесімділік</i>	Шектеулі, көбінесе ұқсас немесе үйлесімді құрылғылар қажет.	Жоғары, әртүрлі құрылғылар мен платформалармен үйлесімділікке арналған.
<i>Масштабтау</i>	Әдетте белгілі бір пайдалану жағдайлары мен орталармен шектеледі.	Жоғары масштабтау, миллиондаған құрылғыларды және әртүрлі қолданбаларды қолдау.
<i>Күрделілігі</i>	Салыстырмалы түрде қарапайым, құрылғылар арасындағы байланысқа бағытталған.	Бірнеше деңгейдегі технологиялар мен хаттамаларды қамтитын күрделі.
<i>Қосымшалар</i>	Өнеркәсіптік автоматтандыру, флотты басқару, қашықтан бақылау.	Ақылды үйлер, Денсаулық сақтау, ауыл шаруашылығы, Ақылды қалалар, киілетін технологиялар.
<i>Қауіпсіздік</i>	Көбінесе физикалық қауіпсіздік пен негізгі шифрлауға сүйенеді.	Шифрлау, аутентификация және кіруді басқаруды қоса алғанда, сенімді киберқауіпсіздік шаралары қажет.
<i>Басқару</i>	Мамандандырылған жүйелермен немесе адам операторларымен басқарылады.	Көбінесе жетілдірілген бағдарламалық платформалар арқылы басқарылады және оны автоматтандыруға болады.
<i>Деректер көлемі</i>	Әдетте деректердің аз көлемін жасайды.	Үлкен көлемдегі деректерді шығара алады, көбінесе үлкен деректер шешімдерін қажет етеді.
<i>Технологияның мысалдары</i>	SCADA, RFID, телеметрия жүйелері.	AWS IoT, Google Cloud IoT сияқты IoT платформалары, сондай-ақ ақылды термостаттар мен киілетін құрылғылар сияқты құрылғылар.
<i>Нарықты қабылдау</i>	Өнеркәсіптік және мамандандырылған секторларда құрылған.	Тұтыну және өнеркәсіп нарықтарында тез өсуде.

Машинааралық өзара әрекеттесу технологиясында стандартталған құрылғы платформасы жоқ және көптеген M2M жүйелері нақты тапсырмаларды немесе құрылғыларды ескере отырып жасалған. Осы жылдар ішінде бірнеше негізгі M2M стандарттары пайда болды, олардың көпшілігі IoT параметрлерінде де қолданылады, соның ішінде:

- OMA DM (Open Mobile Alliance Device Management), құрылғыны басқару протоколы;

- OMA LightweightM2M, құрылғыны басқару протоколы;
- MQTT, хабар алмасу хаттамасы;
- TR-069 (техникалық есеп 069), қолданбалы деңгей хаттамасы;
- HyperCat, деректерді анықтау хаттамасы;
- EneM2m, байланыс хаттамасы;
- Google Thread, сымсыз желі протоколы;
- AllJoyn, ашық бастапқы бағдарламалық платформа.

M2M-ге қатысты барлық негізгі мәселелер қауіпсіздікке қатысты. M2M құрылғылары адамның араласуынсыз жұмыс істейді деп күтілуде [14]. Бұл бұзу, деректердің бұзылуы және рұқсатсыз бақылау сияқты қауіпсіздік қауіптерінің әлеуетін арттырады. Зиянды шабуылдардан немесе апаттардан кейін қалпына келтіру үшін M2M жүйесі микробағдарламаны жаңарту сияқты қашықтан басқаруға мүмкіндік беруі керек. M2M технологиясын қолдану ұзақтығын ескере отырып, қашықтан басқару қажеттілігі де проблемаға айналады. M2M жабдығына қызмет көрсету мүмкіндігі шындыққа жанаспайды, өйткені онда жұмыс істеу үшін қызметкерлерді жіберу мүмкін емес. M2M жабдығына дұрыс қызмет көрсете алмау M2M жүйелері мен олар байланыс үшін пайдаланатын сымсыз желілер үшін әртүрлі бірегей қауіпсіздік осалдықтарын тудырады [15]. Аббревиатураның шығу тегі расталмағанымен, машинааралық байланыстың алғашқы қолданылуы көбінесе Теодор Параскевакосқа жатады, ол телефон желілері арқылы деректерді тасымалдауға қатысты технологияны ойлап тапты және патенттеді, қоңырау шалушыны заманауи сәйкестендірудің негізі. Nokia бұл аббревиатураны 1990 жылдардың аяғында қолданған алғашқы компаниялардың бірі болды. 2002 жылы компания өз клиенттеріне M2M сымсыз байланыс қызметтерін ұсыну үшін OPTO 22 серіктесі болды. 2003 жылы M2M журналы іске қосылды. Содан бері басылым M2M-дің алты тірегін анықтады қашықтан бақылау, RFID, сенсорлық желілер, интеллектуалды қызметтер, телематика және телеметрия.

M2M технологиялары дамып, жаңа қосымшаларды табуды жалғастыруда. Олар әртүрлі процестерді автоматтандыруда және оңтайландыруда шешуші рөл атқарады, бұл ақылды және тиімді жүйелерді құруға ықпал етеді. Болашақта бұл технологиялардың одан әрі дамуы күтілуде, бұл әртүрлі салаларда жаңа инновациялар мен жақсартуларға әкеледі. M2M технологиялары төртінші өнеркәсіптік революцияның маңызды құрамдас бөлігі болып табылады және біздің әлемге әсер етуді жалғастырады, бұл оны қосылған және автоматтандырылған етеді.

## 1.2 M2M-де қолданылатын байланыс хаттамалары

M2M (Machine-To-Machine) байланыстары адамның араласуынсыз әртүрлі құрылғылар арасында деректер алмасуды қамтамасыз етеді. Ол үшін әр түрлі байланыс хаттамалары қолданылады, олардың әрқайсысының өзіндік ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Олардың негізгілерін қарастырайық:

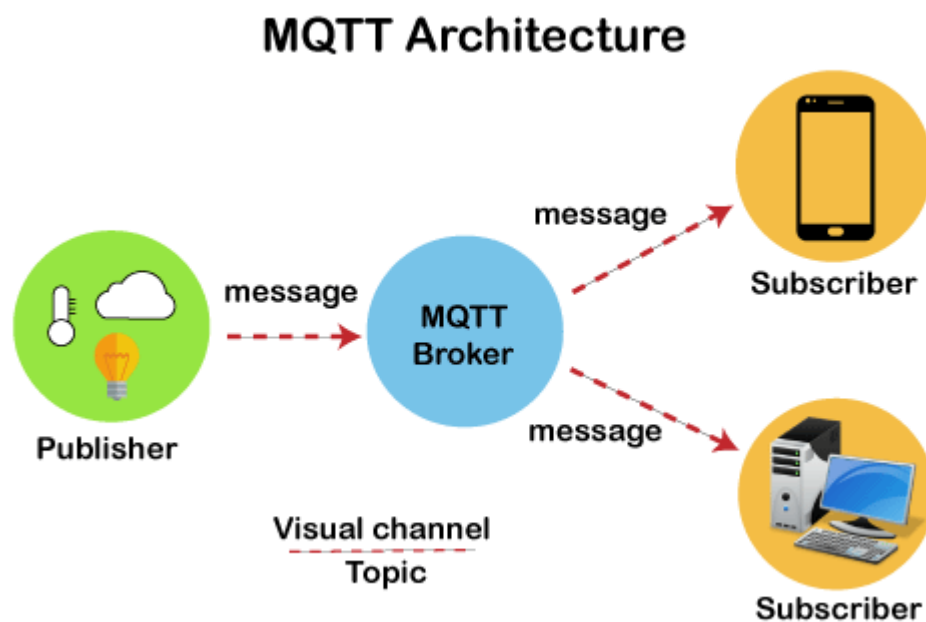
### 1.2.1 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT (message Queuing Telemetry Transport) — ресурстары шектеулі құрылғыларға және өткізу қабілеті тұрақсыз желілерге арналған жеңіл салмақты хабар алмасу протоколы. Бұл қарапайымдылығы мен тиімділігіне байланысты интернетте заттарды (IoT) пайдалану үшін өте қолайлы [16].

Хабар кезегі телеметриясын тасымалдау (MQTT) — бұл өте жоғары кідірісі бар және өткізу қабілеті төмен интернет құрылғыларына арналған байланыс протоколы. Хабар кезегінің телеметриясын тасымалдау машинааралық байланыс (M2M) үшін тамаша протокол болып табылады, өйткені ол төмен өткізу қабілеттілігі мен жоғары кідіріс параметрлері үшін арнайы жасалған. MQTT — бұл бірнеше құрылғылар арасында байланыс орнату үшін қолданылатын қарапайым хабар алмасу протоколы. Бұл TCP негізіндегі Протокол, ол жазылым үлгісіне негізделген. Бұл байланыс протоколы ресурстары шектеулі, өткізу қабілеті төмен және қуат тұтынуы төмен құрылғылар арасында деректерді тасымалдауға жарамды [17]. Сондықтан бұл хабар алмасу хаттамасы IoT шеңберінде байланыс үшін кеңінен қолданылады.

Клиенттер брокерлерге әртүрлі тақырыптар бойынша хабарламалар жібереді. Брокер — бұл хабарламаларды қабылдайтын және оларды тақырып бойынша сүзетін орталық сервер [18]. Содан кейін осы хабарламаларды осы әртүрлі тақырыптарға жазылған тиісті клиенттерге жіберіледі. Кез-келген жариялау мен жазылу хаттамасының жүрегі — MQTT брокері. Брокер оның қалай жүзеге асырылғанына байланысты бір уақытта қосылған мыңдаған MQTT клиенттерін басқара алады. Барлық хабарламаларды брокер қабылдауы керек, содан кейін оларды сұрыптайды, әрқайсысына кім жазылғанын анықтайды және жазылушы клиенттерге хабарламалар жеткізеді. Сол сияқты, клиенттердің барлық тұрақты сеанстарын, соның ішінде жіберілген хабарламалар мен жазылымдарды брокер сақтайды. Қол жетімді өткізу қабілеттілігін барынша арттыруға бағытталған MQTT «жариялау мен жазылу» байланыс стилі соңғы нүктемен тікелей әрекеттесетін дәстүрлі клиент — сервер архитектурасына балама болып табылады. Керісінше, хабарламаны жіберетін клиент және оны қабылдайтын клиент жариялау мен жазылу парадигмасында байланысты емес. Үшінші тараптар, брокерлер, баспагерлер мен жазылушылар арасындағы қарым-қатынасты басқарады, өйткені олар бір-бірімен тікелей байланыспайды [19].

Клиенттің хабарлама жіберетінін немесе хабарлама алуға жазылғанын көрсететін баспагерлер мен ізбасарлар MQTT клиенттерінің мысалдары болып табылады. Осы екі мүмкіндікті іске асыру үшін бір MQTT клиентін пайдалануға болады. Жариялау клиент немесе құрылғы деректерді серверге немесе брокерге жібергісі келгенде орын алады.



Сурет 1.2 - MQTT архитектурасы [18]

«Тіркеу» термині кері процедураны білдіреді. Әр түрлі клиенттер брокерге «Pub and Sub» принципі бойынша қосыла алады және оларды қызықтыратын тақырыптарға жазыла алады. Брокер мен абоненттік клиент байланысын жоғалтқан кезде, брокер хабарламаларды буферде сақтайды және брокер қайтадан іске қосылып, жұмыс істеген сайын оларды абонентке жібереді. Брокер абоненттермен қарым-қатынасты тоқтатуға және егер жариялаушы клиент брокерден кенеттен ажыратылса, баспагердің нұсқаулары бар кәштелген хабарлама жіберуге құқылы [20].

MQTT жеңіл салмақты етіп жасалған, бұл оны мүмкіндіктері шектеулі орталарда пайдалануға жарамды етеді, хаттама өткізу қабілеттілігін және өңдеудің үстеме шығындарын азайтады, тіпті шектеулі желілерде де жасыл байланысты қамтамасыз етеді. MQTT әртүрлі қауіпсіздік механизмдерін, соның ішінде пайдаланушы аты мен құпия сөзді және тұтынушы сертификаттарын қамтитын Transport Layer Security (TLS) шифрлау және аутентификация механизмдерін қолдайды. Бұл модель клиенттер арасындағы бір-бірімен байланысумен шектелмейді. Клиент белгілі бір тақырып бойынша бір хабарлама жіберсе де, брокер тақырыпқа жазылған барлық әртүрлі клиенттерге бірнеше хабарлама жібереді. Сол сияқты, бірнеше баспа клиенттері бірнеше түрлі тақырыптар бойынша жіберген хабарламалар осы тақырыптарға жазылған барлық бірнеше клиенттерге жіберіледі.

MQTT екі бағытты хаттама болып саналады деректерді беру үшін пайдаланылатын әдепкі мән — 1883. Қауіпсіз тасымалдау үшін шифрланған порт — 8883. Жылдам жасалатын және деректерді тиімді тасымалдауды қамтамасыз ететін жеңіл протокол. Деректер пакеттерін минималды пайдалану, бұл желілерді аз пайдалануға әкеледі.

Деректер жұмысы жылдам, тиімді және жеңіл, сондықтан MQTT қосылымы кодта аз жандандырады. Бұл конфигурация 2 данадан тұратын бекітілген пішімнен және 256 мегабайтқа дейінгі айнымалы өлшем пішімінен тұрады. 1.2 кестеде MQTT негізгі ерекшеліктері кестеде көрсетілген.

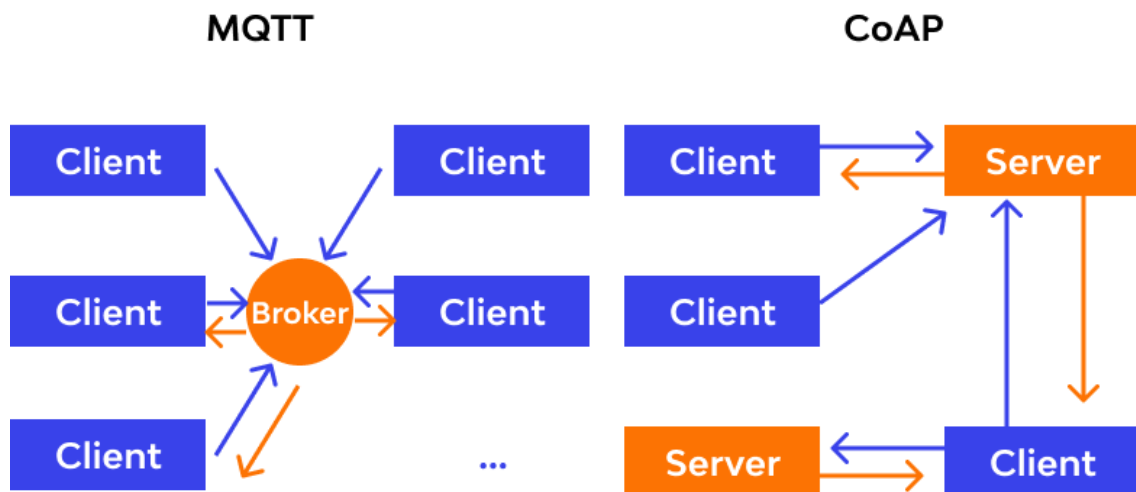
Кесте 1.2 - MQTT негізгі ерекшеліктері [20].

MQTT негізгі ерекшеліктері	Сипаттамасы
Жеңіл	MQTT жеңіл және тиімді етіп жасалған, бұл шектеулі құрылғылар мен өткізу қабілеті төмен желілер үшін өте қолайлы етеді.
Жариялау мен жазылу моделі	Клиенттер (баспагерлер) брокерге хабарламалар жіберетін, содан кейін оларды мүдделі клиенттерге (жазылушылар) тарататын жариялау мен жазылу хабар алмасу үлгісін пайдаланады.
Қызмет көрсету сапасының деңгейлері (QoS)	Хабарды жеткізудің әртүрлі кепілдік деңгейлерін қолдайды: 0 (ең көбі бір рет), 1 (кемінде бір рет) және 2 (дәл бір рет), сенімділік пен өнімділік арасындағы ымыраға мүмкіндік береді.
Тұрақты сессиялар	Клиенттер брокермен тұрақты сеанстарды орната алады, бұл оларға ажыратылғаннан кейін кедергісіз қайта қосылуға мүмкіндік береді.
Соңғы өсиет (LWT)	Клиенттер күтпеген жерден желіге қосылмаса, брокер олардың атынан жариялайтын «соңғы тілек» хабарламасын көрсете алады.
Сақталған хабарлар	Хабарламаларды «сақталған» деп белгілеуге болады, яғни белгілі бір тақырыптың соңғы хабарламасы брокерде сақталады және олар жазылғаннан кейін бірден жаңа жазылушыларға жіберіледі.
Масштабтау мүмкіндігі	MQTT масштабталады, бұл мыңдаған клиенттерге брокерге қосылуға және хабарламаларды тиімді алмасуға мүмкіндік береді.
Төмен үстеме шығындар	Протоколда ең аз пакеттік үстеме бар, ол желі өткізу қабілеттілігін пайдалануды азайтады және жылдам жіберуді қамтамасыз етеді.
Кең қолдану	MQTT IoT, мобильді және веб-қосымшаларында кеңінен қолданылады және көптеген кітапханалар мен фреймворктармен қолдау көрсетіледі.
Асинхронды байланыс	Асинхронды байланысты қосады, мұнда клиенттер жауапты бірден күтпейді, жүйенің жалпы жауап беру қабілетін жақсартады.
Қауіпсіздік	Құпиялылық пен деректердің тұтастығын қамтамасыз ету үшін қауіпсіз байланыс пен аутентификация механизмдері үшін TLS шифрлауын қолдайды.



### 1.2.2 CoAP (Constrained Application Protocol)

Шектеулі қолданба протоколы (CoAP) — бұл шектеулі түйіндермен және интернеттегі шектеулі желілермен пайдалануға арналған арнайы веб-тасымалдау протоколы [21]. CoAP мүмкіндігі шектеулі қарапайым құрылғыларға тіпті өткізу қабілеті төмен және қол жетімділігі төмен шектеулі желілер арқылы Заттар Интернетіне қосылуға мүмкіндік беруге арналған. Ол әдетте интеллектуалды энергетика және ғимараттарды автоматтандыру сияқты машинааралық қосымшалар (M2M) үшін қолданылады [22]. Хаттаманы Internet Engineering Task Force (IETF) әзірледі, CoAP IETF RFC 7252 тізімінде көрсетілген. CoAP сенсорлар немесе жетектер сияқты жабдықтың Заттар Интернеті арқылы өзара әрекеттесуіне мүмкіндік беретін шектеулі құрылғыларға арналған HTTP түрі ретінде әрекет етеді [23]. Бұл сенсорлар мен жетектер бақыланады және жүйенің бөлігі ретінде өз деректерін беру арқылы үлес қосады. Протокол төмен қуат тұтынуы мен желінің төмен жүктемелерінің арқасында төмен өткізу қабілеттілігі мен жоғары жүктеме кезінде сенімділікті қамтамасыз етуге арналған. Шамадан тыс жүктелген немесе шектеулі қосылымы бар желіде CoAP MQTT сияқты TCP негізіндегі протоколдар ақпарат алмасып, тиімді өзара әрекеттесе алмайтын жерде жұмысын жалғастыра алады. Сонымен қатар, CoAP-тың тиімді және дәстүрлі мүмкіндіктері сапасыз сигналмен жұмыс істейтін құрылғыларға деректерін сенімді түрде жіберуге немесе орбиталық спутникке қашықтан байланыста сәтті болуға мүмкіндік береді. CoAP сонымен қатар миллиардтаған түйіндері бар желілерді қолдайды. Қауіпсіздік мақсатында әдепкі бойынша таңдалған DTLS опциялары 128 биттік RSA кілттеріне тең.



Сурет 1.3 - Constrained Application Protocol архитектурасы [23]

CoAP UDP-ді негізгі желілік Протокол ретінде пайдаланады. CoAP — бұл клиент сұранысын жіберетін және сервер HTTP-де болатындай жауап жіберетін заттар интернетінің клиент-сервер протоколы. CoAP қолданатын әдістер HTTP әдістеріне ұқсас. IoT протоколдарымен жұмыс істеу кезінде

қауіпсіздікті ескеру қажет. Мысалы, CoAP ақпаратты беру үшін UDP пайдаланады. CoAP ақпаратты қорғау үшін UDP қауіпсіздік мүмкіндіктерін пайдаланады. HTTP TCP үстінде TLS қолданатындықтан, CoAP UDP арқылы Datagram TLS пайдаланады. DTLS RSA, AES және т. б. қолдайды [23]. 1.3 кестеде Constrained Application Protocol-ң негізгі ерекшеліктері атап көрсетілді.

Кесте 1.3 - CoAP негізгі ерекшеліктері [21-23].

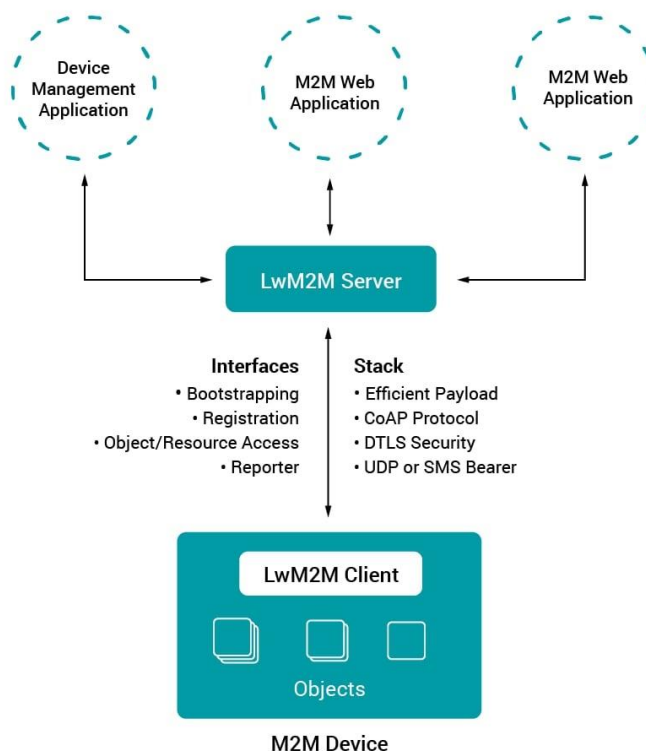
CoAP негізгі ерекшеліктері	Сипаттамасы
Төмен үстеме шығындар	CoAP пайдаланудың қарапайымдылығын ескере отырып жасалған, бұл оны ресурс шектеулі құрылғылар мен желілер үшін қолайлы етеді.
Тиімді коммуникация	Байланыс TCP-мен салыстырғанда кідіріс пен үстеме шығындарды азайтатын UDP пайдаланады.
Шағын хабар өлшемі	CoAP хабарламаларының өлшемі шағын және әдетте бір UDP пакетіне сәйкес келеді, бұл жіберу уақытын және қуат тұтынуды азайтады.
Өзара әрекеттесу	GET, POST, PUT, DELETE сияқты таныс әдістерді пайдалана отырып, веб-қызметтермен оңай интеграциялауға мүмкіндік беретін REST архитектурасын сақтайды.
Көп таратуды қолдау	Бірнеше құрылғымен бір уақытта тиімді байланысты қамтамасыз ететін мультикастингті қолдайды.
Прокси және кәштеу	Жүктемені азайтуға және желі тиімділігін арттыруға көмектесетін прокси мен кәштеуді қолдайды.
Асинхронды хабар алмасу	Сұраулар мен жауаптарды өңдеуде икемділікті қамтамасыз ететін асинхронды байланысты қосады.
Қауіпсіздік	Қауіпсіз байланысты қамтамасыз ету үшін DTLS (Datagram Transport Layer Security) пайдалана алады.
Үйлесімділік	Қолданыстағы веб-технологиялармен үздіксіз интеграциялауға мүмкіндік беретін HTTP-мен өзара әрекеттесу үшін жасалған.
Ресурстарды табу	IoT құрылғыларын басқару мен пайдалануды жеңілдету үшін ресурстарды табу механизмін қамтиды.
Сенімділік	Рассталған және рассталмаған хабарламалар және хабарды қайта жіберу сияқты сенімділік тетіктерін ұсынады.

### 1.2.3 LwM2M (Lightweight M2M)

LwM2M — қуаты төмен және өңдеу қуаты өте аз мобильді құрылғылардың қажеттіліктерін қанағаттандыруға арналған ашық мобильді альянс протоколы [24]. LwM2M операторлармен кеңінен қолданылады және құрылғыларды басқару және қызмет көрсету үшін стандартты хаттамаға айналады.

Заттар интернетін пайдалану өсіп келе жатқандықтан, қашықтағы сенсорлар мен құрылғыларды үзіліссіз қосылымы бар және қуат көздерінен алыс жерлерде басқару және пайдалану қажеттілігі де артады. LwM2M осы құрылғыларды басқарудың және сенсорлардан алынған телеметрия деректерін бұлтқа жылдам және үнемді жіберудің стандартталған әдісін ұсынады [25].

LwM2M есептеу қуаты мен өткізу қабілеттілігі шектеулі қуаты аз құрылғылар үшін қуат тұтынуды азайту және деректерді пайдалану үшін жасалған. Протокол адамдар немесе құрылғылар қуат көзінен алыс болғанда және батареямен жұмыс істейтін жергілікті құрылғыларды пайдалану, SIM картасы және қуат сымы болмаған кезде өте қолайлы.



Сурет 1.4 - LwM2M архитектурасы [25]

Осылайша, сенсорлар мен құрылғыларды орталықтан басқаруға және қашықтан көруге болады, LwM2M IoT платформалары арасындағы байланыс үшін ортақ тілді анықтайды [25]. LwM2M берілген құрылғының мүмкіндіктерін түсіну және құрылғы жіберген деректерді түсіндіру үшін қажетті метадеректер (деректерді сипаттайтын) бұлттағы орталық қоймада сақталады. Бұл құрылғыларға деректерді беруді азайтуға мүмкіндік береді, сондықтан тек негізгі деректер тасымалданады. Өткізу қабілеттілігін үнемдеу, әсіресе қашықтағы құрылғылар үшін, тасымалдауды жылдамдатады, сонымен қатар байланыс шығындарын азайтады.

Пайдалану мысалдарына жөнелтуші контейнерлерді, жүк теміржолдарын қадағалау, Ауыл шаруашылығы, мұнда сенсорлар суару үшін тыңайтқыштарды басқаруды және оңтайландыруды, ақылды қалаларды және су мен энергияны

есепке алуды қамтиды. LwM2M сонымен қатар телекоммуникацияда, автомобиль өнеркәсібінде, қауіпсіздік құрылғыларында, коммуналдық қызметтерде және өндірісте қолданылады.

Құрылғы қол жетімді емес жерлерде болса да, микробағдарламаны жаңартып, кез келген мәселелерден хабардар болуыңыз керек. Кіріктірілген интеграцияның арқасында «Cumulocity IoT» микробағдарлама жаңартуларын және «қораптан тыс» бақылау мүмкіндіктерін ұсынады, сонымен қатар құрылғылардың ақаулықтарын қашықтан жоюға мүмкіндік береді. «Cumulocity IoT» деректер үлгісімен салыстыру үшін пайдалану оңай интерфейс.

Cumulocity IoT құрылғыларын басқару құрылғыдан қандай деректерді алғыңыз келетінін және қандай жиілікте екенін анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сіз құрылғыдан деректерді IoT қосымшасының Домен моделіне біріктіре аласыз, бұл LwM2M құрылғысын cumulocity IoT жалға алушысына қосылған кез-келген басқа құрылғы сияқты басқаруға мүмкіндік береді [26].

1.4 кестеде Lightweight M2M (LwM2M) артықшылықтарын сипаттайтын кесте берілген:

Кесте 1.4 - LwM2M артықшылықтары

<i>Артықшылығы</i>	<i>Сипаттама</i>
1	2
Ресурсты аз тұтыну	Ең аз процессор, жады және қуат тұтынуы бар ресурстары шектеулі құрылғыларға арналған.
Стандартталған хаттама	Құрылғылар мен платформалар арасындағы үйлесімділікке арналған ашық стандарттарға негізделген.
Деректерді тиімді тасымалдау	Байланыс CoAP пайдаланады, ол кішігірім хабарлама өлшемдері мен аз үстеме шығындар үшін оңтайландырылған.
Қауіпсіздік	Шифрлау және аутентификация үшін DTLS қоса күшті қауіпсіздік мүмкіндіктерін қамтамасыз етеді.
Құрылғыны басқару	Құрылғыларды қашықтан басқаруды, конфигурациялауды және бақылауды жеңілдетеді, IoT құрылғыларына қызмет көрсетуді жеңілдетеді.
Микробағдарлама жаңартулары	Құрылғыларға қашықтан қызмет көрсетуге және жаңартуға болатынын қамтамасыз ете отырып, микробағдарламаны әуе арқылы (OTA) жаңартуды қолдайды.
Өзара әрекеттесу	Әртүрлі өндірушілердің құрылғылары мен серверлері арасындағы үзіліссіз байланысты қамтамасыз етеді.
Масштабтау мүмкіндігі	IoT құрылғыларының үлкен желілерін қолдау үшін масштабталады, бұл оны әртүрлі өлшемдерді орналастыру үшін қолайлы етеді.
Ресурстардың тиімділігі	Тиімді басқару және ең аз үстеме шығындар үшін иерархиялық ресурс үлгісін пайдаланады.
Қашықтан бақылау	Құрылғының денсаулығы мен өнімділігін қашықтан бақылауды қамтамасыз етеді, профилактикалық қызмет көрсетуді жеңілдетеді.

1.4 кестенің жалғасы

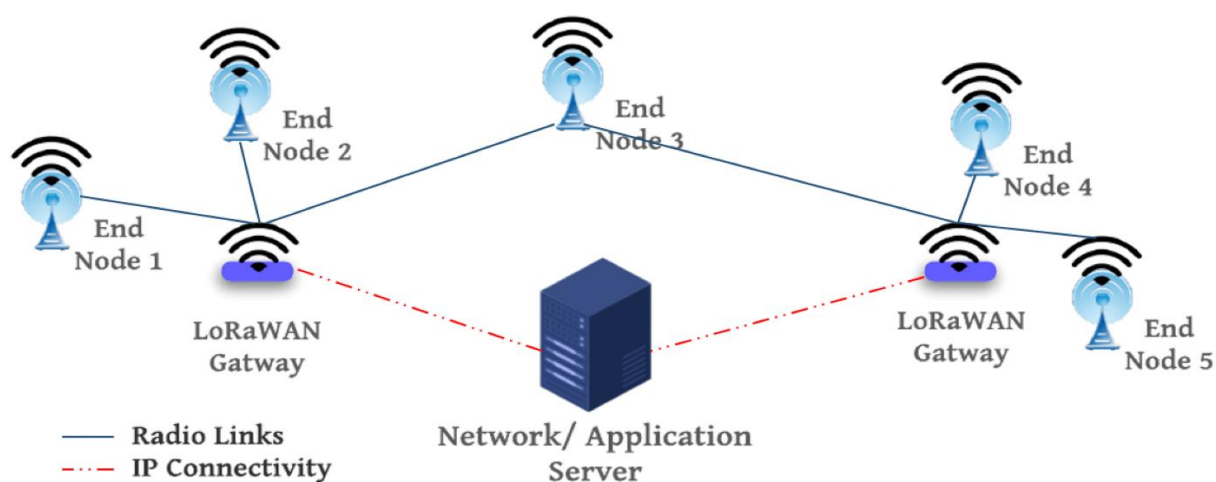
1	2
Икемділік	Смарт қалалар, IIoT және денсаулық сақтауды қоса алғанда,

	эртүрлі пайдалану жағдайлары мен салаларға бейімделеді.
Кеңейтімділік	Арнайы қолданбалардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін икемділікті қамтамасыз ететін ресурс анықтамаларын теңшеуге мүмкіндік береді.
Дәлелденген технология	Сенімділік пен саланы кеңінен қолдану үшін CoAP сияқты белгіленген хаттамаларға негізделген.
Батареяның қызмет ету мерзімін оңтайландыру	Шектеулі құрылғыларда батареяның қызмет ету мерзімін оңтайландыруға арналған, бұл оны қашықтағы және ұзақ мерзімді орналастыру үшін тамаша етеді.

Бұл кестеде ресурс шектеулі IoT құрылғыларымен қауіпсіз және тиімді басқару және өзара әрекеттесу үшін жарамдылығын көрсететін LwM2M негізгі артықшылықтары берілген.

### 1.2.4 LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)

LoRaWAN – бұл «үлкен диапазондағы ғаламдық желі» деген аббревиатура [27]. Бұл ашық бастапқы технологияны қолданатын және деректерді лицензияланбаған жиілік диапазонында жіберетін төмен қуатты ғаламдық желінің (LPWAN) түрі. Заттар интернеті (IoT) үшін әзірленген LoRaWAN технологиясы Wi-Fi немесе Bluetooth қосылымдарына қарағанда әлдеқайда үлкен диапазонды қамтамасыз етеді, үй ішінде жақсы жұмыс істейді және ұялы желілер нашар қамтылған шалғай аудандардағы қолданбалар үшін әсіресе құнды. LoRaWAN жергілікті желіге ұқсас «жұлдыз» желілік топологиясын қолданады. Барлық соңғы түйіндер бір орталық желілік серверге қосылатын LoRaWAN шлюздеріне қосылады. LoRaWAN көмегімен IoT өндірушілері өздерінің желілік инфрақұрылымын құра алады немесе сатып алады немесе орналастырғысы келетін аймаққа қызмет көрсететін жеткізушіні таба алады [28].



Сурет 1.6 – LoRaWAN архитектурасы [28]

Өндірушілердің заттардың Интернетке қосылу қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін LoRaWAN-ға жүгінуінің бірнеше негізгі себептері бар

және бұл LPWAN-дің ең танымал түрлерінің бірі. Бірақ бұл технологияның елеулі кемшіліктері де бар. Бұған кіріспес бұрын, сіз білуіңіз керек маңызды айырмашылық бар. Лора мен Лораванның бір-бірінің орнына қолданылғанын есту сирек емес, бірақ бұл екі түрлі нәрсе [29].

LoRa (Long Range) — [29] желінің физикалық деңгейін анықтайтын LPWAN протоколы. Бұл SEMTECH (Чип жасаушы) меншігіндегі меншікті технология, ол радиожиліліктерді желі арқылы тасымалдау үшін биттерге түрлендіру үшін Chirp Spread Spectrum пайдаланады.

LoRa — бұл LoRaWAN-ға мүмкіндік беретін технологиялардың бірі, бірақ ол LoRaWAN-мен шектелмейді және ол бірдей емес. LoRaWAN (кең ауқымды ғаламдық желі) - бұл желінің байланысы мен архитектурасын анықтайтын жоғарғы деңгейлі протокол. Дәлірек айтқанда, бұл желілік деңгейдің кейбір компоненттері бар Ортаға қол жеткізуді басқару деңгейінің (MAC) протоколы. Ол LoRa-ны пайдаланады, бірақ желіге және ол арқылы деректерді беру тәсіліне қатысты.

LoRaWAN пайдаланудың артықшылықтарын сипаттайтын 1.5 кестеде көрсетілген.

Кесте 1.5 - LoRaWAN артықшылықтары

<i>Пайдасы</i>	<i>Сипаттама</i>
1	2
Ұзақ диапазон	Ұзақ қашықтықта, әдетте ауылдық жерлерде 15–30 километрге дейін байланыс жасайды.
Төмен қуат тұтыну	Төмен қуат тұтынуға арналған, бұл батареямен жұмыс істейтін құрылғылардың жылдар бойы жұмыс істеуіне мүмкіндік береді.
Масштабтау мүмкіндігі	Бір желіде мыңдаған құрылғыларға қолдау көрсете алады, бұл оны кең ауқымды орналастыруға қолайлы етеді.
Экономикалық тиімді	Батареяны жиі ауыстыру қажеттілігін және лицензияланбаған спектрді пайдалануды азайту арқылы операциялық шығындарды азайтады.
Сенімді қауіпсіздік	Деректер қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін түпкілікті шифрлауды, өзара аутентификацияны және тұтастықты тексеруді қамтамасыз етеді.
Кең қамту	Ғимараттар мен ағаштар сияқты кедергілерден өтіп, қалалық жерлерде кең қамтуды қамтамасыз ете алады.
Екі жақты байланыс	Құрылғыларды бақылауға және басқаруға мүмкіндік беретін жоғары және төмен байланыс байланысын қолдайды.
Геолокация мүмкіндіктері	GPS қолданбасын қолданбай геолокацияға мүмкіндік береді, бұл қолданбаларды қадағалау үшін пайдалы.
Икемділік	Смарт қалалар, ауыл шаруашылығы, өнеркәсіптік IoT және т.б. қоса, кең ауқымды қолданбаларға қолайлы.
Стандартталған хаттама	Ашық стандарттарға негізделген құрылғылар мен жеткізушілер арасында үйлесімділікті қамтамасыз етеді.

1.5кестенің жалғасы

1	2
---	---

Гибкость сети	Желіні орналастыруда икемділікті қамтамасыз ететін қоғамдық, жеке және гибриді желі үлгілерін қолдайды.
Өткізу қабілеттілігін тиімді пайдалану	Адаптивті деректер жылдамдығын басқару (ADR) арқылы өткізу қабілеттілігін пайдалануды оңтайландырады, желі өнімділігін арттырады.
Орналастыру оңай	Басқа сымсыз технологиялармен салыстырғанда инфрақұрылымға минималды талаптармен оңай және жылдам орналастыру.
Күшті экожүйе	Өзірлеушілердің, құрылғы өндірушілерінің және шешім провайдерлерінің күшті және өсіп келе жатқан экожүйесі қолдау көрсетеді.

Бұл кесте LoRaWAN негізгі артықшылықтарын көрсетеді, оның ауқымды, аз қуатты және үнемді IoT қолданбаларына жарамдылығын көрсетеді [30].

LoRaWAN желілері IoT байланысын жеңілдетуі мүмкін. Бірақ олар көп қарым-қатынасты жеңе алмайды. Шын мәнінде, LoRaWAN көмегімен сіз күніне шектеулі хабарламалар жібере аласыз. Жиіліктердің шамадан тыс жүктелуін болдырмау үшін кейбір елдердің үкіметтері жұмыс циклдерін енгізді. Олар құрылғыға уақыттың тек 1% жиілік диапазонын пайдалануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, LoRaWAN барлық қосылған құрылғыларға кез келген уақытта деректерді тасымалдауға мүмкіндік береді. Бір уақытта неғұрлым көп құрылғылар қосылса, олардың деректерді бір уақытта жіберу және бір-біріне кедергі жасау ықтималдығы соғұрлым жоғары болады. LoRaWAN жиі 50% - дан астам пакеттік қателік коэффициентін (PER) береді. Жоғары PER беріліс ұзақтығын арттырады және қуат тұтынуды болжауды қиындатады. Егер сіздің қолданбаңызға төмен PER қажет болса (көптеген қолданбаларға 0% тең PER қажет), онда бұл сізге сәйкес келмейді [31].

LoRaWAN шлюздері бір уақытта жібере және қабылдай алмайды. Сондықтан, егер сіздің қосымшаңызға хабарлама түбіртектері қажет болса (деректердің дұрыс жеткізілуін қамтамасыз ету үшін) және сіздің құрылғыларыңыз деректерді жиі жіберетін болса, бұл сіздің шлюздеріңіздің жиі қол жетімді болмауына әкелуі мүмкін. Егер түйіндер оларды сұрамаса және қателерді немесе осалдықтарды түзету үшін құрылғыға микробағдарлама жаңартуларын жіберу оларды қолжетімсіз етсе, LoRaWAN хабарлама түбіртектерін бермейді.

LoRaWAN кейбір қосымшалар үшін мағынасы бар [32]. Егер бірнеше сенсорды бір шлюзге қосу қажет болса, әр сенсорға SIM карталарын орнатудың қажеті жоқ. Бірақ желілік серверге шлюз үшін ұялы байланыс әлдеқайда жақсы шешім болып табылады. Бір құрылғыны орналастыру үшін сізге LoRa шлюзін орналастырудың қажеті жоқ, және сізге қажет жерде LoRa провайдері жетіспейді. Ұялы байланыс қазірдің өзінде әлемнің кез келген жерінде қол жетімді және LTE-M және NB-IoT сияқты технологиялар loRa-ға ұқсас энергияны тұтынады.

Ұялы желілер үй ішінде жақсы қамтуды қамтамасыз етеді және мобильді қосымшалармен өте жақсы жұмыс істейді. Emnify IoT байланыс платформасының арқасында қосылымды басқару қарапайым, интуитивті және үнемді болады.

### **1.3 M2M технологияларын әртүрлі салаларда қолдануды зерттеу**

Сенсорлардан деректерді басқару платформасы, олар қандай технологияларға негізделген болса да, заттар интернетін (IoT) дамыту үшін міндетті негіз болып табылады. Оның тынымсыз дамуы өсіп келе жатқан инфрақұрылымның желілік құрамдас бөлігі ретінде M2M коммуникацияларын одан әрі жетілдіру қажеттілігін талап етеді [33].

M2M әртүрлі радиобайланыс технологияларына негізделуі мүмкін [34]: бұл ұялы байланыс операторлары пайдаланатын стандартты GSM желілері және LoRa немесе 5G сияқты жаңа арнайы технологиялар, сондай-ақ бұрыннан белгілі спутниктік байланыс. Ерекшелік емес және барлық жерде бар Wi-Fi инфрақұрылымы [35]: ол банкоматты немесе басқа стационарлық құрылғыны қосу үшін тамаша. Дегенмен, қосылудың әртүрлі әдістерінің көптігі әлі де IoT және M2M үшін жаһандық қамтуды жасамайды. Құрылғыларға адамның араласуынсыз байланысуға және ақпарат алмасуға мүмкіндік беретін машинааралық өзара әрекеттесу (M2M) технологиясы әртүрлі салаларда кеңінен қолданылды [36].

M2M технологиялары әр түрлі салаларда сәтті қолданылып келеді және нақты артықшылықтар – көп ақша табу немесе аз ақша жұмсау қабілетін дәлелдеді. Бір қызықты мысал ауыл шаруашылығында автоматтандырылған сенсорларды қолдану. Ақылды сенсорлар ылғалдылық пен температура туралы деректерді орталық серверге жіберу арқылы жинауға көмектеседі. Осылайша, машиналар жылыжайларды оңтайлы суару немесе жабу туралы шешім қабылдай алады. Осының арқасында қызметкерлер санына қаражат үнемделеді, ал егіннің өсуі кәсіпорынға пайданың өсуіне кепілдік береді.

M2M пайдалану арқылы үнемдеудің тағы бір мысалы теңіз жобаларының бірінде өзін тапты. Интернетке тұрақты қол жеткізу үшін VSAT-терминалдармен кемелерді жабдықтаумен бірге кеме жүйелері мен жердегі есепке алу құралдары арасында байланыс орнатылды. Осылайша, тасымалдаушы компания жанармай шығынын нақты бақылап, оның қажетсіз бағытқа «ағып кетуіне» жол бермеді. Нәтижелер өзінен асып түсті: отын шығыны 70% - ға төмендеді.

Қазіргі заманғы ақылды қалалар сонымен қатар M2M коммуникацияларын жаһандық пайдалануды білдіреді. Әр түрлі жүйелердің байланысы көптеген пайдалы және толығымен дербес шешімдер жасауға мүмкіндік береді. Мысалы, камерадан жол қозғалысын басқару жүйесіне деректерді беру бағдарламаларының ауысу уақытын реттеуге мүмкіндік береді, қолданыстағы трафикке және автомобильдердің магистральдар бойынша таралуына сәйкес [37].



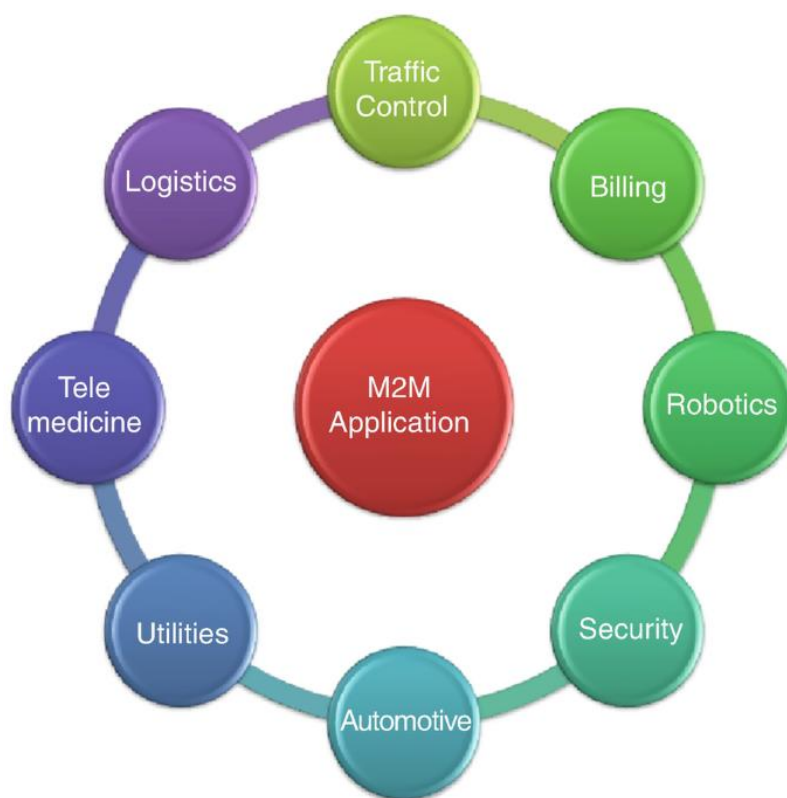
Бірақ ең перспективалы бағыт M2M пайдаланудың – байланыс модульдерімен жабдықтау және көлік құралдарының машиналық коммуникация ортасына интеграциялау. Бүгінгі таңда көптеген автомобильдер әртүрлі сенсорлармен және кері байланыс жүйелерімен жабдықталған. Осылайша, өндіруші автомобильдің әртүрлі қондырғыларының күйін бақылауға мүмкіндік алады. Сонымен қатар, апат немесе ұрлық жағдайында көлік оқиға туралы шұғыл қызметтерге «өздігінен» хабарлауы мүмкін, осылайша шаралар қысқа мерзімде қабылданады. Ақырында, геолокация қызметі көлік құралдарын оңтайландыруға мүмкіндік береді және жүргізушілердің жұмысын бақылауға көмектеседі, жанармай үнемдейді және тасымалдау қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

M2M технологиялары туралы айтатын болсақ, біз ең алдымен деректерді берудің сымсыз әдісін айтамыз.

Сымсыз M2M технологияларын пайдалану арзан және технологиялық. Олар кабельдік инфрақұрылымды төсеуге ақша жұмсамауға, уақытты үнемдеуге және адам ресурстарын барынша азайтуға мүмкіндік береді. Сымсыз технологиялар M2M сонымен қатар жұмысшылардың ұтқырлығын арттыруға көмектеседі. Сымсыз коммуникацияларды қолданатын M2M ең жоғары деңгейде кең таралған бұл шекара қауіпсіздігі, мемлекеттік құтқару қызметтері және құқық қорғау құрылымдары. Сымсыз M2M технологиялары байланыс орталығынан жылдам жауап беруге мүмкіндік береді.

Сондай - ақ, мобильді объектілерді бақылауға мүмкіндік береді мысалы, көліктің қозғалысын, тауарлардың қоймада болуын, автоматтың жай-күйі туралы білуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сенсорлардың көмегімен сымсыз M2M технологиялары көп қабатты үйлер мен көпірлердің механикалық кернеуін бақылауға мүмкіндік береді.

Дамыған елдердегі ұялы байланыс операторларын сигналмен қамту 100% - ға жақын, алайда сымсыз M2M технологиялардың кең дамуын ескере отырып, олар жұмыссыз қалмайды. M2M технологиялары ұялы байланыс операторлары үшін өте перспективалы нарық болып табылады және оның әлеуетті сыйымдылығы үлкен [38].



Сурет 1.7 - M2M технологияларды қолдану салалары [39]

M2M технологияларын қолдану салаларына толығырақ тоқталайық. Бұл бүгінгі таңда ең көп сұранысқа ие M2M қолдану саласы.

*Автомобильдерге арналған M2M технологиялары:* Такси қызметтері мен тасымалдау компаниялары GPS трекерлерін жаппай сатып алып, оларды өз паркіне орнатады. Бұл құрылғы рободиспетчерге көліктің нақты орналасқан жері мен жылдамдығын білуге көмектеседі. Бұл көліктің тиімділігін бірнеше есе арттырады. Флотты басқару M2M нақты уақыт режимінде көлік құралдарын бақылауға, жанармай шығынын бақылауға және профилактикалық қызмет көрсетуге мүмкіндік береді. Жеткізу тізбегін басқару ол өндірістен жеткізілімге дейін тауарларды автоматтандырылған бақылау тауарлы-материалдық құндылықтарды басқаруды жақсартады және шығындарды азайтады. Ақылды жол қозғалысы жүйелері M2M технологиясы кептелісті азайту және жол қауіпсіздігін жақсарту арқылы көлік ағынын басқаруға көмектеседі [40].

*Үйге арналған технологиялар M2M технологиялары:* M2M көмегімен үйдегі температураны қашықтан бақылауға және оның қауіпсіздігін қамтамасыз етуге болады. Сондай-ақ, M2M технологиясының көмегімен үйдегі электр жабдықтарын бақылауға болады. SMS жіберу жеткілікті. Қалдықтарды басқару M2M қолдайтын контейнерлер жинау маршруттарын оңтайландыру және пайдалану шығындарын азайту арқылы толтыру деңгейі туралы хабарлайды. Қуатты басқару ақылды желілер мен ғимараттар қуатты тиімді басқару үшін M2M пайдаланады. Қоғамдық қауіпсіздік бақылау жүйелері мен

жедел әрекет ету бөлімшелері нақты уақыттағы деректер алмасу және үйлестіру үшін M2M пайдаланады [41].

*Тұрғын үйлер үшін M2M технологиялары:* Бүгін біз су мен электр есептегіштерінің көрсеткіштерін жазып, осы көрсеткіштерді тиісті ұйымдарға жібереміз. Болашақта бұл көрсеткіштер автоматты түрде және қашықтан оқылады. Банк бұл процеске қосылуы мүмкін ақша автоматты түрде есептен шығарылады. Интеллектуалды есеп ол M2M технологиясы электр, газ және судың интеллектуалды есептегіштерінде қолданылады, нақты уақыт режимінде тұтыну деректерін береді және динамикалық баға белгілеуді қамтамасыз етеді. Электр желісін басқару M2M электр желісін басқаруға және басқаруға көмектеседі, оның сенімділігі мен тиімділігін арттырады. Ағып кетуді анықтау автоматтандырылған жүйелер су құбырлары мен газ құбырларының ағып кетуін анықтайды, шығындардың алдын алады және қауіпсіздікті арттырады [42].

*Денсаулыққа арналған M2M технологиялары:* M2M сенсорлары адамның температурасын, қысымын және импульсін бақылай алады. Науқастың орналасқан жерін де білуге болады. Мұның бәрі уақытында әрекет етуге және қажет болған жағдайда көмек жіберуге мүмкіндік береді. Қашықтан бақылау арқылы M2M технологиясы пациенттерді қашықтан бақылау үшін қолданылады, бұл өмірлік маңызды белгілерді үздіксіз бақылауға және денсаулыққа қатысты мәселелерді ерте анықтауға мүмкіндік береді. Смарт сағаттар мен фитнес-трекерлер сияқты киюге болатын құрылғылар денсаулық туралы деректерді медициналық қызмет көрсетушілерге жинау және беру үшін M2M пайдаланады. Дәрі-дәрмектерді басқару ол автоматты еске салғыштар мен бақылау жүйелері пациенттердің дәрі-дәрмек кестесін сақтауын қамтамасыз етеді [41-42].

*Автоматтандырылған есепке алу бойынша M2M технологиялары:* Қоймадағы кез-келген тауарда электронды түрде оқылатын стикер бар. Тауарды сканерлеу арқылы сіз тауардың қозғалысы мен қалдықтарын бақылай аласыз. M2M технологиясымен қойманы басқару толығымен автоматтандырылуы мүмкін [42].

*Қауіпсіздікке арналған M2M технологиялары:* Коттеджден немесе жеке пәтерден шыққаннан кейін, сіз камераның көмегімен бөлменің қауіпсіздігін қашықтан бақылай аласыз. Егер қозғалыс анықталса, сенсорлар сізге не болып жатқанын көрсететін SMS немесе MMS жібереді [42].

*Ауыл шаруашылығы арналған M2M технологиялары:* Дәл егіншілік саласында датчиктер егіншілік тәжірибесін оңтайландыруға көмектесетін мәліметтер беру арқылы топырақтың күйін, ауа-райын және дақылдардың денсаулығын бақылайды. Малды басқару M2M құрылғылары жануарлардың әл-ауқаты мен ферманы басқаруды жақсарту арқылы малдың денсаулығы мен орналасқан жерін бақылайды. Автоматтандырылған суару жүйелері бұл жүйелер тиімділік пен тұрақтылықты арттыра отырып, суды пайдалануды бақылау үшін нақты уақыттағы деректерді пайдаланады [43].

*Өнеркәсіптік автоматтандыру арналған M2M технологиялары:* M2M технологиясы жабдықтың істен шығуын олар пайда болғанға дейін болжайды, тоқтап қалу уақыты мен техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтады. Процестерді оңтайландыру өндірістік процестерді үнемі бақылау және түзету өнімнің тиімділігі мен сапасын арттырады. Қауіпсіздік мониторингі M2M сенсорлары мен байланысы қоршаған орта жағдайлары мен жабдықтың күйін бақылау арқылы жұмыс орнындағы қауіпсіздікті арттырады [44].

*Бөлшек сауда арналған M2M технологиялары:* Тауарлы-материалдық қорларды басқару автоматтандырылған жүйелер тауарлық-материалдық қорлардың деңгейін бақылайды және қажет болған жағдайда тапшылық пен профицитті азайтып, өнімдерге тапсырыс береді [45].

Тұтынушыларға қызмет көрсету сапасы жеке маркетинг және интерактивті дүңгіршектер M2M технологиясының арқасында сатып алу сапасын жақсартады. Жеткізу тізбегін біріктіру. Жеткізушілер, өндірушілер және бөлшек саудагерлер арасында үздіксіз деректер алмасу жалпы тиімділікті арттырады.

*Экологиялық мониторинг арналған M2M технологиялары:* Ластануды бақылау M2M датчиктері ауа мен судың сапасын бақылайды, реттеушілерге мәліметтер береді және экологиялық стандарттардың сақталуына көмектеседі. Климатты бақылау: нақты уақыт режимінде ауа-райы туралы деректерді жинау климатты зерттеуге және апаттарға дайындыққа көмектеседі. Жабайы табиғатты бақылау бақылау құрылғылары жабайы табиғаттың қозғалысы мен денсаулығын қадағалап, оны сақтауға көмектеседі.

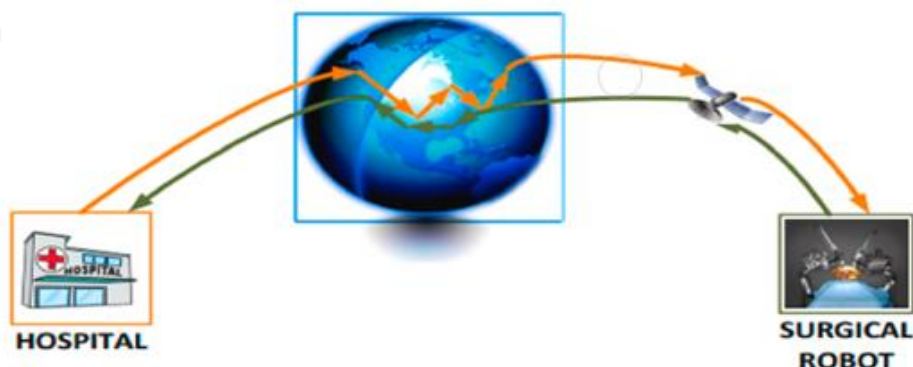
M2M технологиясы тиімділікті арттыруда, шығындарды азайтуда және әртүрлі секторлардағы қызмет сапасын жақсартуда шешуші рөл атқарады. Технология дамыған сайын M2M-дің көбірек салаларға интеграциясы артады деп күтілуде, бұл біздің өмір сүру және жұмыс істеу жолында одан әрі революцияға әкеледі.

#### **1.4 Робототехникалық жүйелерде M2M (Machine-to-Machine) қолдануды зерттеу**

Машинааралық байланысты (M2M) робототехникалық жүйелерге біріктіру – бұл көптеген қосымшалар мен зерттеу бағыттары бар қарқынды дамып келе жатқан сала. M2M технологиясы роботтарға нақты уақыт режимінде бір-бірімен және басқа құрылғылармен байланысуға мүмкіндік береді, бұл тиімдірек және батареяның қызмет ету мерзімін қамтамасыз етеді.

Медициналық робототехника жүйелеріне біріктіру ол телемедицина және хирургиялық роботтарды бақылау жүйелері арасында нақты уақыт режимінде мәліметтер алмасуды қамтамасыз етеді [46]. Зерттеулер мамандарға әртүрлі орындардан жұмыс істеуге мүмкіндік беру арқылы қашықтықтан жұмыс істеудің дәлдігі мен сенімділігін арттыруға бағытталған. Оңалту робототехникасы M2M байланысы пациенттердің нақты уақыттағы пікірлеріне негізделген оңалту жаттығуларын ыңғайлы және бейімдеу үшін қолданылады.

Зерттеулер деректерді үздіксіз бақылау қалпына келтіру нәтижелерін қалай жақсарта алатынын зерттеген [47].



Сурет 1.8 - Телероботтық хирургияның негізгі қондырғысы [48]

Телероботохирургия - бұл жаңа хирургиялық әдістердің дамуына әкелетін дамып келе жатқан хирургиялық бағыт. Мұнда хирургты алыс жерден хирург жасайды. Телероботохирургия хирургқа операциялық робот пен олардың арасындағы байланыс желісі арқылы науқасқа қашықтан операция жасауға мүмкіндік береді. Телеробототехникалық жүйе (ТРС) басшыға (хирург пульті) бағыныштыны (хирургиялық роботты) басқаруға мүмкіндік береді. Қашықтан басқару құралын пайдаланып хирург роботтың қолын басқарады. Хирургтар операция кезінде роботтың реакциясы мен қозғалысын көре алады. Қазіргі уақытта телеробототехникалық жүйелер экстремалды жағдайларда жұмыс істеу қабілетін дәлелдейді. Ол дамымаған елдердегі адамдарға бірқатар өнімдер мен артықшылықтарды ұсынады, соның ішінде жоғары сапалы медициналық көмек, жараланған сарбаздарға жедел хирургиялық көмекке қол жеткізу, әртүрлі географиялық аймақтардағы тиімді шешімдер және белсенді араласу. Сонымен қатар, бұл технология хирургтарға бүкіл әлем бойынша жас хирургтарды қашықтан басқаруға мүмкіндік береді. Сол сияқты, ол дамушы және дамыған елдер мен аймақтардағы денсаулық сақтау жүйелерінің шектеулері мен сәйкессіздіктерін жеңе алады. Артықшылықтардың көпшілігіне бақыланбайтын, дұшпандық ортада қорғалған жүйе мен қауіпсіздікті сақтау мүмкіндігі арқылы қол жеткізуге болады.

Өндіріс және өнеркәсіптік автоматтандыру ақылды зауыттар осы саладағы зерттеулер М2М байланысының өндіріс желілерін қалай оңтайландыруға болатындығына бағытталған [48]. Датчиктермен жабдықталған роботтар тапсырмаларды үйлестіру, техникалық қызмет көрсету қажеттіліктерін болжау және бос уақытты қысқарту үшін бір-бірімен байланыса алады. Бірлескен роботтар (коботтар) М2М технологиясы қауіпсіздік пен тиімділікті қамтамасыз ете отырып, адамдар мен роботтар арасындағы өзара әрекеттесуді жақсартады. Зерттеулер бұл жүйелерді адамның

іс-әрекетіне неғұрлым интуитивті және сезімтал етуге болатынын зерттеген [49].

Ауылшаруашылық робототехникасы нақты егіншілік зерттеулер M2M байланысы ауылшаруашылық операцияларының тиімділігін қалай арттыра алатынын зерттеуге бағытталған. Датчиктермен жабдықталған роботтар мен дрондар фермерлерге пайдалы мәліметтер бере отырып, топырақтың күйін, егіннің күйін және ауа-райын бақылайды. Автономды ауылшаруашылық жабдықтары зерттеулер отырғызу, суару және жинау процестерін оңтайландыру үшін тракторлар мен басқа әдістердің бір-бірімен қалай әрекеттесетінін зерттеген [50].

Логистика және жеткізу тізбегін M2M негізіндегі роботтар тауарлық-материалдық құндылықтарды басқаруды және тапсырыстарды орындауды қалай оңтайландыруға болатынына бағытталған. Роботтар түгендеу деңгейін басқару, жеткізілімдерді бақылау және жеткізу жүйелерімен үйлестіру үшін сөйлесе алады. Жеткізу дрондары және автономды көліктер зерттеулер нақты уақыттағы маршруттарды оңтайландыру және жеткізу бөлімшелері арасындағы үйлестіру үшін M2M байланысын пайдаланудың тиімділігі мен сенімділігін зерттеген [51].



Сурет 1.9 - DHL Массачусетс Штатында Орналасқан Locus Robotics ұсынған робот [51]

DHL Массачусетс Штатында Орналасқан Locus Robotics компаниясымен серіктестігін кеңейтіп, жеткізу тізбегі процестерін цифрландыруды жалғастыруда. 2022 жылға қарай логистика маманы бүкіл әлем бойынша 2000-ға дейін көмекші роботтарды енгізуді жоспарлап отыр.

DHL Supply Chain, Deutsche Post DHL Тобының келісімшарттық логистикалық бөлімшесі Locus Robotics компаниясымен ынтымақтастықты кеңейтетін негіздемелік келісімді жариялады. Тапсырыстарды жинауға арналған робот көмекшілеріне салынған бастапқы инвестиция коммерциялық

ауқымда тиімді болып шықты және бұл миллиондаған долларлық келісім DHL-ді жеделдетілген цифрландырудың кеңірек стратегиясын күшейтуі керек.

Құрылыс және тау-кен өнеркәсібі автономды құрылыс жабдықтары M2M байланысы тиімділік пен қауіпсіздікті арттыра отырып, техниканың автономды жұмыс істеуіне мүмкіндік береді. Зерттеулер бұл жүйелерді күрделі құрылыс жобаларына қалай біріктіруге болатынына бағытталған. Нақты уақыттағы бақылау және бақылау: зерттеулер M2M технологиясы операциялық шешім қабылдау процесін жақсартып отырып, жабдықтың күйі мен қоршаған орта жағдайлары туралы нақты уақыттағы деректерді қалай қамтамасыз ете алатынын зерттеген [52].

Ақылды үйлер мен ғимараттар тұрмыстық роботтар зерттеулер M2M байланысы үй роботтарының тазалау, қауіпсіздік және техникалық қызмет көрсету міндеттерін қалай кеңейте алатынын зерттеуге бағытталған. Бұл жүйелер интеллектуалды және жауап беретін үй ортасын құруға арналған. Қуатты басқару зерттеулер роботтардың M2M-ді жылыту, салқындату және жарықтандыру үшін «ақылды үй» жүйелерімен үйлестіру арқылы энергияны тұтынуды оңтайландыру үшін қалай қолдана алатынын зерттеген [53].

Функционалдық үйлесімділік роботтарды әртүрлі байланыс протоколдарымен және ескірген жүйелермен біріктіру қиын мәселе болып қала береді. Бағдарламалық жасақтама шешімдерін стандарттау және әзірлеу бойынша күш-жігер зерттеудің негізгі бағыттары болып табылады. M2M байланыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету өте маңызды. Қосылған құрылғылардың саны өскен сайын желінің масштабталуын басқару қиынға соғады. Зерттеулер өсіп келе жатқан трафикті және деректерді өңдеу қажеттіліктерін өңдеу үшін жаңа желілік архитектуралар мен бұлттық шешімдерді зерттейді.

M2M байланысы әртүрлі салалардағы прогреске ықпал ететін заманауи роботтық жүйелерді дамытудың маңызды факторы болып табылады. Жасанды интеллект, перифериялық есептеу және қауіпсіздік саласындағы үздіксіз зерттеулермен бірге телекоммуникация саласындағы қосылу шешімдерін үнемі жетілдіру болашақта роботтық жүйелердің мүмкіндіктері мен мүмкіндіктерін одан әрі кеңейтеді.

Машиналарға қызмет көрсетуге арналған мобильді роботтық платформа контекстіндегі машина аралық байланыс (M2M) адамның араласуынсыз әртүрлі машиналар мен құрылғылар арасында деректер мен нұсқаулармен алмасуды қамтиды. Бұл сценарийде мобильді роботтық платформа материалдарды жүктеу және түсіру, процестерді бақылау және машиналардың тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету сияқты тапсырмаларды орындау үшін CNC машиналары (компьютерлік сандық басқару) немесе 3D принтерлер сияқты әртүрлі машиналарға қызмет көрсету үшін қолданылады.

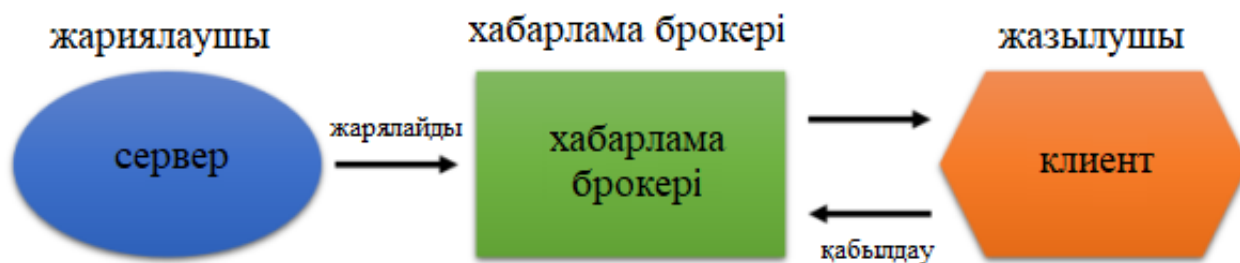
M2M байланысы арқылы қызмет көрсетуге арналған құрылғылар әртүрлі салаларда маңызды объект болып табылады, осылардың әр қайсысына жеке-жеке тоқталатын болсақ.

Нортбрукта орналасқан Barrett - Cravens компаниясы автоматтандырылған, басқарылатын тасымалдаушы құрылғыларды 1953 жылы

алғашқы болып ұсынды [54]. Қозғалыс жолағын бақылап отыратын қарапайым технологиялармен және датчиктермен жабдықталған бұл тасымалдаушы құрылғылар арнайы жолдарға орнатылады. Байланыс, интеграция және унификация сияқты жүйелердің болмауына байланысты бұл технология артта қалып қойды. Кейінірек, 1980 жылдары электроника және автоматтандыру секторы үшінші өнеркәсіптік революцияға байланысты қарқынды дамыды. Соның арқасында әртүрлі интерфейстер мен байланыс технологиялары пайда болды. Төртінші өнеркәсіптік революция арқасында, яғни IoT және Industrie 4.0 сияқты жобалардың арқасында бүгінгі күні ішкі және сыртқы байланыстың жаңа мүмкіндіктері ашылды. Осы мүмкіндіктерді пайдалана отырып енді компаниялар тасымалдаушы құрылғыларды әрі қарай жетілдіре алады және оларды қолданыстағы көлік инфрақұрылымына енгізе алады. Тасымалдаушы құрылғылар технологиясының жалғасы ретінде қазіргі таңда әртүрлі жылжымалы роботтар жасалуда. Мұндай мобильді роботтарды сәтті дамыту үшін бірнеше міндеттерді шешу қажет. Мобильді роботтарды пайдалану жағдайларымен қатар, мобильді роботты әртүрлі өндірістік нысандарға енгізу мүмкіндіктерін егжей-тегжейлі талдау және бағалау қажет.

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) интерфейсі машинааралық байланыс үшін стандартты интерфейске айналды [55]. Сенімді байланысты қамтамасыз ету үшін бұл интерфейстің құрылымы TCP/IP сияқты желілік архитектураға негізделген [56]. MQTT тарату-қабылдау принципі бойынша жұмыс істейді, ақпарат XML форматында жүктеледі [57]. Ең алдымен, MQTT брокері үшін тиісті тақырып анықталады. Содан кейін осы тақырып аясында құрылғы деректерді жариялай алады. Осы тақырыппен байланысқан басқа да құрылғылар дереу жариялау туралы хабарлама алады. Егер құрылғы сон режимінде болса, онда ол белсенді режимге өту туралы хабарлама алады. MQTT желісінде үш маңызды компонент бар: клиенттер, брокерлер және тақырыптар (1 суретте көрсетілгендей). Клиенттер – бұл брокермен әрекеттесу үшін QT кітапханасын пайдаланатын барлық құрылғылар болып табылады. Клиенттерді жариялаушылар мен жазылушылар деп бөлуге болады. Егер жариялаушы брокерге белгілі бір хабарлама жіберсе, онда бұл хабарлама жазылушыларға келеді. Брокерлер клиенттердің аутентификациясы мен авторизациясына, хабарламаларды қабылдау мен сүзуге және барлық жазылушыларға хабарлама жіберуге жауапты. Бұл ретте брокер бірыңғай коммуникациялық процестерді ұйымдастыратын коммуникациялық делдалдың функциясын орындайды. Сонымен қатар, брокерлер арасындағы тікелей байланысты қамтамсыз ететін MQTT брокерлері бар, олар брокер-көпірлер деп аталады. Тақырыптар хабарламаларды топтастыруға, таратуға, сүзуге және бағыттауға мүмкіндік береді.



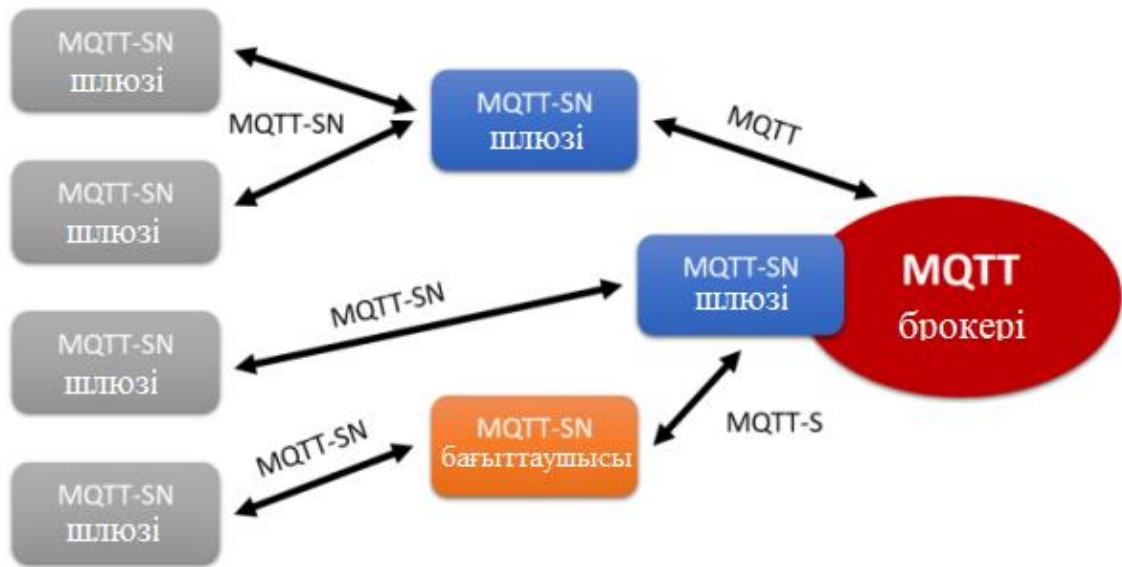


Сурет 1.10 - MQTT хаттамасының жариялаушы және жазылушы схемасы бойынша жұмыс істеу принципі

MQTT интерфейсі деректерді жеткізудің дұрыстығын тексеретін үш механизмнен, клиентпен байланысты бақылау механизмінен, қауіпсіздіктің үш түрлі деңгейінен (none, пайдаланушы және пароль) және TLS/SSL сертификаттарынан тұрады. Осы интерфейстің күрделігін азайту үшін қарапайым тақырыптар қолданылады. Көп жағдайларда екі сатылы конфигурация қолданылады: MQTT клиенттері мен MQTT брокері [58]. MQTTSN – бұл MQTT интерфейсінің модификацияланған түрі болып табылады. Ол сымсыз байланыс пен желі үшін оңтайландырылған және келесі мәселелерді жояды: төменгі өткізу қабілеті, байланыс арналарының үзілуі, қысқа хабарлама ұзындығы, сымсыз желілердегі ақаулардың көптігі және мобильді құрылғылардың бортында деректерді өңдеу мен сақтаудың шектеулі мүмкіндіктері. Технологияның бұл түрі үш сатылы конфигурацияны қолданады.

MQTT сияқты, XMPP «жариялау – жазылу» принципі бойынша жұмыс істей алады және TCP/IP хаттама негізінде құрылады [104]. Деректерді жіберу IP хаттамасы арқылы жүзеге асырылады, бұл хаттама IPv4 және IPv6 екі стандартты да қолдайды [59]. Негізінен, бұл хаттама әртүрлі XML технологияларын қолданады және оны XEP хаттама кеңейтімдерін қолдану арқылы кеңейтуге болады [60]. Сонымен қатар клиент-сервер XML ағындарын тікелей қосу арқылы нақты уақыттағы байланысқа жақын байланысқа қол жеткізуге болады. Сондай-ақ бұл хаттама желіні құру үшін брандмауэр шлюзін немесе қосымша бағдарламалық жасақтаманы пайдалануды қажет етпейді және құрылғыларды бір желіге қосуды жеңілдетеді. XMPP хаттамалық технологиясын пайдалану тегін, ашық, әрі оңай және ол RFC 3920 және RFC 3921 стандарттарына ие. Оның икемділігінің арқасында желіні басқару, бірізділік, файлдарды бөлісу немесе бұлтты есептеу сияқты әртүрлі функциялар мен қосымшаларды жүзеге асыруға болады. Желіде жекелеген клиенттер жариялаушы немесе жазылушы ретінде әрекет ете алатын jabber ID (JID) арқылы идентификацияланады. MQTT сияқты, XMPP жариялау және жазылу принципі бойынша жұмыс істей алады, онда бірнеше XMPP субъектілері тақырыптар жасайды (немесе оларды түйіндер деп те атайды) және оларда ақпаратты жариялайды. Бұл ақпарат осы тақырыптарға жазылған

барлық түйіндерге беріледі, сол себепті түйіндер ақпараттарға оңай қол жеткізе алады.



Сурет 1.11 - MQTT-SN құрылымы сипаттайтын үлгі

Жазылым, жазылымнан бас тарту және жариялау функциялары әртүрлі «сұраныс», «сәтті» немесе «қателік» сияқты хабарламалармен жүзеге асырылуы мүмкін. Сонымен қатар, тақырыптарды құруға, конфигурациялауға, басқаруға және жоюға болады. Қосылу күйін анықтау үшін әр субъектінің қосылуы туралы ақпарат беріледі «қосылды» немесе «ажыратылды» түрінде беріледі. Әртүрлі физикалық құрылғылар үлкен көлемдегі ақпарат шығаратын сенсорлық жүйелерде Pubsub механизмдері жиі қолданылады. Мұндай желілерде сенсорлар мен атқарушы құрылғылар бір уақытта жариялаушы және жазылушы бола алады. Мұндай құрылғылар тиісінше командаларды орындай алады алады, сонымен қатар логикалық файлдарды оқи алады (жазылушы ретінде әрекет еткен жағдайда) немесе сенсорлардан келген деректерді желіге жібере алады (жариялаушы ретінде әрекет еткен жағдайда). Ақпаратты түсіну үшін деректер агрегаторлардың көмегімен жиналады. Агрегаторлар абоненттер болып табылады, олар әртүрлі тақырыптар бойынша деректерді жинап қана қоймай, оларды талдаудан өткізеді, осылайша нәтижесінде тиімді пайдалануға болатын біртұтас ақпарат қалыптасады. Шын мәнінде, бұл ақпараттық массивтер жеке тақырыптарда жарияланады [61]. Бірнеше веб-технологияларға негізделген REST әмбебап XML және Internet Mail Extensions (MIME) кеңейтімдерін, HTTP хаттамасын деректерді жеткізу хаттамасы ретінде, URI идентификаторын мәліметтерді сәйкестендіруші ретінде қолданады. Rest технологиясын қолданған кезде XML файлы веб-сайтқа тіркелген тиісті веб-бетте орналасатын нақты бір ақпараттан тұрады. M2M байланыс аясында жұмыс істеу кезінде RESTful веб-қызметтері жиі қолданылады, өйткені олар статикалық сипаттамаларға ие емес. Осылайша, сенімсіз байланыстарды қалпына келтіруге болады. Сонымен қатар, қосылған құрылғылар қосылыс

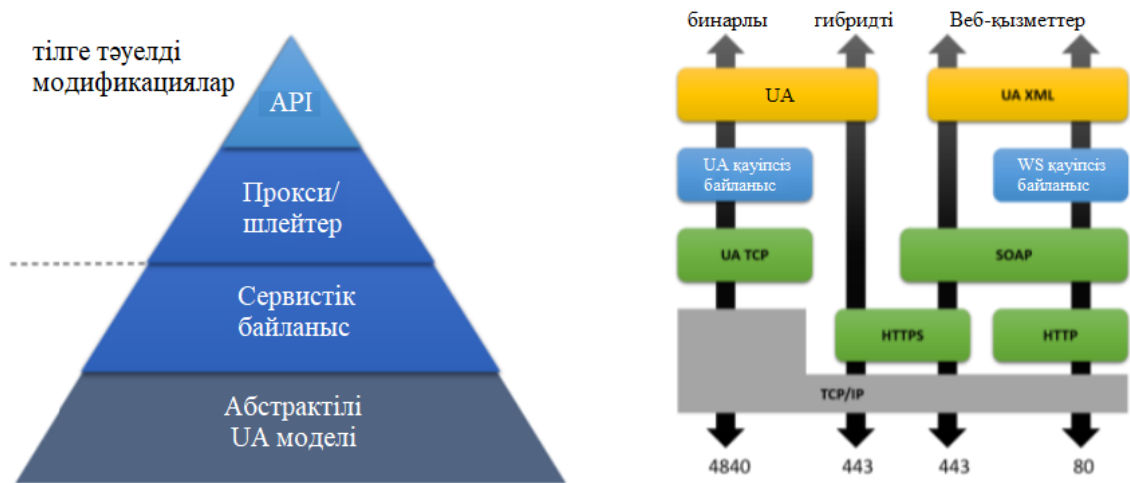
күйлерін басқарып отыраты қосымша жадыны қажет етпейді. RESTful API («қолданбалар интерфейсі») қолданып жеке қолданбаларды конфигурациялауға болады. Дегенмен, жетілдірілген мүмкіндіктері бар желілерге келетін болсақ (деректерді жеткізудің жоғары жылдамдығының аккумулятор, процессордың тұтынатын қуатымен сәйкес келуі), HTTP тақырыптарының үлкен өлшемдеріне және XML, JSON деректер пакетінің үлкен болуына байланысты REST технологиясын қолдану тиімсіз болып табылады. Сол себепті CoAP сияқты жеңілдетілген хаттама типі қажет.

Жоғарыда айтылғандай, IoT және M2M қосымшалары ресурстардың шектеулілігімен және көптеген төмен қуатты құрылғылардың болуымен сипатталады. Сондықтан HTTP-ге балама ретінде жеңілдетілген хаттама қажет. CoAP REST технологиясына негізделген және UDP хаттамасы негізінде жұмыс істейді. Бұл хаттама клиент пен серверлер арасында ақпаратты тікелей жібереді, техникалық қызмет көрсету құны төмен және HTTP-ге оңай түрлендіріледі. Ақпарат XML немесе JSON форматында жіберіледі [62].

OPC бірыңғай технологиясы – бұл қызмет көрсетушіге сұраныстарды қабылдайтын, оларды өңдейтін және шешімді кері жіберетін қызметке бағытталған технология (SOA) болып табылады. Стандартталған және ортақ қызметтерді пайдалану бойынша OPC UA үйлесімді, толықтырылатын және ешқандай платформаға тәуелсіз құрылым ретінде танымал [63]. Ол төрт сатылы құрылымға негізделген: төменгі жағында – UA абстрактілі моделінің сипаттамасы, келесі сатыда қызметтерді байланыстыру, ал пирамиданың ең жоғарғы бөлігінде кеңейтулер мен модификациялар болады. Бұл технология бірнеше күрделі ақпарат түрлерімен алмасуға мүмкіндік беретін семантикалық деңгейде әрекеттесуді қамтамасыз етеді.

1.10 суретте өріс деңгейіндегі басқару элементтері жалпы ақпарат жүйелеріне сілтеме жасай алатын модель көрсетілген. Сондықтан көлік, мета-модельдер мен қызметтер үшін функционалды мүмкіндіктер қажет. Тасымалдау әрбір қосымшаға өзіне тән хаттамаларды қолдана отырып, OPC-UA қосымшалары арасында өзара мәліметтер алмасуға мүмкіндік береді. TCP/IP хаттамасына негізделген UA TCP технологиясы жоғары өнімділік пен жылдамдыққа кепілдік береді, ал HTTP және SoAP болса Firewall-ға бағытталған. Мета-модель ішінде тиісті ақпараттық модельдің әртүрлі нормалары мен негізгі элементтері анықталады. Әр түрлі қызметтер серверлер арасында ақпарат жеткізушілері ретінде және клиенттер оның пайдаланушылары ретінде өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді. Ақпараттық модельдің өзі қабаттардан тұрады, ал әрбір жоғары қабат белгілі бір ережелерге сәйкес құрылады. Бұл дегеніміз, ережелермен жұмыс істеу мүмкіндігі шектеулі клиенттер тіпті егер модель ішіндегі байланыстың қалай жүзеге асатынын білмесе де күрделі ақпараттық модельдерді өңдей алады. Сонымен қатар, UA OPC өнім деректерін, хабарландыруларды, оқиғаларды, мұрағат деректерін және тапсырманы қамтуы мүмкін біріктірілген мекенжай жүйесін қамтамасыз етеді. Сондықтан әр түрлі мекен-жай кеңістіктерін шолу үшін бір ғана

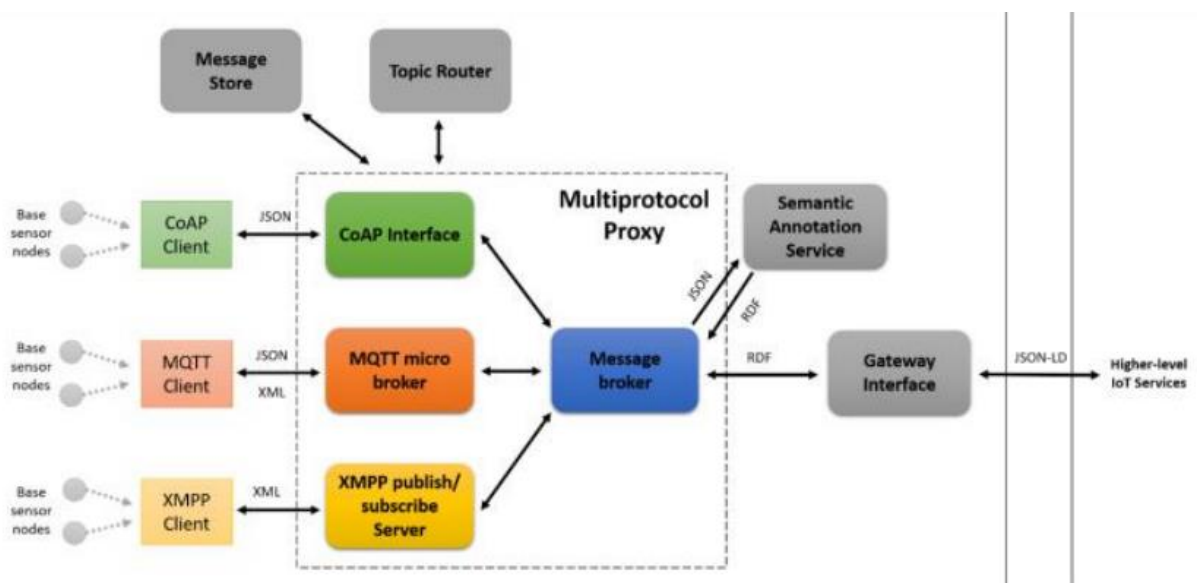
интерфейс қажет болады. Әр түрлі дереккөздерге сәйкес, OPC UA технологиясы жақын арада IoT стандартына айналады деп күтілуде.



Сурет 1.12 - OPC UA құрылымы [19]

IoT концепциясын жүзеге асыру үшін қазіргі таңда «silos» деп аталатын тәсіл қолданылуда. Әрбір нақты қосымшаның өзіндік ішкі құрылымы болады, бұл қосымша интерфейстердің пайда болуына және жоғары шығындарға әкеледі. Болашақта мұндай құрылым барлық тапсырмаларды орындау үшін бір ғана операциялық жүйесі бар көлденең типті құрылыммен ауыстырылатын болады [64]. [65] жұмысқа сәйкес, мұндай желілік инфрақұрылымда үш түрлі қадамды бөліп қарастыруға болады: жинау қадамы, жібері қадамы және өңдеу, ұйымдастыру және пайдалану қадамы. Жоғарыда айтылғандай, физикалық түйіндер, яғни физикалық құрылғылар (RFID, сенсорлар) қысқа қашықтықтағы байланыс арқылы бір-бірімен мәліметтермен алмасады. Сондықтан желінің тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін әртүрлі хаттамаларды қолдануға болады. Мұндай хаттамаларды төмен қуатты желілік хаттамаларға (ZigBee, ZWave, Bluetooth), дәстүрлі желілік хаттамаларға (Ethernet, WIFI) және IoT желілік хаттамаларға (CoAP, MQTT, XMPP) жіктеуге болады. Дегенмен, бұл хаттамалар әр түрлі болмағандықтан, IoT инфрақұрылымдары хаттамадан тәуелсіз болатындай шешімдерді қажет етеді. Шлюз түйіндерінің есептеу ресурстарының көлемінің үлкен болуына байланысты шлюздер IoT қызметтеріне абоненттерді қосу үшін пайдаланылады (SGS). Шын мәнінде, шлюз физикалық құрылғылар мен бұлт арасындағы деректер алмасуды басқарады, оны семантикалық қызметке бағытталған технология (SSOA) деп атауға болады. Мұндай технологияда түйіндер иерархия түрінде немесе торлы желі түрінде өзара байланысады және жоғарыда аталған хаттамалар (CoAP, XMPP, MQTT) арқылы шлюзге қосылады. Бұл ретте шлюзге берілетін деректер іс жүзінде аннотациялауға жатпайды. Бұл ретте шлюзге берілетін деректер іс жүзінде аннотацияланбайды. Іс жүзінде бұл конфигурациядағы физикалық сенсорлық түйіндер әрқайсысы өзінің хаттамасын (CoAP, MQTT, XMPP) қолдайтын клиенттер болып табылады. Клиенттік ақпарат мультихаттамалы

проксиіне JSON және/немесе XML сияқты әртүрлі форматтар арқылы берілуі мүмкін. Осылайша, берілген хаттамаға тән әрбір ақпарат ағынының өз арнасы болады. CoAP, MQTT және XMPP құрылымындағы айырмашылықтарға байланысты тиісті трансляция үшін мультихаттамалы прокси қажет. MQTT «жариялау/жазылу» принципінің негізінде жұмыс істесе, CoAP «сұраныс/жауап» принципінің негізінде жұмыс істейді. «Жариялау/жазылу» принципіне сүйене отырып (pubsub деп те аталады), XMPP ресурстарды тақырыптар емес, түйіндер деп түсінеді. Осы ерекшеліктерге байланысты әр түрлі форматтар қажет (XML және/немесе JSON). 1.11 суреттен көріп отырғаныңыздай, хабарлама қоймасы мен тақырып маршрутизаторы трансляция процесін қамтамасыз ететін мультихаттамалы проксимен байланысады.



Сурет 1.13 - Мультихаттамалы прокси-серверді қамтитын SGS сервистік интерфейс

Тақырып маршрутизаторы әртүрлі тақырыптарды құруға және басқаруға, сондай-ақ осы тақырыптарға арнайы пайдаланушы күйлерін тағайындауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, CoAP ақпаратын осы тақырыптармен сәйкестендіруге болады. Көп арналы хабарламаларды мультихаттамалы прокси-сервер шеңберінде таратқаннан кейін хабарлама брокері оларды семантикалық аннотация қызметіне JSON форматында жібереді. Өңдеуден кейін хабарлама брокері аннотацияланған ақпаратты RDF форматында алады. Бұл формат деректерді шлюз интерфейсіне жіберу үшін қажет. Шлюз RESTful хаттамасымен жұмыс істеуге мүмкіндік беретіндей RDF форматын аннотацияланған JSON форматына түрлендіреді. Бұл сипатталып отырған жүйені бұлтты қызметтермен және басқа да SGS жүйелерімен байланыстыру үшін қажет [66].

M2M-байланыста ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (ICT), сондай-ақ үлкен деректер қолданылады. M2M-дегі үлкен деректерге бес негізгі

талап қойылады: нақты уақыттағы деректермен жұмыс істеу мүмкіндігі, ауқымдылығы, әмбебаптығы, сенімділігі және гетерогенділігі. [67] сәйкес, үш түрлі М2М құрылымын қолдануға болады: IP қолдамайтын үш сатылы, IP қолдайтын екі сатылы және IP қолдамайтын екі сатылы құрылымдар. Бірінші модельде (IP қолдамайтын үш сатылы құрылымда) жекелеген құрылымдарға IP берілмейді. Әдетте бұл құрылым кіріктірілген интеллект пен желіге қол жетімділігі бар арзан құрылғыларды пайдалану кезінде қолданылады. Бұл жағдайда бірнеше шлюзі бар капиллярлық желілер қолданылады. Бірінші деңгейлі шлюз арқылы «нүкте-нүкте» байланысы (мысалы, IEEE 802.15.4, M-Bus) немесе ретранслятор/шлюз арқылы жүзеге асырылатын маршрутталған торлы байланыс (мысалы, ZigBee, Z-Wave) орнатылады. Бірінші деңгейге негізделген екінші деңгейлі шлюз WIFI, Ethernet және ұялы байланыс сияқты кең таралған технологияларды қолдана отырып, IP қолдауымен байланыс орнатады. Кең тараған хаттамаларға UDP, TCP және HTTP жатады, алайла М2М байланысты қолданағанда мәліметтермен алмасу үшін MQTT және CoAP хаттамалары кеңінен қолданылады. Соңында деректермен алмасу және құрылғылардың өзара әрекеттесуі тұрғысынан алғанда жекелеген құрылғыларды басқару үшін үшінші деңгейлі шлюз қызмет берушілермен байланысады. Бірінші физикалық деңгейде орналасқан құрылғылар WIFI, Ethernet немесе ұялы байланыс арқылы екінші деңгейге дербес қосыла алады. Ол үшін шлюз қажет емес. Желіден тыс қосылу мүмкіндігіне байланысты құрылғының өзінде кіріктірілген жады мен интеллект болуы керек. Бұл аппараттық талаптар HTTP немесе MQTT сияқты тиісті хаттаманы қолданудың қажетті шарты болып табылады. Соңғы модель – IP қолдамайтын құрылғыларды қолданатын екі сатылы құрылым. IP негізіндегі транзиттік желіні пайдалану кезінде желіні жеңілдетуге және кеңірек қамтуға қол жеткізуге болады.

Бұл зерттеуде негізгі пайдалану түрі ретінде бөлшектерді автоматты түрде ауыстыру анықталды (Machine Tending). Сондықтан өнеркәсіптік робот-манипуляторынан тұратын мобильді роботтық жүйенің болуы болжанады. Бұл процесті келесі процедураларға бөлуге болады:

- Көлік есігін ашу;
- Бөлшектің күйі мен салмағын тексеру;
- Бөлшек кеңістігінің күйін тексеру;
- Бекіткіштерді ыдырату;
- Көлік ішіндегі бөлшекті таңдау;
- Бөлшекті идентификациялау;
- Бөлшекті алу және өңдеу;
- Бөлшекті көлікке салу;
- Бекіткіштерді бекіту;
- Көліктің есігін жабу.

1.14 суретте мобильді көлік роботын пайдаланудың мысалы көрсетілген.



Сурет 1.14 - Мобильді роботтық жүйемен машиналарға техникалық қызмет көрсету

M2M коммуникацияларын роботтық жүйелерге біріктіру көптеген салаларда айтарлықтай прогреске ықпал етеді. Үздіксіз зерттеулер роботтық жүйелерді тиімдірек, автономды және күрделі тапсырмаларды орындауға қабілетті ете отырып, техникалық мәселелерді шешуге және жаңа қолданбаларды зерттеуге бағытталған. Технология дамып келе жатқандықтан, M2M қолдайтын инновациялық роботтық шешімдердің әлеуеті кеңейіп, салаларды өзгертеді және өмір сапасын жақсартады.

### **1.5 M2M-ді робототехникамен біріктірудің техникалық мәселелері**

Машинааралық байланысты (M2M) робототехникамен біріктіру бірқатар техникалық қиындықтарды тудырады.

Робототехникадағы нақты уақыттағы қосымшалар уақытылы деректер алмасуды қамтамасыз ету үшін төмен кідірісті қажет етеді. Жоғары кідіріс шешім қабылдау мен жауап берудің кешігуіне әкелуі мүмкін, бұл денсаулық сақтау және автономды көлік құралдары сияқты қосымшаларда маңызды болуы мүмкін. Деректерді дереккөзге жақынырақ өңдеу үшін перифериялық есептеулерді енгізу кідірісті азайтуы мүмкін. Дәстүрлі желілермен салыстырғанда кідірісі аз 5G желілерін пайдалану да пайдалы болуы мүмкін. Сымсыз байланыс M2M байланысын бұзуы мүмкін басқа құрылғылар мен қоршаған орта факторларының кедергісіне ұшырайды. Жиілікті басқарудың озық әдістерін және сенімді байланыс протоколдарын пайдалану кедергі мәселелерін азайтуы мүмкін. Маңызды қосымшалар үшін арнайы байланыс арналарын пайдалану да көмектесе алады [68].

Деректердің шамадан тыс жүктелуі. M2M қолдайтын роботтық жүйелер шығаратын деректердің үлкен көлемі өңдеу және сақтау мүмкіндіктерін шамадан тыс жүктей алады. Деректерді сүзу және сығымдау әдістерін енгізу өңделетін және сақталатын деректер көлемін азайтуы мүмкін. Бұлтты сақтау

және таратылған деректерді басқару жүйелерін пайдалану үлкен деректер жиынтығын тиімді басқаруға көмектеседі. Компьютерлер арасында тасымалданатын деректердің қауіпсіздігі мен құпиялылығын қамтамасыз ету, әсіресе денсаулық сақтау және қаржы сияқты сезімтал қосымшаларда өте маңызды. Шифрлау протоколдарын, қауіпсіз аутентификация әдістерін және тұрақты қауіпсіздік жаңартуларын пайдалану деректердің тұтастығы мен құпиялылығын қорғай алады. Қауіпсіз деректер транзакциялары үшін Blockchain технологиясын пайдалану тағы бір жаңа шешім болып табылады [69].

Әр түрлі құрылғылар мен жүйелер әр түрлі протоколдар мен байланыс стандарттарын қолдана алады, бұл интеграцияны қиындатады. M2M байланысы үшін әмбебап стандарттар мен хаттамаларды әзірлеу және қабылдау үйлесімділікті жақсартып алады [70]. Аралық бағдарламалық жасақтама шешімдері гетерогенді жүйелер арасындағы өзара әрекеттесуді жеңілдетуі мүмкін. M2M-ді қолданыстағы ескірген жүйелермен біріктіру ескірген аппараттық және бағдарламалық жасақтамаға байланысты қиын болуы мүмкін. Біртіндеп жаңартулар және ескірген жүйелерді заманауи M2M қолдайтын құрылғылармен байланыстыру үшін адаптерлерді немесе шлюздерді пайдалану тегіс интеграцияға ықпал етуі мүмкін. Машиналар арасындағы тұрақты және сенімді байланысты қамтамасыз ету өте маңызды, әсіресе маңызды қосымшаларда. Резервтік жүйелер мен апаттық ауысу механизмдерін енгізу сенімділікті арттыруы мүмкін. Тұрақты техникалық қызмет көрсету және бақылау сонымен қатар жүйенің бұзылуына әкелмес бұрын ықтимал мәселелерді анықтауға және жоюға көмектеседі. Көптеген өзара байланысты құрылғыларға қызмет көрсету күрделі және ресурстарды қажет етуі мүмкін. Техникалық қызмет көрсету қажеттіліктерін болжау және қанағаттандыру үшін M2M деректерін пайдаланатын болжамды техникалық қызмет көрсету алгоритмдерін пайдалану үзіліс уақытын және техникалық қызмет көрсету шығындарын қысқартуы мүмкін. Қосылған құрылғылардың саны артқан сайын желіні басқару және тиімді байланысты қамтамасыз ету барған сайын қиындай түседі. Масштабталатын желілік архитектуралар мен бұлттық шешімдерді пайдалану қосылған құрылғылардың көбеюін басқаруға көмектеседі. Иерархиялық желілік жобаларды жүзеге асыру масштабталуды жақсартып алады.

Көптеген M2M қолдайтын құрылғылар, әсіресе қашықтағы немесе мобильді қосымшаларда, батареялармен жұмыс істейді, бұл энергия тиімділігін маңызды мәселеге айналдырады. Төмен қуатты байланыс протоколдарын әзірлеу және қуатты басқару стратегияларын оңтайландыру батареяның қызмет ету мерзімін ұзартуы мүмкін. Энергия жинау технологиялары қосымша электр энергиясын да қамтамасыз ете алады.

M2M-ді робототехникамен біріктіру екі салада да арнайы білімді қажет етеді, бұл іске асыруды күрделі және ресурстарды қажет етеді. Кешенді оқытуды қамтамасыз ету және модульдік дайын шешімдерді пайдалану енгізуді



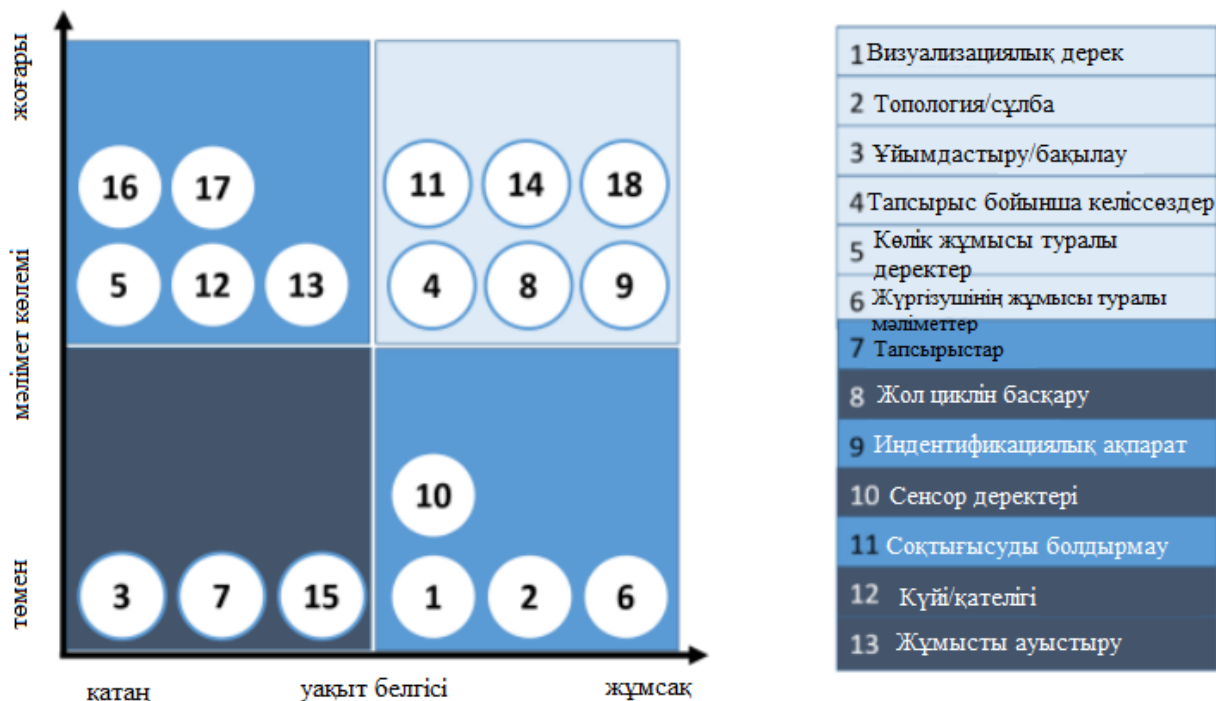
жеңілдетуі мүмкін. Сарапшылармен ынтымақтастық және үшінші тарап шешімдерін қолдану да күрделілікті төмендетуі мүмкін.

Бұл тарауда М2М-ді робототехникамен біріктірудің техникалық мәселелері жайында айтылады. Алдымен әртүрлі дереккөздердің негізінде жалпылама ақпарат сипатталатын болады. Бұл тараудың негізі дереккөзге сүйенеді. VDI/VDE 5100 және VDI 2510 интерфейстерінде автоматтандырылған көлік құралдарының (AGV) материалдық ағындарын басқару жүйелері үшін әртүрлі ақпарат жинақталған. Келесі ақпарат интернетке сүйене отырып келесідей негізделеді: жүйенің құрамдас бөліктеріндегі бағдарламалық агенттерді тіркеу және есептен шығару, көлік бірліктеріне қызмет көрсететін бағдарламалық агенттердің сұраныстары, модуль-агенттер арасындағы тапсырыстар туралы келіссөздер, модуль-агенттердің бағдарламалық қызметтерде ұсыныс және орнату/жою туралы хабарламалары. Вирт VDI және VDMA ұсынған ақпаратты ақпараттық кластарды құру үшін Интернет парадигмасының ақпараттық талаптарымен біріктірді. Осылайша, ақпаратты кластерлерге топтастыруға болады:

- визуализациялаушы деректер;
- топология/сұлба;
- ұйымдастыру/бақылау;
- тапсырыс бойынша келіссөздер;
- көлік жұмысы туралы деректер;
- машинистің жұмысы туралы деректер;
- брондау;
- жүктеу циклін басқару;
- индетификациялаушы деректер, сенсор деректері;
- соқтығысудың алдын алу;
- күй/қате туралы хабарландырулар;
- жұмыс орындарын ауыстыру.

Осы кластарға сәйкес бірнеше ішкі деректер кластары туралы да айтуға болады. Ақпараттың осылай жіктелуінен басқа, Вирт оны нақты уақыт режимінің талаптарына сәйкес кластерледі. Сондықтан нақты уақыт талаптарына сәйкестікті бағалау үшін «уақыт-мақсат», «деректердің максималды көлемі», «сұраныстардың орташа жиілігі» және «терминалдар саны» критерийлері қолданылды. Техникалық жағдайды бағалау үшін жұптасқан уақыт пен деректердің максималды көлемінің критерийлері қолданылады. 1.15 суретте жеке деректер кластарының осы екі критериймен байланысы көрсетілген. Ақпаратты талдау негізінде мобильді робототехника саласына арналған қосымша мәліметтерді бағалау қажет. ЕРС көмегімен осы сценарийді іске асыру процесін модельдеу негізінде өзара әрекеттесу объектілері мен тиісті ақпарат талданды. Негізінен ақпарат кластары «идентификаторлар», «өзара әрекеттесу», «басқару туралы мәліметтер», «робот манипуляторы туралы мәліметтер», «қозғалыстың орындалуы туралы

мәліметтер», «мобильді жүйе туралы мәліметтер» және «кешенді мәліметтер» болып топтастырылады.



Сурет 1.15 - Әртүрлі әрекеттерге арналған мәліметтер көлемі және нақты уақыт талаптары

Идентификаторлар сандық құрылымға ие болғандықтан, деректер саны аз. Сонымен қатар, осы сандармен байланысты тапсырмаларды белсендіру дер кезінде орындауды талап етпейді, сондықтан нақты уақыт режимінде деректерді ұсыну қажеттігі де туындамайды. Екіншіден, тапсырмалардың күйі және аккумулятордың күйі туралы деректер қажет. Бұл күй деректері Pubsub құрылымында тақырыпқа мәндерді енгізу үшін пайдаланылады. Осылайша, үнемді байланыс желісін құруға болады. Күйлердің «Boolean» сипаты деректердің аз мөлшерін пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, күйлер нақты уақыттағы функциялардың міндетті түрде болуын қажет етпейді. Олар сұраныстардан немесе командалардан тұрады, бұл олардың деректерінің көлемін арттырады. Егер ERP сұраныстары жедел түрде жіберілмесе, онда командалық деректер уақытты қажет етеді. Өзара әрекеттесулердің қауіпсіздігі нақты уақыт режимінде ақпарат алмасуға мәжбүр етеді. Сипаттамалық деректердің салмағы әдетте өте аз болады, себебі қарапайым ақпараттардан тұрады. Сонымен қатар, таймерлерді қоспағанда, таймердің қажетті дәлдігіне байланысты деректерді беру басымдығы әдетте төмен болады. Робот-манипуляторда қолданылатын барлық кинематикалық және ақпараттық мәліметтер, әрине, жоғары басымдыққа ие. Бұл күрделі кадрлардың, векторлардың, жазықтықтардың және Якоби матрицаларының болуына байланысты. Қозғалысты орындауға арналған техникалық тапсырмада роботты манипуляторды бекіту, құрал-саймандар, түсіру, жылжыту бойынша нақты

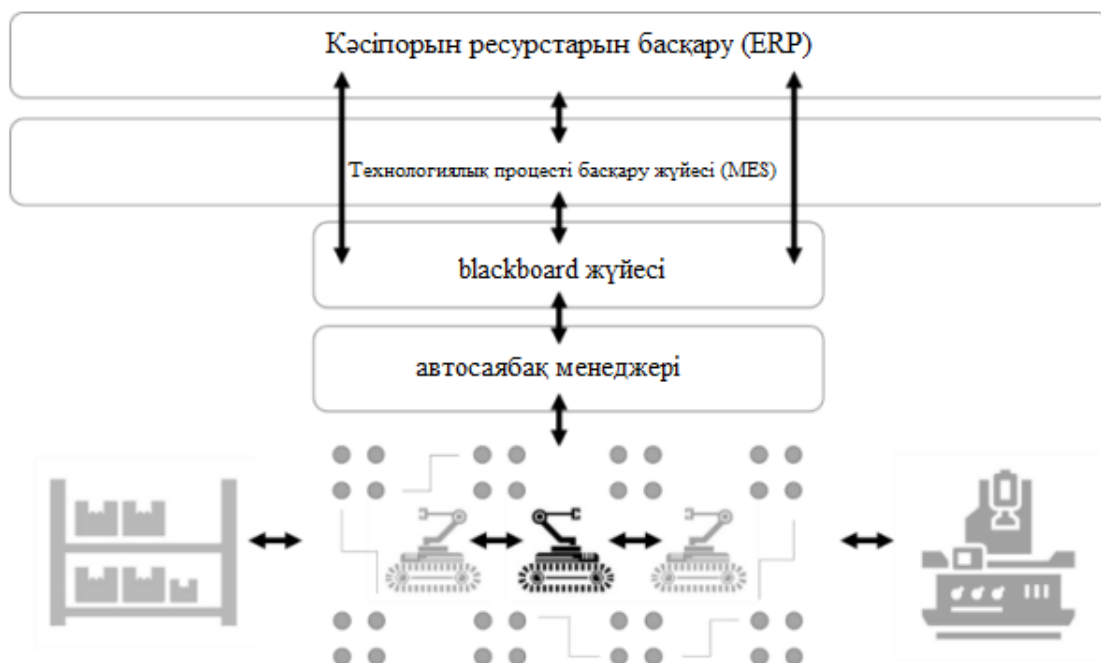
деректер келтіріледі. Қажетті ақпараттың үлкен көлеміне байланысты деректер көлемі де өте үлкен болады. Нақты уақытқа қойылатын талаптар, керісінше, төмен, өйткені қозғалыстың өзі қауіпсіздікке қауіп төндірмей немесе процестердің айтарлықтай баяулауынсыз сәл кідіріспен орындалуы мүмкін. Мобильді платформа бірнеше ақпарат кластарын қажет етеді. Мобильді платформа үшін, сондай-ақ робот-манипулятор үшін позиция деректері жеткілікті қарапайым, өйткені олар  $x$ ,  $y$  және  $z$  мәндерінің жиынтығынан тұрады. Мобильді робот картаны өзі жүктейді, сондықтан нақты уақыт сипаттамаларын қажет етпейді. Алайда, нақты уақыт режимінде карта жасауға тура келуі мүмкін, бұл кезде осындай мүмкіндіктер қажет болады. Картадағы объектілердің нақты уақыт моментіндегі орнын өзгерту үшін басқа мобильді роботтарда болатындай икемді құралдардың болуы талап етіледі. Соқтығыстың алдын алу үшін маршрут туралы ақпаратты ұсыну қажет. Осыған байланысты деректер көлемі, сондай-ақ нақты уақыт талаптары да жоғары болады. Дегенмен, саябақ менеджері әрбір мобильді робот үшін соқтығысуды болдырмайтын жолдарды анықтау үшін маршруттар алдын ала есептеледі. Бұл жағдайда нақты уақыт режимінде ақпарат беру қажет. Бірақ мобильді роботтың қозғалысы кезінде ауытқулар пайда болған кезде, мысалы, күтпеген кедергілер туындаған кезде, бұл ақпарат авто саябақ менеджеріне жеткізілуі керек. Содан кейін келесі басқа маршрут есептеледі және ол басқа да маршруттарға да өз әсерін тигізеді. Сондықтан мұндай жағдайлар үшін нақты уақыт деп аталатын мүмкіндіктер қажет болады. Мобильді роботқа орнатылған сенсорлар кедергілерді, сондай-ақ басқа да роботтарды кедергілер түрінде қабылдай алады. Сенсорлардан алынған деректерді реляциялық типтегі деректер ретінде негіздеуге болады. Кәдімгі координаталық деректерден айырмашылығы, мобильді роботтардың орналасуы туралы деректер инкременттік мәндер ретінде ұсынылады. Мұндай деректер әлдеқайда күрделі болады. Шын мәнінде, робот басқа да объектілермен дәл байланыса алуы үшін мұндай ақпарат нақты уақыт режимінде берілуі керек. Сапар басталғанға дейін мобильді жүйеге қозғалтқыштарды басқару туралы нақты ақпарат қажет (қозғалыс параметрлері), мысалы, үдеу, жылдамдық, жауап беру уақыты. Осы ақпараттық ағындардың әртүрлілігін қарай олардың күрделілік дәрежесін бағалауға болады. Бұл ақпараттар жадыда сақталады және сапар басталғанға дейін қолданылады. Сондықтан бұл жағдайда нақты уақыт режимінде деректерді беру аса маңызды емес. Жылдамдық шектеулері немесе техникалық қауіпсіздік талаптары сияқты жетек процесіндегі өзгерістер нақты уақыт режимінде қажетті бөліктерге жеткізілуі мүмкін. Егер жылдамдық шектеулері қарапайым ақпараттардан (аз мөлшерлі деректерден) тұрса, онда қауіпсіздік талаптары, мысалы, сенсорларды калибрлеу айтарлықтай күрделене түседі. Шын мәнісінде, сенсорлық деректердің өзі де күрделі болып келеді. Сенсорлардың жұмысы туралы бірнеше деректерді біріктіре отырып, толыққанды қорытынды жасауға болады. Қоршаған орта жағдайларына жауап беру үшін сенсорлардан алынған деректерді нақты уақыт режимінде беру керек. Күрделі ақпараттың тағы да бір класына визуалды деректер жатады. Үш өлшемді объектілерді

олардың сапасын анықтау мақсатында сканерлеу кезінде сканерленген деректер оның сапа белгілерін талдау үшін үш өлшемді объектіге аударылуы тиіс. Сондықтан нақты және оңтайлы 3D моделін салыстыру қажет, сәйкесінше бұл деректер көлемінің артуына әкеледі. Деректер көлеміне және нақты уақыттың басымдылығына келетін болсақ, бұрын сипатталған ақпарат кластары 1.16 суреттің аналогы болып табылатын келесі схемаға келтірілді.



Сурет 1.16 - Мобильді роботты пайдалану мысалдарын талдау барысында анықталған деректер көлемі және ақпараттың нақты уақыт талаптары

Вирттің пайымдауынша, жалпы мобильді роботтарға арналған байланыс жүйелеріне сегіз түрлі талап қойылу қажет. Қысқаша айтатын болсақ мұндай талаптарға келесілер жатады: ақпаратты қажет болған жағдайда ғана тарату, сымсыз байланыс, деректермен нақты уақыт режимінде алмасу, үйлесімділік, техникалық ашық стандарттар, басқа байланыс жүйелерімен өзара әрекеттесу, сигнал деңгейінің және желінің істен шығу жиілігінің өздігінен реттелуі, желінің қауіпсіздігі, сондай-ақ батарея қуаты. Аталған негізгі талаптардан басқа, Вирттің диссертациялық жұмысында басқа да талаптарды бөліп көрсетуге болады. Мысалы, мобильді роботтар үшін олардың ішіндегі ең маңыздыларына келесілер жатады: байланыс серіктестерін іздеу, деректердің сәйкестігі және олардың артықтығы. Негізгі талаптардан басқа, байланыс интерфейстерін де ескеру қажет. Вирт ұсынған «blackboard» жүйесіне сүйене отырып, автор 8 суретте көрсетілген нақты қолдану жағдайларына бағытталған жүйенің үлгісін ұсынды.



Сурет 1.17 - Байланыс сұлбасы

Осыдан қосымша талаптар туындайды. Біріншіден, мобильді робот басқа машиналармен, нысандармен және құрылғылармен тікелей байланыса алуы керек (OPC UA арқылы жүзеге асырылатын M2M байланыс жүйесі арқылы). Екіншіден, «blackboard» ақпараттық жүйесімен жұмыс істеу қажеттілігі туындайды, оған publish-and-subscribe сияқты әртүрлі байланыс хаттамалары арқылы қол жеткізуге болады. Байланыс хаттамаларының әртүрлілігіне және барлығы қолданатын бірыңғай стандарттың болмауына байланысты хаттамалар арасындағы үйлесімділіктің болуы өте маңызды. Осыған орай әртүрлі хаттамалармен жұмыс істей алатын мультихаттама проксиінің мысалы қарастырылған болатын. Оны қолданудың басты шарты – ол MQTT, XMPP, CoAP және OPC UA сияқты әртүрлі технологияларды қолдауы қажет. Егер сарапшылардың болжамдары орындалса және болашақта OPC UA негізгі байланыс құралына айналатын болса, онда бұл хаттаманы белсенді түрде қолдау өте маңызды болады. Қорытындылай келе, мобильді робот ERP және MES сынды жүйелермен өзара әрекеттесуі керек екенін атап өткен жөн. Сондықтан осы ақпараттық жүйелерден келген сұраныстар түсінікті болуы керек. Бұған тікелей байланыс арқылы да, авто саябақ менеджерінің көмегімен де қол жеткізуге болады. Бұл байланыс жүйесі екі жақтан да бір мезетте сұраныстарды қабылдап, оларды түсінікті форматқа аударып, тиісті түрде тарата алады. Аралық бағдарламалық жасақтама үшін екі түрлі опция ұсынылады: бағдарламалық жасақтама мобильді робот құрылымына ендіріледі немесе одан тыс жатады. Бірінші нұсқа тиімді, себебі ол ақпаратты өңдеуді орталықсыздандыруды қамтамасыз етеді. Екінші жағынан, бұл құрылым бірнеше кемшіліктерге ие: күрделілік және қосымша шығындардың көп болуы. Екінші нұсқаны қолданған кезде ресурстарды аутсорсингке жіберуге болады,

яғни бұл дегеніміз сыртқы жүйе қажетті командаларды тікелей роботқа беріп отырады. Бір жағынан, шығындарды болдырмауға болады. Екінші жағынан, орталықтандырылған жүйенің сенімділігі өте маңызды. Сыртқы интерфейстерден басқа, ішкі байланыс жүйесі қажет. Біріншіден, мобильді жүйе робот-манипулятормен тікелей әрекеттесуі керек. Сондықтан роботтың оперативті жады енгізу-шығару интерфейстері арқылы манипулятормен және мобильді жүйемен байланысуы керек. Шындығында, қауіпсіздік ережелеріне сәйкес робот пен терминал арасында әдетте қорғаныс тізбегі (Servo ON/OFF) жүзеге асырылады. Бұл платформа қозғалмай тұрған кезде робот манипуляторының қозғалысы орындалады дегенді білдіреді. Әдетте роботты басқару жүйесі немесе PLC арқылы іске асырылады. Сонымен қатар, манипулятор жүйесі Bus интерфейсіне қосылуды қажет етеді. Роботпен бірлесіп жұмыс істеу үшін, яғни адам мен роботтың өзара әрекеттесуін жүзеге асыру үшін қосымша сенсорлық технология қажет. Осыған байланысты автор ISO TS 15066 сияқты әртүрлі нормативтік құжаттарға сілтеме жасайды. Сонымен қатар, толыққанды мобильді құрылғы әзірлеу үшін мобильді платформа мен оған бекітілген сенсорлар бір-бірімен өзара әрекеттесуі қажет.

Бұл жұмыста өндірістік мақсаттарға арналған мобильді роботтық жүйенің әртүрлі коммуникациялық құралдары зерттеліп, әзірленді. Қолданыстағы және дамып келе жатқан коммуникациялық хаттамаларды, стандарттар мен құрылымдарды бақылай отырып, қазіргі уақытта әмбебап байланыс хаттамасы жоқ екені белгілі болды. Байланыс хаттамасы ретінде OPC UA технологиясын қолдану ұсынылады. Әр түрлі коммуникациялық хаттамаларды қолдау және жүйелердің өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету үшін хаттамаларды бір-біріне түрлендіру механизмі ұсынылды. Мысалы бұл жұмыста мультихаттамалы прокси жүйесі егжей-тегжейлі қарастырылды. Сонымен қатар, бұл жұмыста M2M және IoT желілерін ұйымдастырудың әртүрлі нұсқалары сипатталды. Ақпарат көлемі мен уақытқа байланысты қажетті мағлұматтар әртүрлі кластарға топтастырылды. Жаңа мобильді роботтар туралы деректер мен әдебиеттердің жеткіліксіздігіне орай, бұл жұмыста алынған нәтижелер болашақ зерттеулер үшін үлкен маңыздылыққа ие. Сондықтан тұрақты, жан-жақты және функционалды коммуникациялық инфрақұрылымды құру үшін қосымша зерттеулер, эксперименттер қажет.

M2M байланысын робототехникамен біріктіру бірқатар техникалық мәселелерді ұсынады, бірақ оларды инновациялық шешімдер мен стратегиялық тәсілдер арқылы шешуге болады. Осы мәселелерді шеше отырып, біз M2M қолдайтын роботтық жүйелердің әлеуетін толық пайдалана аламыз, әртүрлі салалардағы прогреске ықпал етеміз және жалпы тиімділік пен өнімділікті арттырамыз.

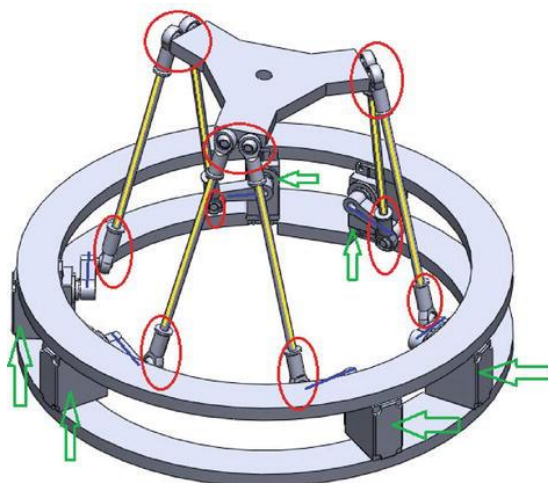
## **1.6 M2M көмегімен Параллель Роботтық жүйелерді интеграциялау**

Параллель Роботтар (ПР), сондай-ақ параллель манипуляторлар ретінде белгілі, XX ғасырдың ортасында пайда болған ұзақ тарихы бар [71]. Параллель

роботтардың алғашқы идеялары мен конструкциялары 1940-1950 жылдары ұсынылды. 1947 жылы Канадалық инженер Джеймс Денавит пен француз ғалымы Жак Парант параллель манипулятордың алғашқы мысалдарының бірі болып саналатын «үш өлшемді қозғалыстарға арналған аналитикалық аппарат» жасады. 1960 жылдары параллель Роботтар Машина жасаудағы сандық басқаруға деген қызығушылықтың артуына байланысты белсенді дами бастады. Осы кезеңде Гоу мен Уайтхолл өздерінің механизмдерін жасады, кейінірек Гоу-Стюарт платформасы деп аталды. Бұл робот автомобиль шиналарын сынауға арналған, бірақ кейінірек басқа қосымшаларға бейімделген [72]. 1980-1990 жылдары компьютерлік технологияның дамуымен және қуатты басқару алгоритмдерінің пайда болуымен параллель Роботтар әр түрлі салаларда белсенді қолданыла бастады. Параллельді роботтарды қолдану медицина, өндіріс, аэроғарыш және Виртуалды шындық сияқты салаларға кеңейді [73].

Параллель роботтарды әртүрлі критерийлер бойынша жіктеуге болады, соның ішінде конфигурация, еркіндік дәрежелерінің саны және жетек түрі [74]. Негізгі түрлеріне мыналар жатады:

*Gough-Stewart Платформалары:* Стюарт платформасы деп те аталатын роботтың бұл түрі параллель жетектермен (шыбықтармен) жалғанған жоғарғы және төменгі платформалардан тұрады. Дискілер жоғарғы платформаның орналасуы мен бағытын басқарады.



Сурет 1.18 - Gough-Stewart Платформалары [75]

Қолданылуы аясы ұшу тренажерларында, хирургиялық жүйелерде, машина жасауда және виртуалды шындықта кеңінен қолданылады.

*Delta роботтары:* Delta роботтарында жылжымалы платформаға қосылған үш немесе төрт параллель тұтқалар бар. Бұл роботтар жоғары жылдамдық пен дәлдікке ие.



Сурет 1.19 - Delta роботтары [76]

Қолданылуы аясы қаптамада, ұсақ бөлшектерді құрастыруда және жеңіл заттарды манипуляциялауда кеңінен қолданылады.

Hexapods: Роботтардың бұл түрінде платформаны үш өлшемді кеңістікте жылжыту үшін дербес басқаруға болатын алты аяғы немесе жетектері бар. Hexapods жоғары дәлдік пен тұрақтылыққа ие.



Сурет 1.20 – Hexapods [77]

Қолдану аясы микроөңдеу, астрономиялық телескоптар және медициналық хирургия сияқты жоғары дәлдіктегі қосымшаларда қолданылады.

IP-тар жоғары дәлдігі, қаттылығы және жоғары жылдамдықпен жұмыс істеу қабілетінің арқасында робототехниканың маңызды бөлігін құрайды. Олар өндірістен медицинаға дейін әртүрлі салаларда қолданылады және жаңа технологиялар мен басқару әдістерінің дамуымен дами береді.

Машинааралық байланысты (M2M) роботтық жүйелерге біріктіру көптеген секторлардағы инновациялар үшін айтарлықтай мүмкіндіктер ашады.

Параллельді роботтық жүйелер, көбінесе параллель манипуляторлар немесе параллель роботтар деп аталады, өнеркәсіпте, медицинада және басқа салаларда көптеген қолданыстарға ие. «Машина-машина» (Machine-to-Machine, M2M) технологияларын осы жүйелерге біріктіру инновациялар үшін елеулі мүмкіндіктер ашады.



Роботтық жүйенің компьютерлік көрудің әртүрлі мүмкіндіктерімен тізімделген интеграциясы ғалымдарға жасанды интеллект пен машинааралық байланыстың көптеген алгоритмдері мен өнімділік параметрлерін қолданатын толыққанды интеллектуалды роботтар жасауға мүмкіндік береді. Бұл суреттерге негізделген тексеру процестерін оңтайландыру, объектілерді цифрландыру, объектілерді анықтау, сондай-ақ визуалды қызмет көрсету, роботтарды калибрлеу, соның ішінде кеңістіктегі роботтық жүйенің мобильді навигациясы үшін өнеркәсіптік секторда соңғы онжылдықта жасанды көру мүмкіндіктерін қолданумен Заттар интернетіне сұраныстың жоғары өсуімен түсіндіріледі [78].

M2M жалпы жұмыс кеңістігінде қауіпсіздік пен тиімділікті қамтамасыз ете отырып, роботтар мен адамдар арасындағы ынтымақтастықты жақсартып алады. Роботтық жүйелер өндірістік процестерді оңтайландыру, техникалық қызмет көрсету қажеттіліктерін болжау және тоқтап қалу уақытын қысқарту үшін бір-бірімен және Орталық басқару жүйелерімен өзара әрекеттесе алады. M2M қолдайтын роботтар өнім стандарттарын жақсарту үшін ақаулар немесе ауытқулар туралы лезде хабарлау арқылы үздіксіз сапа тексерулерін орындай алады.

Роботтандырылған жүйеде нысандарды анықтау визуалды заңдылықтарды талдау және кеңістіктің фонында объектілерді бөлектеу үшін әртүрлі алгоритмдерді қолдана отырып, кескіндердегі немесе бейне файлдардағы объектілерді анықтау және табу үшін бір немесе екі сатылы жасанды көруді анықтау арқылы жүзеге асырылатынын атап өткен жөн [79]. Сондай-ақ, жасанды көру әдістері мен алгоритмдері роботты басқару жүйесінде шешуші рөл атқаратынын ескеру маңызды, өйткені олар роботқа қоршаған ортамен өзара әрекеттесуге, оны талдауға және алынған ақпарат негізінде шешім қабылдауға мүмкіндік береді.

Жасанды көру өріске және қолдану тиімділігіне байланысты көптеген алгоритмдер мен талдау әдістерін қамтиды, мысалы, конволюциялық нейрондық желілер (CNN), тірек векторлық әдіс (SVM), белгілерге негізделген объект детекторлары (HAAR, HOG, SURF және т. б.), сегменттеу әдістері (мысалы, U-Net, MASK R-CNN), бәсекеге қабілетті бейнелеу әдістері және негізгі нүктелерді анықтау (SIFT, ORB, SURF және т. б.), кескін генерациясы үшін терең нейрондық желілер (GAN, VAE) және т. б.

Сондай-ақ, CNN-дің ең көп қолданылатын архитектуралары Mobilenetv2, ResNet50 және DenseNet121 зерттеуде авторлар қолданған [80]. Бұл зерттеуде авторлар қол жеткізді дәлдік көрсеткішінің 2-3% өсуі, mobilenetv2 (88%), ResNet50 (91 %) және DenseNet121 (92%) үшін нейрондық желіге маңызды белгілерді жақсырақ анықтауға мүмкіндік беретін Squeeze-and-Excitation (se) блогын қосу арқылы қол жеткізді. Берілген зерттеу және авторлық зерттеу [81] жетілдірілген нейрондық желі архитектураларының үйлесімімен заманауи машиналық және терең оқыту әдістерін қолдану әртүрлі факторларға тәуелді штаттан тыс жағдайларды анықтау дәлдігін арттырып қана қоймай, сонымен

қатар деректерді өңдеу процесін айтарлықтай жылдамдатуға мүмкіндік беретінін көрсетеді.

Бұл технологиялар объектілерді анықтау, позаны бағалау және семантикалық сегментация сияқты мәселелерді шешу үшін кеңінен қолданылады. Конволюциялық нейрондық желілер (CNN) объектілерді анықтау, кескіндерді жіктеу және көріністерді сегменттеу міндеттерінде басты орын алады. Олар суреттің шикі деректерінен күрделі сипаттамаларды тиімді түрде шығарып, объектілерді дәл сәйкестендіруге және бақылауға мүмкіндік береді. Уақыт тізбегін талдауды қажет ететін тапсырмаларда қайталанатын нейрондық желілер (RNN), атап айтқанда ұзақ мерзімді қысқа мерзімді жад желілері (LSTM) ерекше маңызды. Бұл желілер қозғалатын нысандарды бақылауда және тарихи деректерге негізделген болашақ әрекеттерді болжауда тамаша жұмыс істейді.

Талаптарды талдауды, басқару құрылымын жобалауды, құрылымды әзірлеу технологиялары мен құралдарын таңдауды және деректерді өңдеуді, сондай-ақ жоғары өнімділік пен сенімділікке қол жеткізу үшін жасалған құрылымды сынауды және оңтайландыруды қамтитын кешенді тәсілді қажет ететін роботтық жүйені басқару жүйесін қалыптастыру маңызды фактор болып табылады. Бұл жағдайда осы критерийлерді есепке алу ПР-н басқару жүйесін манипуляторды жоғары өнімділікті, қауіпсіздікті және ресурстарды үнемдеуді қамтамасыз ететін өндірістік процестерді автоматтандыру мен оңтайландырудың қуатты құралына айналдырады [82].

ПР-н басқару жүйесі роботтың қозғалысын тапсырма мен жұмыс жағдайына қарай реттеуге мүмкіндік беруі керек. Бұл роботтың әртүрлі факторлар мен жағдайларға икемділігі мен бейімделуін қамтамасыз ететін жұмыс кеңістігінің белгілі бір аймағындағы қозғалысты басқаруды қамтиды. Құру кезінде де маңызды басқару жүйесі әртүрлі процестерді автоматтандыру үшін кешенді шешімдер жасауға мүмкіндік беретін басқа автоматтандырылған жүйелермен және компоненттермен интеграциялау мүмкіндігін ескеру қажет. Бұл ең аз энергия шығынын ескере отырып, тиімділік пен өнімділікті арттырады. Соның ішінде қолданыстағы жасанды көру әдістері мен алгоритмдерінің роботтық жүйені басқару жүйесімен байланысы алынған сенсорларды өңдеуге және талдауға мүмкіндік береді деректер, роботтың шешім қабылдауына негіз болатын нысандардың үлгілерін, контурлары мен сипаттамаларын анықтау.

Қолданыстағы жасанды көру әдістері мен алгоритмдерінің алуан түрлілігіне қарамастан, авторлардың көпшілігі [83] CNN модельдеріне артықшылық береді, ол өзін жасанды көру саласындағы ең қуатты және кеңінен қолданылатын әдістердің бірі ретінде көрсетті. CNN алгоритмдерінің модельдері роботтық жүйеге суреттерден немесе бейнелерден иерархиялық белгілерді автоматты түрде алуға мүмкіндік береді, бұл оларды тапсырмаларды жіктеуге, объектілерді анықтауға, сегменттеуге және басқаларға тиімді етеді.

Нейрондық желілер роботтық жүйе үшін қысқа мерзімде дәлірек нәтижелерді қамтамасыз ететін қабілеттері арқылы объектілерді анықтау

мәселесінде басқа әдістер мен шешімдерден асып түседі [84]. Жасанды интеллектпен нейрондық желіні қолдану негізінде жасалған интеллектуалды роботтық жүйе жүйені әртүрлі жағдайларға бейімделуге, шешім қабылдауға және адамның минималды қатысуымен тапсырмаларды орындауға үйретуге мүмкіндік беретін заманауи технологиялық шешім болып табылады, сонымен қатар олардың өнімділігін, автономия деңгейін және тапсырмаларды орындау дәлдігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Бұл жоғарыда аталған авторлардың практикалық жетістіктерімен расталады.

M2M байланысы бұл машиналарға нақты уақыттағы деректерге негізделген отырғызу, суару және жинау процестерін оңтайландыру арқылы синхронды жұмыс істеуге мүмкіндік береді. M2M технологиясымен жабдықталған дрондар фермерлерге пайдалы ақпарат беру арқылы дақылдардың жай-күйін, топырақ жағдайын және зиянкестердің ластануын бақылай алады. Мал шаруашылығын басқару роботтық жүйелер жануарлардың оңтайлы әл-ауқаты мен өнімділігін қамтамасыз ете отырып, малды азықтандыруды, саууды және денсаулықты бақылауды басқара алады [85].

M2M қоймалардағы роботтар арасындағы байланысты сақтауды, іздеуді және басқаруды оңтайландыру арқылы жеңілдетеді. Жеткізу үшін дрондар мен роботтар: орталық жүйелермен нақты уақыттағы деректерді бөлісу жеткізуші роботтардың тиімділігі мен дәлдігін арттырып, уақтылы және дәл жеткізуді қамтамасыз етеді. Флотты басқару автономды жеткізу құралдары оңтайлы маршруттарды жоспарлау, жанармай шығынын азайту және көлік кептелісін болдырмау үшін бір-бірімен әрекеттесе алады.

M2M құрылыс роботтарының автономды жұмыс істеуіне мүмкіндік береді, бұл құрылыс алаңдарындағы қауіпсіздік пен тиімділікті арттырады. M2M байланысы жұмыс қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыра отырып, жабдықтар мен қоршаған орта жағдайларын нақты уақыт режимінде бақылауды қамтамасыз ете алады. Роботтар ресурстарды бөлу мен пайдалануды басқара алады, қалдықтарды азайтады және тұрақтылықты арттырады.

M2M тұрмыстық роботтарға ыңғайлылық пен тиімділікті арттыра отырып, тазалау, қауіпсіздік және техникалық қызмет көрсету сияқты тапсырмаларды үйлестіруге мүмкіндік береді. Роботтар ақылды үй жүйелерімен өзара әрекеттесу, жылыту, салқындату және жарықтандыруды оңтайландыру арқылы энергияны тұтынуды басқара алады.

M2M роботтарға күту уақытын қысқарту және тұтынушылардың қанағаттануын арттыру арқылы төлем процестерін басқаруға мүмкіндік береді. Роботтар тауарлық-материалдық қорлардың деңгейін бақылай алады және толықтыруларды басқара алады, сөрелердің әрқашан толтырылуын қамтамасыз етеді және қол еңбегін азайтады. Клиенттерге көмек сервистік Роботтар орталық дерекқорлармен байланысу арқылы ақпарат бере алады, клиенттерге бағыт-бағдар бере алады және жеке сатып алу тәжірибесін ұсына алады. M2M технологияларын параллельді роботтық жүйелерге біріктіру инновациялар мен

өндіріс процестерін жақсартуға кең мүмкіндіктер ашады, бұл сайып келгенде осы жүйелердің тиімділігін, қауіпсіздігін және бейімделуін арттырады.

M2M коммуникацияларын роботтық жүйелерге біріктіру әртүрлі салалардағы прогреске ықпал ете отырып, инновациялар үшін көптеген мүмкіндіктер ашады. Нақты уақыт режимінде деректерді бөлісу мен үйлестіруді қамтамасыз ете отырып, M2M технологиясы роботтық жүйелердің мүмкіндіктерін кеңейтіп, оларды тиімдірек, сенімді және күрделі тапсырмаларға бейімдейді. Бұл технология дамып келе жатқандықтан, біз әлемді өзгертетін одан да күрделі және біріктірілген роботтық шешімдерді көреміз деп күтуге болады.

Робототехникада Gough-Stewart платформасы, Delta және Hexapods роботтары әдетте салыстырылады, әсіресе M2M талдауын қолдану арқылы. Сондықтан мұндай ПР және олардың басқа роботтық жүйелерден артықшылығы таңдалады:

Параллельді Роботтар, атап айтқанда Gough-Stewart платформасы, Delta және Hexapods роботтары жоғары дәлдікті, қаттылықты және жүк көтергіштігін қажет ететін қосымшалар үшін таңдалады. ПР параллель жалғанған бірнеше аяқтардан тұрады, бұл оларға жүктемені біркелкі бөлуге және жұмыс кезінде қаттылықты сақтауға мүмкіндік береді. Олар күрделі позициялау тапсырмаларындағы дәлдік пен тұрақтылық, сондай-ақ жылдам және дәл манипуляцияны қажет ететін тапсырмалар маңызды болған кезде артықшылық береді.

ПР-дің басқа жүйелерге қарағанда негізгі артықшылықтары ол:

– Жоғары қаттылық пен жүк көтергіштігі: параллель конфигурация күштің бірнеше сілтемелерге жақсы таралуын қамтамасыз етеді, нәтижесінде қаттылық жоғарылайды. Бұл өңдеуде, хирургиялық робототехникада және ұшу тренажерларында қолдану үшін маңызды, мұнда жүктеме кезінде ең аз ауытқу қажет;

– Жақсартылған дәлдік: параллель роботтың құрылымымен белгіленген белгілі бір траекториялармен шектелген аяқ-қолдардың шектеулі қозғалыстарына байланысты жоғары орналасу дәлдігін көрсетеді. Бұл дәлдік робототехника хирургиясы немесе дәл құрастыру сияқты мұқият, қайталанатын тапсырмаларды қажет ететін қолданбалар үшін өте маңызды;

– Аз қозғалмалы масса және жылдам реакция: бүкіл қол қозғалуы керек Өндірістік роботтардан айырмашылығы, ПР тек жеңіл сілтемелер қозғалатын стационарлық жетектер болады. Бұл жалпы қозғалмалы массаның азаюына әкеледі, бұл жылдамдықты тездетуге және баяулатуға мүмкіндік береді, бұл оларды Delta роботтарымен түсіру және орналастыру операциялары сияқты жоғары жылдамдықты қосымшаларға қолайлы етеді;

– Жақсы динамикалық өнімділік: компам құрылымы мен таратылған жүктемесі бар PR жақсы динамикалық өнімділікке қол жеткізе алады, бұл оларға күрделі жоғары жылдамдықты траекторияларды өндірістік роботтарға

қарағанда тиімдірек өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл артықшылық ұшуды модельдеу және Виртуалды шындық сияқты қосымшаларда құнды, мұнда реализм мен пайдаланушы тәжірибесі үшін динамикалық реакция қажет;

– Жақсартылған тұрақтылық пен артықшылық: PR-де платформаны қолдайтын бірнеше аяқ-қолдар болғандықтан, кейбір компоненттерде кішігірім қателіктер немесе ауытқулар болса да, олар артықшылық пен тұрақтылықты қамтамасыз ете алады. Бұл мүмкіндік тұрақтылық пен сенімділік маңызды болатын қауіпсіздік үшін маңызды қолданбалар үшін пайдалы.

Gough-Stewart платформасы, Delta роботтары және Hexapods сияқты PR жүйелері үшін M2M салыстыруын пайдалану әртүрлі конфигурацияларда өнімділікті егжей-тегжейлі бағалауға мүмкіндік береді. M2M зерттеушілерге жұмыс кеңістігі, күштің таралуы және дәлдік сияқты факторларды талдауға мүмкіндік береді, бұл тапсырма талаптарына негізделген қолайлы PR дизайнын таңдауға көмектеседі. Мысалы, Gough-Stewart платформалары көп бағытты тұрақтылықты қажет ететін қолданбалар үшін жақсырақ болуы мүмкін, ал Delta роботтары жоғары жылдамдықты, тегіс қозғалыстарда тамаша.

## **1.7 Жасанды көру жүйесін PR операцияларын синхрондауға біріктіру**

Жасанды көру (компьютерлік көру) — объектілерді анықтау, қадағалау және жіктеуді жүзеге асыра алатын машиналарды құру теориясы мен технологиясы [86].

Ғылыми пән ретінде компьютерлік көру бейнелерден ақпарат алатын жасанды жүйелерді құру теориясы мен технологиясын білдіреді. Бейне деректері бейне тізбегі, әртүрлі камералардағы кескіндер немесе Kinect құрылғысы немесе медициналық сканер сияқты үш өлшемді деректер сияқты көптеген пішіндермен ұсынылуы мүмкін.

Технологиялық пән ретінде компьютерлік көру компьютерлік көру жүйелерін құруға компьютерлік көру теориялары мен модельдерін қолдануға тырысады. Мұндай жүйелерді қолданудың мысалдары:

- Процестерді басқару жүйелері (өнеркәсіптік роботтар, автономды көлік құралдары);
- Бейнебақылау жүйелері;
- Ақпаратты ұйымдастыру жүйелері (мысалы, кескін дерекқорларын индекстеу үшін);
- Объектілерді немесе қоршаған ортаны модельдеу жүйелері (Медициналық кескіндерді талдау, топографиялық модельдеу);
- Өзара әрекеттесу жүйелері (мысалы, адам-машиналық өзара әрекеттесу жүйесіне арналған кіріс құрылғылары);
- Толықтырылған шындық жүйелері.

Мысалы, камералары бар мобильді құрылғыларға арналған есептеу фотосуреті.

Компьютерлік көруді биологиялық көрудің толықтырушысы ретінде де сипаттауға болады (бірақ міндетті түрде керісінше емес). Биологияда адамның және әртүрлі жануарлардың визуалды қабылдауы зерттеледі, нәтижесінде физиологиялық процестер тұрғысынан осындай жүйелердің жұмыс үлгілері жасалады. Екінші жағынан, компьютерлік көру аппараттық немесе бағдарламалық түрде орындалатын компьютерлік көру жүйелерін зерттейді және сипаттайды. Биологиялық және компьютерлік көру арасындағы пәнаралық алмасу екі ғылыми салада да өте нәтижелі болды.

Компьютерлік көру бөлімдеріне *әрекеттерді қайталау, оқиғаларды анықтау, бақылау, үлгіні тану, кескінді қалпына келтіру* кіреді.

Қазіргі заманғы робототехникалық жүйелер тапсырмалардың автономиясы мен дәлдігін арттыру үшін жасанды көруді (ЖК) көбірек қолданады. Жасанды көру жүйелерін параллельді роботтық жүйелерге біріктіру олардың жұмысын үйлестіру мен синхрондаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады, бұл әсіресе күрделі өндірістік және логистикалық процестерде маңызды.

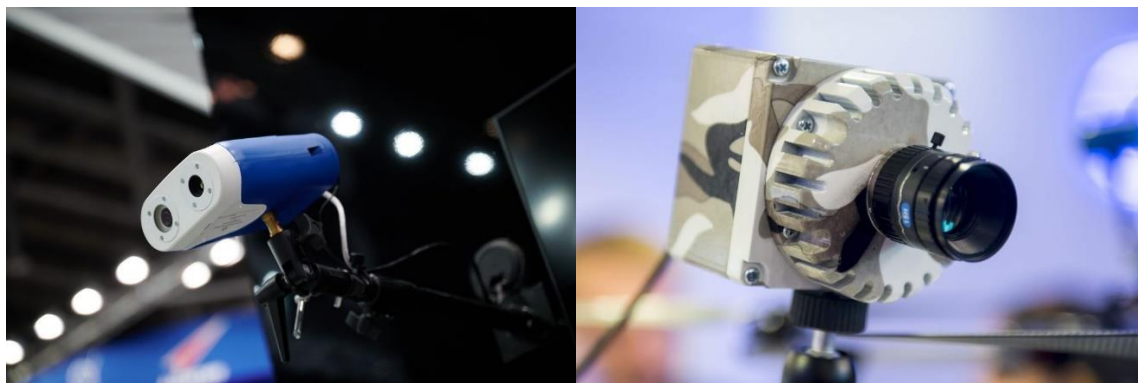


Сурет 1.21 - «РТ-Инвест» компаниясы 2021 жылдан бастап қалдықтарды қайта өңдеу кешендерінде қоқыстарды сұрыптау үшін құрастырған роботы [87].

Жасанды көру робототехниканы дамытуда, әсіресе көптеген роботтар параллель жұмыс істейтін жүйелерде шешуші рөл атқарады. Мұндай жүйелер өнеркәсіптік өндіріс, логистика, медицина және ауыл шаруашылығын қоса алғанда, әртүрлі салаларда сұранысқа ие. Жасанды көруді пайдалану роботтарға тапсырмаларды дәлірек орындауға, бір-бірімен әрекеттесуге және өзгеретін қоршаған орта жағдайларына бейімделуге мүмкіндік береді.

*Жасанды көру жүйесінің негізгі компоненттері камералар мен сенсорлар:*

- RGB камералары: нысандарды тану және жіктеу үшін пайдалы түрлі-түсті кескіндерді түсіріңіз;
- Тереңдік камералары: көріністің үш өлшемді құрылымын түсіну үшін маңызды объектілерге дейінгі қашықтық туралы ақпарат береді;
- Стерео камералар: үш өлшемді кескіндерді жасау үшін екі немесе одан да көп линзаларды пайдаланыңыз;
- Жылу түсіргіштер: жылу объектілерін анықтау үшін инфрақызыл сәулеленуді түсіріңіз.



Сурет 1.22 - Жасанды көру жүйесінің негізгі компоненттері камералар [88]

*Операцияларды синхрондаудағы жасанды көру жүйелерінің рөлі:*

– Нысандарды анықтау және қадағалау: жасанды көру жүйелері жұмыс аймағындағы нысандарды дәл анықтай алады және олардың қозғалысын бақылай алады. Бұл роботтарға нақты уақыттағы әрекеттерін реттеуге және соқтығысудан аулақ болуға мүмкіндік береді [89-90];

– Роботтар арасындағы үйлестіру: бір уақытта бірнеше робот жұмыс істейтін жағдайларда жасанды көру жүйелері әр роботтың орны мен әрекетін бақылай алады. Бұл үйлесімді жұмысқа, жанжалдардың алдын алуға және қауіпсіздікті қамтамасыз етуге ықпал етеді;

– Өзгермелі жағдайларға бейімделу: жасанды көрумен жабдықталған Роботтар қоршаған ортаның өзгеруіне бейімделе алады, мысалы, объектілерді жылжыту немесе жарық жағдайларын өзгерту. Бұл әсіресе динамикалық өндіріс орталарында маңызды;

– Тапсырмаларды орындауды оңтайландыру: визуалды деректерді талдау арқылы жүйелер роботтар арасында орналасқан жері мен ағымдағы күйін ескере отырып, тапсырмалар тізбегін оңтайландыра алады. Бұл тиімділікті арттыруға және операцияларды орындау уақытын қысқартуға ықпал етеді.

*Параллельді робототехникадағы жасанды көру жүйесінің рөлі ол роботтардың әрекеттерін үйлестіру:*

– Нысандарды анықтау және қадағалау: жасанды көру жүйелері роботтарға объектілердің орналасқан жері мен қозғалысын дәл анықтауға мүмкіндік береді, бұл олардың әрекеттерін үйлестіру үшін маңызды;

– Тапсырмаларды бірлесіп орындау: параллель жүйелерде Роботтар тапсырмаларды тиімдірек орындау үшін өзара әрекеттесе алады және үйлестіре алады.

*Қоршаған ортаға бейімделу:*

– Өзгерістерге жауап беру: Жасанды көру жүйелері роботтарға қоршаған ортаның өзгеруіне бейімделуге мүмкіндік береді, мысалы, объектілерді жылжыту немесе жарық жағдайларын өзгерту;

– Автономияны арттыру: жасанды көру роботтарға адамның тұрақты бақылауынсыз автономды жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

*Жұмысты оңтайландыру:*

– Тапсырмаларды жоспарлау және бөлу: жасанды көру жүйелері роботтар арасында орналасқан жері мен ағымдағы күйін ескере отырып, тапсырмаларды орындау ретін оңтайландыра алады;

– Тиімділікті жақсарту: нысандарды дәл тану және қадағалау тапсырмаларды орындау уақытын қысқартуға және жүйенің жалпы өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жасанды көру жүйелерін параллельді Робот операцияларын синхрондауға біріктіру робототехниканы дамытудағы маңызды қадам болып табылады. Бұл жүйелер тапсырмалардың дәлдігі мен тиімділігін арттырып қана қоймайды, сонымен қатар күрделі және динамикалық ортада роботтардың мүмкіндіктерін кеңейтеді [91]. Алайда, максималды тиімділікке қол жеткізу үшін осы технологияларды енгізуге байланысты техникалық және ұйымдастырушылық сын-қатерлерді еңсеру қажет. Жасанды көру жүйелері роботтардың жоғары дәлдігін, автономиясын және бейімделуін қамтамасыз ететін параллельді робототехникада шешуші рөл атқарады. Оларды пайдалану процестерді оңтайландыруға, тиімділікті арттыруға және робототехникалық жүйелердің мүмкіндіктерін кеңейтуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, максималды тиімділікке жету үшін осы жүйелерді енгізу мен пайдалануға байланысты техникалық қиындықтарды жеңу қажет.

## **1.8 Жасанды көру жүйесі бар ПР-қа шолу**

Қазіргі таңда жасанды интеллект (ЖИ) және робототехника саласындағы жетістіктер автоматтандырылған процестерді жаңа деңгейге көтеруде [92]. Осындай технологиялардың бірі — жасанды көру жүйесіне негізделген роботталған жүйелер (ПР). Жасанды көру технологиясы ПР-ға нақты уақыттағы бейнелер мен деректерді талдау арқылы қоршаған орта туралы ақпарат алуға және динамикалық жағдайларға икемделуге мүмкіндік береді. Бұл жүйе әртүрлі салаларда кеңінен қолданылуда: өндіріс және логистика, медициналық қызметтер, ауыл шаруашылығы, қорғаныс саласы және тұрмыстық көмек көрсету қызметтері [93].



Жасанды көру жүйесі бар роботтар өздерінің негізгі міндеттерін автоматтандырылған талдау мен шешім қабылдау арқылы орындайды. Жүйе бейнелерді өңдеу және объектілерді тану арқылы роботқа нақты тапсырмаларды орындауға мүмкіндік береді, мысалы, белгілі бір нысанды таңдау, мақсатқа бағыттау немесе қоршаған ортаны бағалау. Бұл қабілеттері роботтарға жылдамдықты, дәлдікті арттыруға және адам араласуын азайтуға көмектеседі [94-95].

Жасанды көру жүйелерімен жабдықталған ПР саласындағы зерттеулердің негізгі бағыттары — объектілерді тану, қозғалыс траекториясын болжау, кедергілерден айналып өту және өзара әрекеттесудің интерактивті механизмдерін дамыту. Сонымен қатар, машиналық оқыту және нейрондық желілер арқылы жасанды көру жүйесінің дәлдігі мен тиімділігін жақсарту осы саланың маңызды мәселелерінің бірі болып табылады. Осы зерттеулер мен жетілдірулер роботтардың тиімділігін арттыруға, операцияларды автоматтандыруға, және адам мен роботтың бірлескен жұмысын оңтайландыруға ықпал етеді [96-101].

Жасанды көру жүйесі бар ПР саласының әлеуеті зор және ол ғылыми зерттеулердің қызығушылығын арттырады. Қазіргі таңда бұл жүйелердің дамуы — көптеген жаңа міндеттерді шешуге, интеллектуалды роботталған жүйелерді жобалауға және олардың шынайы өмірде қолдану аясын кеңейтуге негіз болады.

[102] авторлар пайдаланушыларға күрделі роботтық әрекеттерді тез әзірлеуге мүмкіндік беретін жеке өңдеу және байланыс мүмкіндіктері бар жүйенің прототипін жасау үшін «күру арқылы бағдарламалау» тұжырымдамасын ұсынды. Пайдаланушының мінез-құлқына негізделген робототехниканың жаңа түрін әзірледі және бұл әдісті мобильді және гуманоидты роботтарға қолданды.

[103] авторлар автоматты түрде тапсырмаларды жоспарлау, білімді ұсыну, әлемді модельдеу, құрастыруды автоматты жоспарлау кезінде пайымдау және роботтандырылған құрастыру жүйелеріндегі әрекеттерді визуалды бақылау сияқты зерттеу сұрақтарын талқылады. Робот жүйелерінде сенсорлық кері байланысты интеграциялау қажеттілігі артып келеді, бұл роботқа қоршаған ортаны жақсырақ қабылдауға және нақты уақыт режимінде ақылды шешім қабылдау қабілетін арттыруға көмектеседі. Жасанды интеллекттің роботтарды бағдарламалау және басқарудағы рөлі талқыланады. Роботты бағдарламалаудың қолжетімді жүйелері, соның ішінде робот деңгейіндегі, объект деңгейіндегі және тапсырма деңгейіндегі тілдер қарастырылады. Интеллектуалды роботтарды әзірлеудің маңыздылығы, икемді автоматтандыру аясын кеңейту және ғарышта, су астында және қатал жағдайларда жаңа робототехникалық қосымшаларға жол ашу мүмкіндіктері сипатталады.

Макмастер университетінде интеллектуалды роботтарды бағдарламалау және басқару жүйелерін әзірлеу мен енгізудің қазіргі жағдайы түсіндіріледі. Қарастырылатын зерттеу мәселелеріне мыналар жатады:

(1) тапсырмаларды автоматты түрде жоспарлау, (2) білімді көрсету және пайдалану, (3) әлемді моделдеу, (4) автоматты құрастыруды жоспарлау кезінде пайымдау және, (5) көрініс арқылы әрекеттерді бақылау. Құрастыру кезінде қолданылатын геометриялық, функционалдық және манипуляциялық пайымдаулардың мысалдары келтірілген.

Зерттеу жұмыста сипатталған жүйелер икемді өндірісті зерттеу және дамыту орталығында жүзеге асырылуда. Бірнеше техника түрлері, соның ішінде алты осьті буынды робот, бірнеше камералы сұр деңгейлі техникалық көру жүйесі, Micro VAX II және әртүрлі графикалық мониторлар қолданылады. Бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеуге арналған тілдерге Common LISP, C, OPS5, VAL II, PASCAL және FORTRAN 77 жатады. Қолдану аясы қазіргі уақытта механикалық құрастыруға шоғырланған.

[104] авторлар өндіріс тиімділігін арттыру үшін машина көрінісі мен кескіндерді өңдеу алгоритмдерін пайдалана отырып, мақта жинауға арналған автоматты роботты әзірлеуге назар аударды. Ауыл шаруашылығы секторы автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және соңғы уақытта робототехника сияқты инженерлік жетістіктерге мұқтаж. Қазақстанда мақта өсіру – коммерциялық дақылдар ішінде үлкен үлеске ие сала – жұмыс күшінің қымбаттауына байланысты мақтаны жинау мәселесімен бетпе-бет келуде. Роботтар үшін перцептивтік жүйелерді зерттеу және дамыту ауыл шаруашылығы секторына жалпы шығындарды азайтуға мүмкіндік беретін технологияны меңгеруге жағдай жасады. Бұл интеллектуалды роботтар үш өлшемді өрнектерде объектілерді сәйкестендіру, орналасуы, түсі және бағытына қарай анықтау үшін әртүрлі көру сенсорларын қолданады. Бұл жасанды интеллект жүйесі робот көру мүмкіндігі үшін сурет сегментациясын өңдеуге, инварианттар, өлшем, пішін сияқты сипаттамаларды өлшеуге, текстура мен көріністі талдауға, сондай-ақ робот қолдарын қажетті бұрышта басқаруға бағытталған.

Тайбэй ұлттық университетіндегі Жасанды интеллект және робототехника технологиялары зертханасы (AIART Lab) жасанды интеллект (ЖИ) пен робототехника саласындағы озық зерттеулермен айналысады және осы салаларда инновациялық жобаларды жүзеге асырады [105]. Зертхананың негізгі бағыты — интеллектуалды жүйелерді, машиналық оқыту алгоритмдерін және робототехниканы интеграциялай отырып, нақты өмірде қолданылатын роботтар мен жасанды интеллекттің функционалдығын арттыру.

AIART Lab зертханасында робототехникаға байланысты келесі салалар зерттеледі:

– Қозғалыс пен навигацияның интеллектуалды жүйелері: Роботтардың күрделі ортада дербес және қауіпсіз қозғалуын қамтамасыз етуге арналған алгоритмдер мен сенсорлық жүйелер дамытылады. Бұл жұмыстар өндірісте, логистикада және ауыл шаруашылығында роботтарды қолдануды кеңейтуге бағытталған;

– Қашықтықтан басқару және когнитивтік роботтар: Зертхана нақты уақыттағы ақпаратты өңдейтін және оған жауап беретін роботтар үшін

сенсорлық жүйелерді жетілдіреді. Мұндай жүйелер медициналық роботтар, күтім көрсету саласы және төтенше жағдайлар сияқты қолданбалы салаларда қолданылуы мүмкін;

– Машиналық оқыту және компьютерлік көру: AIART Lab роботтардың қоршаған ортаға талдау жасау, объектілерді тану және олардың қозғалысын басқару қабілетін дамыту мақсатында машиналық оқыту әдістерін қолданады. Бұл бағыт роботтарды адамның әрекеттерін тануға және оларға жауап беруге, яғни, интерактивті қызмет көрсету салаларында қолдануға мүмкіндік береді;

– Әлеуметтік роботтар мен адам-робот өзара әрекеттесу: Зертхана роботтар мен адамдар арасындағы тиімді және интуитивті қарым-қатынас үшін интерфейстерді жетілдіру жұмыстарын жүргізеді. Роботтар адамның эмоцияларын, қимылдарын түсініп, оған сай жауап беруі үшін жасанды интеллект жүйелері дамытылады. Мұндай зерттеулер білім беру, денсаулық сақтау және қызмет көрсету салаларында маңызды рөл атқарады.

Осылайша, Тайбэй ұлттық университетіндегі AIART Lab зертханасы жасанды интеллект пен робототехника саласында іргелі зерттеулер жүргізіп, олардың нақты қолданбалары мен мүмкіндіктерін арттыруда жетекші орынға ие.

Роботтандырылған жүйелерде кодты интеграциялау мен қайта пайдалану міндеттерін жеңілдететін бағдарламалық құралдар мен архитектураларды қолдану кең таралған. Мысал ретінде WillowGarage-тің робот операциялық жүйесі (ROS), Player/Stage және т. б. қарастыруға болады. Дегенмен, мобильді робототехника барған сайын пәнаралық сипатқа ие болып, оған сөйлеу технологиялары, компьютерлік көру, машиналық оқыту сияқты әртүрлі салалардан келген зерттеу топтары қатысуда. Сондықтан, бұл топтардың барлығы робототехникамен тығыз байланысты платформаны әзірлеу құралы ретінде қабылдауы екіталай. Кейде бағдарламалау тілдері мен операциялық жүйелердің шектеулері оны практикада қолдануды қиындатып, әзірлеу жылдамдығына және соңғы өнімнің тиімділігіне кері әсерін тигізеді. Осы жұмыста [106] веб-қызметтер стандарттарына толық негізделген жаңа архитектура ұсынылған. Бұл архитектура бағдарламалық агенттерді бір-бірінен тәуелсіз, толықтай дербес түрде әзірлеуге мүмкіндік береді және минималды араласуды талап ете отырып, өте қарапайым қолданысқа ие. Кейіннен бұл агенттер орындалу барысында динамикалық делдал немесе брокер арқылы қосылады. Бұл архитектура қолданыстағы жүйелерді алмастыруға емес, толықтыруға бағытталған және әртүрлі жүйелер мен агенттердің үйлесімін талап ететін көп роботты демонстраторда, сондай-ақ жаңа ортада интерактивті робот-гидті орнату мен іске қосу барысында пайдаланылды.

Тірек-қимыл жүйесі — бұл биологиялық жүйелердің күрделі қозғалысын қамтамасыз ететін негізгі құрылым. Роботтық жүйелерде қолдану үшін бұл құрылымды синтетикалық материалдарды пайдаланып көшірмелеу үшін көптеген күш-жігерлер жұмсалды. Бұл технологияның дамуындағы қиындықтар жобалау және өндіру, жүйені біріктіру, басқару әдістері және энергия пайдалану мәселелерін қамтиды. Тірек-қимыл жүйенің негізгі

элементтерінің бірі — бұл жүйеде қолданылатын жасанды бұлшықеттер немесе актуаторлар. Әдебиетте ұсынылған [107] актуаторлар табиғи бұлшықеттердің көптеген көрсеткіштерінде (күш генерациясы, созылу шығымы, жиілік, қуат тығыздығы, басқарудың жеңілдігі және қайталануы) табиғи бұлшықеттердің өнімділігіне сәйкес келмейді. Бұл зерттеуде соңғы уақытта енгізілген бұралған және спиральды полимерлі (TCP) бұлшықеттердің ABS материалы негізінде жасалған шарниктік буынға біріктірілген құрылымы қысқаша сипатталған. Ұсынылған құрылым TCP бұлшықеттері мен силиконды біріктіріп, көпөлшемді әрекеттесу жасау үшін қолданылатын шарникті буындардың бір түрінен тұрады. Дәстүрлі буын мен актуаторлардың көпшілігі сервомоторлар арқылы беріліс механизмдерімен іске қосылатын пассивті айналмалы буындардан тұрады. Ұсынылған ABS негізіндегі 3D басып шығару арқылы жасалған буын жасанды бұлшықеттер арқылы кез келген күрделі механикалық беріліс жүйесінсіз іске қосылады. Мұндай жинақтармен салыстырғанда, ұсынылған буын жүйесі робототехникада әртүрлі қосымшалар үшін, әсіресе жұмсақ актуаторлар мен үнемді шешімдер қажет болатын жағдайларда перспективалық шешім болып табылады.

Заттардың интернеті (IoT) және машиналар арасындағы байланыс (M2M) енді интернет-технологияларды ендірілген жүйелерде қолдану арқылы маңызды тұжырымдамаға айналды. Осылайша, бағдарламаланатын қашықтықтан басқару және микроконтроллерлермен жұмыс істейтін адамдардың қажеттілігі жүйені қолдануды мүмкін етеді, ал осы жүйелерде аппараттық мүмкіндіктерді минимизациялау көзделген. Бұл құрылғының веб-серверінің аппараттық мүмкіндіктерін ескере отырып, веб-сокеттер сияқты технологияларды да қолдануға мүмкіндік береді. Бұл зерттеуде [108] Raspberry Pi 3 мини-компьютері арқылы қозғалатын бейнелер, температура және қозғалыс PIR деректері клиенттерге нақты уақыт режимінде веб-браузер арқылы жіберіліп, жергілікті мониторинг жасау мүмкіндігімен жасалған жүйе ұсынылған. Бұл жүйенің мақсаты — бейнелерді өңдеу және жасанды интеллект әдістерін пайдаланып, қашықтан басқару/аймақ үшін аппараттық және бағдарламалық инфрақұрылымды жасау арқылы мониторингті немесе бақылауды қамтамасыз ету. Операциялық жүйенің мақсаты — құрылғыдан минималды ресурстарды пайдаланып жоғары өнімділікті қамтамасыз ету, графикалық интерфейсті қажет етпейтін және ARM қолдайтын Debian Linux жүйесінде Node.js орнату. Қолданушылардың бағдарламасы үшін арнайы жасалған сокет-серверлер мен HTTP-сервер бағдарламалық жасақтамасы мобильді телефон ортасы қажет болмайды, ол кез келген ортада компьютер немесе веб-браузер арқылы нақты уақыт режимінде мониторинг жүргізуге, деректерді алуға және тексеруді қамтамасыз етуге арналған. Жасалған жүйе пайдаланушылардың санына қарамастан, веб-коннектор технологиясы арқылы нақты уақыт режимінде мониторинг жасауға арналған және браузерді қосымша операциясыз мониторингтеуді қамтамасыз етеді, сондай-ақ жағдайлар бойынша ескертулерді (дыбыстық, мәтіндік және т.б.) көрсетуге болады.

[109] монокулярлы камерамен жабдықталған магнитті автономды шынжыр табанды роботты пайдалана отырып, кеме корпусының бетін автоматты түрде визуалды тексеруге арналған инновациялық жүйені ұсынды.

Үлкен тоннажды кемелерді периодты тексеру олардың тұтастығын бағалау және құрылымдық ақаулардың алдын алу үшін өте маңызды, себебі бұл ақаулар адамдар мен қоршаған орта үшін апатты салдарға әкелуі мүмкін. Қазіргі уақытта инспекциялық операциялар адамдар-инспекторлар арқылы жүргізіледі, көбінесе экстремалды жағдайда. Осы жұмыста [109] магниттік автономды роботтандырылған жүріс роботын (MARC) пайдаланып, кеменің корпусының беттерін автоматты түрде визуалды тексеру үшін инновациялық жүйені ұсыну, ол арзан монокулярлы камерамен жабдықталған. MARC құрылымы, әдістемесі, көзқарасы магнитті жолақтармен жабдықталған, бұл роботқа кеменің вертикалды қабырғаларымен көтерілуге мүмкіндік береді, сонымен қатар өткен беттердің жақын жоспарын түсіреді. Гомография негізінде қозғалыс алгоритмі жасалып, мозаикалық кескін құру және тексерілген аймақтардың метрлік көрінісін жасау үшін қолданылған. Камераның көлбеу және төмен орналасуына байланысты төменгі шешім мен перспективалық бұрмалаулар мәселелерін шешу үшін «жақыннан алыстауға» стратегиясы жүзеге асырылды, ол робот бетпен жүріп өткен сайын жоғарыдан көрініс қалыптастырады. Бұл жұмыста кемелерді автоматты түрде визуалды тексеру үшін инновациялық роботтандырылған жүйенің қолданылуы көрсетілген. Бұл жүйеде тексерілетін құрылымның жалпы көрінісін құру үшін мозаика стратегиясы ұсынылған және тексерілген эксперименттік сынақтармен расталған. Сонымен қатар, коррозияны автоматты түрде анықтау үшін мозаикалық кескінді енгізу ретінде пайдалану көрсетілген. Практикалық қорытындылар Бұл мақала тексеру процесін автоматтандыру үшін пайдалы болуы мүмкін, бұл адамдар үшін жету қиын немесе мүмкін емес жерлерден кескіндер жинауға мүмкіндік береді және автоматты түрде коррозия сияқты ақауларды анықтауға көмектеседі.

Бұл шолу мақсатында жазылған зерттеуде [110] жасанды интеллект (ЖИ) саласындағы жетістіктерді және оның қазіргі уақытта хирургиядағы рөлін талқылау. Талқылауда ЖИ-дің хирургиялық операцияларды жүргізу тәсілін жақсартудағы көптеген мүмкіндіктері және жаңа ЖИ әзірлемелерінің сыни шолуы қарастырылады. Қазіргі уақытта бірнеше салаларда жақсы нәтижелер көрсеткен жасанды интеллект енді медицина саласында үлкен өзгерістер енгізе бастады. Адамның ойлау және әрекет ету процестерін имитациялайтын когнитивті функцияларды қамтамасыз ететін алгоритмдерді қолдану нәтижесінде бейнелер мен дауыстарды тану, сондай-ақ деректердің кең банкілеріне негізделген автономды роботтардың пайда болуына әкелді. Дәстүрлі лапароскопиялық хирургиядан робототехникалық хирургияға көшу қазірдің өзінде орын алды. Жасанды интеллект енді хирургиялық роботтарды кеңейтіп, олардың автономиясын арттыруға мүмкіндік береді, бұл оларға өздерінің қоршаған ортасынан ақпаратты пайдаланып, мәселелерді анықтап, дұрыс әрекеттер жасауға мүмкіндік береді, әрі адам араласуынсыз жүзеге

асырады. Есептеу мүмкіндіктері, машина жасауы және робототехника салаларындағы жетістіктер мен ақылды алгоритмдерді үздіксіз жетілдіру ЖИ қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді. Бұл әзірлемелер нанометрлік ауқымда жұмыс істейтін нанороботтардың пайда болуына әкеліп, оларды ЖИ және хирургиямен интеграциялайтын келесі буын жүйесіне айналдырды. Бұл технологияның қолданылуы нейрохирургия, тамыр хирургиясы және онкология салаларында жетістіктерге қол жеткізді. Хирургияның болашағы, басқа медициналық салалар сияқты, технологиялардың маңызды үлесі бар деректерге тәуелді болады. Жасанды интеллект — бұл осы салада маңызды рөл атқаратын жетістік.

[111] өнеркәсіптік құрылғылар мен датчиктерге арналған экономикалық тұрғыдан тиімді, икемді және өнімді архитектураларды жасау үшін IoT негізіндегі өнеркәсіптік автоматтандыру жүйелерінің артықшылықтарын атап көрсетті. Бұл зерттеулердің жиынтығы M2M технологияларын қолдану арқылы роботтандырылған жүйелердің жасанды көрінісін түсінуге және дамытуға ықпал етеді. «Заттар интернеті» (IoT) әдістері классикалық өндірістік автоматтандырумен салыстырғанда жүйелердің архитектураларын құруға мүмкіндік береді, олар экономикалық тұрғыдан тиімді, икемді, өнімді және тиімді болып көрінеді. Бұл автоматтандырудың өнеркәсіптік құрылғыларымен (өнеркәсіптік контроллерлер), сенсорлармен, орындаушы механизмдермен, жетектермен, машиналық көру жүйелерімен, бейнемазмұнмен, робототехникалық жүйелермен өзара әрекеттесу және коммуникация арқасында қол жеткізіледі. «Заттар интернеті» (IoT) негізінде машиналар арасындағы өзара әрекеттесу технологиясы (M2M) жатыр, мұнда машиналар мобильді желілер арқылы бір-бірімен ақпарат алмасады немесе оны өңдеу және сақтау жүйелеріне жібереді. M2M технологиясы ең тиімді түрде еңбек қорғау және қауіпсіздік техникасы жүйелерінде, өңдеу өнеркәсібінде, коммуналдық шаруашылықта, энергетикада және банк саласында қолданылады. IoT технологияларын белсенді дамыту олардың өнеркәсіпте, әсіресе құрылыс саласында тиімді жүзеге асырылу механизмдерін зерттеу мен талдауды талап етеді және деректердің әрбір маңызды жиынтығына сәйкес басқарушы әсерлерді анықтайтын ережелер жиынтығын қамтитын өндірістік автоматтандыру және басқару тұжырымдамаларын әзірлеуді қажет етеді. Бұл тұжырымдамалар реальды уақыттағы деректерді IoT құрылғылары арқылы хабарлайтын оқиғаларды бақылауға мүмкіндік береді.

Ұжымдық түрде бұл зерттеулер M2M технологияларын қолдана отырып, роботтық жүйелердің жасанды көріністерінің үздіксіз дамуына айтарлықтай үлес қосады.

Қазіргі таңда жасанды интеллект (ЖИ) және робототехника салаларындағы жетістіктер автоматтандырылған процестерді жаңа деңгейге көтеруде, әсіресе жасанды көру жүйелерімен жабдықталған роботталған жүйелердің дамуы маңызды орын алады. Бұл жүйелер роботтардың нақты уақыт режимінде қоршаған ортаны қабылдау, талдау және динамикалық жағдайларға икемделу мүмкіндіктерін кеңейтеді. Жасанды көру арқылы

роботтар объектілерді тану, қозғалыс траекториясын болжау, кедергілерден айналып өту сияқты күрделі тапсырмаларды тиімді орындай алады. Сонымен қатар, машиналық оқыту мен нейрондық желілердің енгізілуі жүйелердің дәлдігі мен тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Зерттеулердің нәтижесінде жасанды көру жүйелері бар роботтар әртүрлі салаларда, оның ішінде өндіріс, медицина, ауыл шаруашылығы, қорғаныс және тұрмыстық көмек көрсету салаларында қолданылуда. Жасанды интеллект пен робототехника саласындағы ғылыми жетістіктер көптеген жаңа міндеттерді шешуге мүмкіндік беріп, роботтар мен жасанды интеллект жүйелерінің шынайы өмірде қолданылуын кеңейтуде. Бұл әсіресе роботтардың автоматтандырылған шешімдер қабылдау қабілетін дамыту мен адам-робот өзара әрекеттесуінің жаңа тәсілдерін іздеуде маңызды рөл атқарады.

Осы саладағы зерттеулер мен жетілдірулердің негізгі бағыттары — объектілерді тану, қозғалысты болжау, роботтар арасындағы өзара әрекеттестікті тиімді басқару және адам мен роботтың бірлескен жұмысын оңтайландыру. Бұлар роботтандырылған жүйелердің тиімділігін арттырып, жаңа технологияларды енгізу арқылы өндірістік және тұрмыстық салаларда үлкен мүмкіндіктер ашады. Робототехника мен жасанды интеллекттің дамуымен бірге ғылыми зерттеулердің перспективалары кеңейіп, әлемнің түрлі салаларында инновациялық шешімдер енгізу үшін жаңа жолдар ашылуда.

## **1.9 Тарау бойынша қорытынды**

Тарауды қорытындылай келе заманауи әлемде машина-машина (M2M) байланысы құрылғылар арасында дербес деректер алмасуды қамтамасыз ететін негізгі элементке айналады. M2M байланысы әртүрлі қажеттіліктер мен қоршаған орта факторларын қанағаттандыру үшін жасалған көптеген хаттамаларға негізделген.

*M2M байланысының негізгі мақсаты* – өнімділікті арттыруға, шығындарды азайтуға және шешім қабылдауды жақсартуға мүмкіндік беретін құрылғылардың дербес өзара әрекеттесуі. MQTT, CoAP және AMQP сияқты M2M протоколдары құрылғылар арасында сенімді және тиімді деректерді беруді қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. MQTT хабарламаларды оңай жіберу үшін қолданылады, корпоративтік орналастыруларда сенімді хабарлама кезегі мен маршруттауды қамтамасыз етеді.

Жалпы, M2M протоколдары IoT экожүйесінің негізі болып табылады, бұл машиналарға дербес байланысуға, ынтымақтастық жасауға және құндылық жасауға мүмкіндік береді. M2M IoT дамуы мен кеңеюімен ашық хаттамаларды стандарттау және әзірлеу әрекеттері әртүрлі құрылғылар мен экожүйелер арасындағы үйлесімділік пен үздіксіз байланысты қамтамасыз ету үшін өте маңызды болады.

IP жоғары жылдамдық пен дәлдіктің арқасында жылдам және дәл қозғалуды қажет ететін тапсырмаларды орындау үшін өте қолайлы. M2M (Machine-to-Machine) технологиялары мен жасанды көру жүйелерін біріктіру

олардың мүмкіндіктерін айтарлықтай арттырады және әртүрлі өнеркәсіптік және коммерциялық қолданбаларда тиімділікті арттырады.

M2M технологиясы ПР-ына нақты уақыт режимінде бір-бірімен және басқа жүйелермен байланыс орнатуға мүмкіндік береді. Бұған объектілердің жағдайы, тапсырмалардың орындалу жағдайы және жабдықтың күйі туралы ақпарат кіреді. Мұндай интеграция роботтардың көп тапсырма жағдайында, әсіресе операцияларды синхронды орындау қажет өндірістік желілерде үйлесімді жұмысын қамтамасыз етеді.

Жасанды көру жүйелері ПР-ына объектілерді жоғары дәлдікпен көруге және тануға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе ұсақ бөлшектерді жинау, орау және өнімді сұрыптау сияқты дәл орналасуды қажет ететін тапсырмалар үшін өте маңызды. M2M технологиясымен бірге көру жүйесінен алынған ақпаратты басқа роботтарға немесе олардың әрекеттерін реттеу үшін орталық басқару жүйесіне бірден беруге болады.

Жасанды көру жүйесі болатын ПР объектілерді жылжыту, олардың өлшемдерінің немесе пішінінің өзгеруі сияқты жұмыс ортасындағы өзгерістерге бейімделе алады. Жасанды көру оларға динамикалық өндірістік процестер жағдайында да тапсырмалардың үздіксіз орындалуын қамтамасыз ете отырып, нақты уақыттағы әрекеттерін реттеуге мүмкіндік береді.

Жоғары жылдамдық пен дәлдіктің арқасында ПР өнімділікті айтарлықтай арттыра алады. M2M технологиясымен интеграция тапсырмаларды орындау процесін оңтайландыруға, тоқтап қалу уақытын азайтуға және ресурстарды басқаруды жақсартуға мүмкіндік береді.

Жасанды көру өнімнің сапасын дәл бақылауды қамтамасыз етеді, бұл ақаулық ықтималдығын және қателерді түзетудің кейінгі шығындарын азайтады. ПР мен M2M жүйелерін қолдана отырып, процестерді автоматтандыру сонымен қатар қол еңбегіне кететін шығындарды азайтуға және адам факторының өндіріс сапасына әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

Жасанды көру және M2M жүйелері ПР-тарын жабдыққа айтарлықтай өзгерістер енгізбестен әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін жылдам қайта конфигурациялауға мүмкіндік береді. Бұл өндірісті икемді етеді және сұраныстың немесе өнім сипаттамаларының өзгеруіне бейімделеді.

ПР-тарын M2M технологиясымен және жасанды көру жүйесімен біріктіру автоматтандыру мен робототехника саласындағы маңызды қадам болып табылады. Бұл роботтар жоғары тиімділікті, жақсартылған үйлестіруді және бейімделуді көрсетеді, бұл оларды әртүрлі өндірістік және коммерциялық қолданбаларда таптырмас етеді. Болашақта жасанды интеллект және машиналық оқыту технологияларының дамуымен жасанды көру және M2M коммуникациялары бар Delta роботтарының әлеуеті тек кеңейіп, өнеркәсіпте өнімділікті оңтайландыру мен жақсартудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Нысандарды тануға және визуалды деректерді талдауға бағытталған жасанды көру саласындағы зерттеулер әсіресе өзекті. Жасанды көру және машинааралық байланыс (M2M) робототехниканың дамуында шешуші рөл атқарады, құрылғы жүйелері адамның араласуынсыз деректерді бөлісе және



үйлестіре алады. Жасанды көру және М2М технологияларының дамуы өзгермелі өндіріс жағдайларына тиімді жауап бере алатын адаптивті басқару жүйелерін құрудың жаңа перспективаларын ашады.

*М2М көмегімен ПР-на негізделген параллельді манипулятор үшін жасанды көру жүйесін жасау* – бұл роботтық жүйелерді басқару процестерін айтарлықтай жақсартуға қабілетті өзекті және перспективалы міндет.

*Зерттеудің негізгі мақсаты* – кескінді өңдеу алгоритмдері мен интеллектуалды басқару жүйесін әзірлеуді қамтитын ПР-ы үшін жасанды көру жүйесін құру.

Объектілерді жылдам және дәл манипуляциялауды қамтамасыз ету үшін жасанды көруді М2М технологиясымен біріктіру маңызды үлес болып табылады. Зерттеуге компьютерлік көру алгоритмдерін әзірлеу, басқару жүйесін құру, М2М-ден тасымалдау және ыңғайсыздық жағдайында жүйені сынау қадамдары кіреді.

Ұсынылған құрылым ПР-ның өнімділігі мен дәлдігін айтарлықтай жақсартады, манипулятордың дербестігі мен тиімділігін, сондай-ақ халықаралық жағдайларға бейімделуін арттырады. Жасанды көру жүйесінің маңызды аспектілері – роботтың кинематикасын жеңілдететін және оның негізгі сипаттамаларын жақсартатын кескіндерді жіктеу, анықталған нысандар және сегментация. Ұсынылған зерттеу роботтық жүйенің жоғары дәлдігі мен тиімділігіне қол жеткізе отырып, М2М технологиясымен жасанды көру жүйесіндегі олқылықтарды толтырады, бұл әсіресе динамикалық өндіріс процестері үшін маңызды.

## 2. ПАРАЛЛЕЛЬ РОБОТТЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ ЖӘНЕ 3D МОДЕЛЫ

### 2.1 Параллель робот платформасының центрінің орналасу қателігін есептеу

Күрделі мехатрондық объектілерді басқару жүйелерінің сипаттамаларына олардың кинематикалық және динамикалық параметрлері айтарлықтай әсер етеді. Нәтижесінде басқару жүйесін енгізу кезінде қолдануға ыңғайлы болу үшін, оларға толық кинематикалық сипаттама беру қажет.

Осы мәселені шешуде өзара байланысты екі бағытты ажыратуға болады.

–*Бірінші бағыт* ПР-тың нақты кинематикалық моделін құру, бұл оның кеңістіктік сәйкестігін біржақты анықтауға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде жұмыс органының ауысу заңдарын сипаттауға мүмкіндік береді;

–*Екінші бағыт* ПР-та бар динамикалық сипаттамалар мен байланыстарды сипаттау, бұл берілген траектория бойынша қозғалу кезінде оның мінез-құлқын сипаттауға мүмкіндік береді.

Параллель Роботтың кинематикалық диаграммасын сипаттау оның жалпы өлшемдері мен жұмыс кеңістігінің параметрлерін білуді талап етеді. Өндірісте қолданылатын ПР жағдайында ең ұтымды нұсқа декарттық координаттар жүйесін (позицияны анықтау үшін) және Эйлер бұрыштарын (манипулятордың бағытын көрсету үшін) пайдалану болып табылады. Осылайша, ПР-тың кинематикалық сипаттамаларын сипаттаудың *негізгі міндеті* - өзінің және таңдалған жұмыс координаталық жүйелері арасындағы түрлендіру. ПР-тың қозғалыс траекториясын жоспарлау және оның кеңістіктегі орнын анықтау үшін кинематиканың алға және кері есептері түрінде екі негізгі есептер класын шешу қажет.

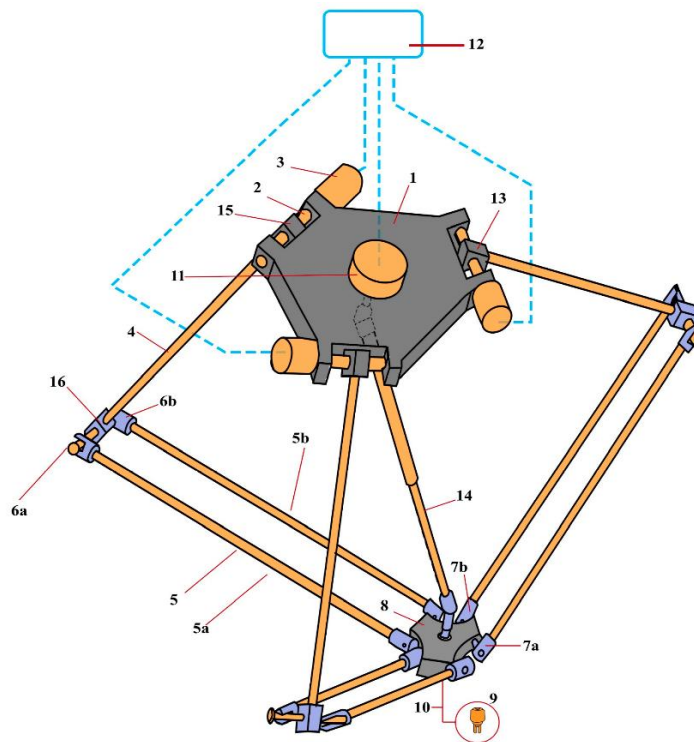
Тікелей есепті шешу ПР-тың позициясы туралы ақпаратты өзінің координаталық жүйесінен жұмыс (абсолютті) жүйеге түрлендіруге қызмет етеді, бұл ПР-тың жұмыс органының координаттарын анықтау үшін қажет. Кері есептің шешімі ПР-тың жұмыс органының позициясы бойынша қажетті кеңістіктік конфигурациясын есептеуге арналған және оның қозғалу жолын жоспарлаудағы негізгі мәселе болып табылады. Бұл есептерді шешу ПР-тың жалпы сипаттамаларын оларды талдауға және координаталық түрлендіру теңдеулерін жазуға ыңғайлы түрде сипаттауды талап етеді. Қолданыстағы тәсілдердің негізгілері оларды сызықтық немесе матрицалық теңдеулер жүйесі түрінде білдіру болып табылады.

1980 жылдардың басында швейцариялық ғалым Раймонд Клавел ПР-тың платформасын жасау арқылы робототехникаға айтарлықтай үлес қосты. Бұл жаңалық оның Швейцариядағы жетекші инженерлік мектептердің бірі École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) жұмысында пайда болды. ПР дәстүрлі сериялық роботты қолдардан ерекшеленетін параллель кинематикалық құрылымымен ерекшеленеді. Ол жалпы негізге және соңғы

эффлекторға қосылған бірнеше қолды пайдаланады, бұл қаттылық пен дәлдікті арттырады.

Жоғары жылдамдық пен дәлдік ПР-ның *басты артықшылығы* – оның тапсырмаларды жоғары жылдамдықта жоғары дәлдікпен орындау қабілеті. Бұл оны жылдам және қайталанатын қозғалыстарды қажет ететін қолданбалар үшін әсіресе қолайлы етеді. Жеңіл материалдарды пайдалану және қозғалтқыштардың көпшілігін негізге қою арқылы ПР жылдамырақ үдеу мен баяулауға қол жеткізеді. Үш еркіндік дәрежесі ПР-ның түпнұсқа дизайны үш трансляциялық еркіндік дәрежесін ( $X$ ,  $Y$  және  $Z$  осьтері) қамтамасыз етеді. Бұл конфигурация белгілі бір жұмыс кеңістігінде күрделі қозғалыстарды орындауға мүмкіндік береді, бұл оны көтеру және жылжыту тапсырмалары үшін өте қолайлы етеді.

Диссертациялық жұмыста ұсынылған ПР-ның типтік дизайны 2.1 - суретте суреттелген.



Сурет 2.1 - ПР дизайн моделі.

Робот екі платформадан тұрады: бір орында бекітілген жоғарғы негіз (1) және үш тұтқамен қосылған шағын жылжымалы платформа (8). Әрбір тұтқа екі бөліктен тұрады: жоғарғы иық (4) жоғарғы негізде орналасқан қозғалтқышқа (3) қатты жалғанған, ал төменгі бөлік параллелограмм (5) түрінде, оның бұрыштарында бұрыштарды өзгертуге мүмкіндік беретін т.н. әмбебап топсалар (6, 7) орнатылған. Әрбір параллелограмм жоғарғы тұтқамен топса (16) арқылы қосылған, сондықтан оның жоғарғы жағы әрқашан өз тұтқасына перпендикуляр және жоғарғы негіздің жазықтығына параллель күйінде қалады. Осылайша, параллелограмдардың төменгі жақтарына бекітілген роботтың жылжымалы

платформасы да әрдайым жоғарғы негізге параллель болады. Платформаның орнын басқару жоғарғы тұтқалардың бұрышын робот негізіне қатысты қозғалтқыштар арқылы өзгерту арқылы жүзеге асады.

Төменгі платформаның (8) ортасында роботтың жұмыс органы (ағылшын тілінде *end effector* термині қолданылады) (9) бекітіледі. Бұл манипулятор, ұстап алу құрылғысы немесе, мысалы, 3D принтер жағдайында экструдер болуы мүмкін. Қосымша тағы бір қозғалтқыш (11) пайдаланылуы мүмкін, ол штанга (14) арқылы жұмыс органының айналуын қамтамасыз етеді.

*ПР-тың басты артықшылығы* - жылдамдық: ауыр қозғалтқыштар тұрақты негізде орналастырылады, тек рычагтар мен төменгі платформа қозғалады, олар жеңіл композициялық материалдардан жасауға тырысады, осылайша олардың инерциясын азайтады.

Шығатын звеномен байланысты негізгі координаттар жүйесі  $X, Y, Z, P$ . Әрбір кинематикалық тізбек  $q_1, q_2, \dots, q_6$  параметрлерімен сипатталады, олар жалпы координаттар деп аталады. Жалпы координаттар ретінде стерженьдердің ұзындықтарын алайық. Шығатын звененің орны  $(x, y, g, \varphi, \psi, \theta)$   $P$  жүйесінің координаттарының басына қатысты анықталады.  $X, Y, Z$  координаттары базалық жүйедегі шығатын звененің орнын белгілейді, ал  $\varphi, \psi, \theta$  –  $x, y$  және  $z$  осьтері айналасындағы жүйенің бұрылу бұрыштары, олар шығатын звененің негізге қатысты бұрыштық бағдарын анықтайды.

Тікелей кинематика міндеті платформаның кеңістіктегі орнын жалпы координаттардың берілген жағдайы бойынша анықтайды (штанганың ұзаруы), ал кері кинематика міндеті кеңістіктегі платформаның берілген орны бойынша жалпы координаттардың жағдайын анықтайды. Платформаны траектория бойынша басқару үшін кері кинематика міндетін шешу қажет, оның көмегімен шпиндель платформасының қозғалыс траекториясынан жалпы координаттар мен олардың жылдамдықтарын есептеуге болады. Тікелей кинематика міндеті реттеу аспектілерін, яғни қателерді өтеу, сондай-ақ машинаны пайдалануға енгізу (калибрлеу) үшін қажет.

ПР үшін кері кинематика міндетін шешу әдетте жеткілікті түрде қарапайым. Оны *Гауф платформасы* мысалында қарастырайық. Бұл жағдайда кері кинематика міндетін шешу платформаның берілген орны үшін тіректердің ұзындық векторын  $q$  анықтаудан тұрады, ол платформаның берілген нүктесінің орнын сипаттайтын  $p$  векторымен және осы координаттар жүйесіне қатысты платформаның айналу матрицасымен  $R$  анықталады.  $a_i$  – координаттар жүйесінде бекітілген негізге қатысты тіректің бекітілу орнының векторы, ал  $b_i$  – осы координаттар жүйесінде қозғалмалы платформаға қосылған тіректің екінші ұшының векторы болсын. Тіректің ұзындығы екі бекіту нүктесін қосатын вектордың нормасы болып табылады. Бұл вектор  $s_i$  ретінде белгіленіп, былай анықталуы мүмкін:

$$s_i = p + Rb_i - a_i, \quad i = 1, \dots, 6 \quad (2.1)$$

Берілген платформаның орны ( $p$  векторы және  $R$  матрицасы) үшін  $s_i$  векторын (2.1) формуласы бойынша оңай есептеуге болады, сондықтан тіректердің ұзындықтарын оңай анықтауға болады.

Тікелей кинематика міндетін шешу платформаның орнын берілген жетекші шарнирлардың координаттар жиынтығы бойынша анықтаудан тұрады (берілген  $q$ ) Бұл міндетті шешу басқару және калибрлеу мақсаттары үшін қажет.

ПР үшін тікелей кинематика міндеті кері кинематика міндетіне қарағанда әдетте әлдеқайда күрделірек. Шынында да, (2.1) тендеулер әдетте платформаның орнына қатысты сызықтық емес болып табылады. Олар әдетте көптеген шешімдерді қабылдайтын сызықтық емес тендеулер жүйесін құрайды (мысалы, Гауф платформасы 40-қа дейін шешімге ие болуы мүмкін). Тікелей кинематика міндеті әдетте екі түрлі контексте пайда болады. *Бірінші жағдайда* платформаның ағымдағы орнын бағалау белгісіз (мысалы, робот жұмысты бастағанда), *ал екінші жағдайда* платформаның орны туралы нақты баға бар (мысалы, нақты уақытта басқару кезінде, тікелей кинематика міндеті алдыңғы кадамда шешілген кезде). *Бірінші жағдайда шешудің жалғыз тәсілі* - кері кинематикалық тендеулердің барлық шешімдерін анықтау, бірақ бұл шешімдерді ретке келтірудің ешқандай жолы жоқ.

Кинематиканың тікелей мәселесін шешу үшін көптеген шешімдер ұсынылған: алып тастау, аналитикалық жалғасы, Гребнер негіздері және интервалды талдау. Ерекшелік, әдетте, бір өлшемді тендеуді және алып тастау қадамдарының реттілігін таңдау туралы ойламасаныз, сандық түрде өте тұрақты емес (яғни, ол қосымша тамырлар беріп, шешімдерді өткізіп жіберуі мүмкін). Мысалы, көпмүшелік шешімдерді меншікті мәндерге түрлендіруді қолдануға болады. Екінші жағынан, көпмүшелік жалғасы әлдеқайда тұрақты, әдебиетте оны орындаудың жақсы алгоритмдері бар. Ең жылдам әдістер - олар нақты уақыт үшін жеткіліксіз болса да - Гребнер негіздерін және интервалды талдауды пайдалану. Олардың жоғары сандық тұрақтылық артықшылығы да бар (түбірлерді өткізіп жіберу мүмкін емес, шешім ерікті көрсетілген дәлдікпен алынуы мүмкін). Егер априорлық ақпарат (шешімнің бастапқы жақындауы) белгілі болса, шешім әдетте Ньютон-Рафсон немесе Ньютон-Гаусс итерациялық схемалары арқылы ізделеді. Кері кинематика міндетін келесідей жазуды қарастырайық:

$$q = f(x) \quad (2.2)$$

$$x_{k+1} = x_k + A(q - f(x_k))^{-1} \quad (2.3)$$

мұндағы,  $q$  - буындардың алдын-ала анықталған координаттарының векторы.  $A$  матрицасы әдетте  $\left(\frac{\partial f}{\partial q}\right)^{-1}(x_k)$  ретінде есептеледі (кері матрица әр итерацияда есептелмеуі мүмкін және тіпті тұрақты болуы мүмкін).

Итеративті процедура Вектор  $(q - f(x_k))$  белгілі бір дәлдікке жеткенде тоқтайды.

Бұл әдістің конвергенциясында кері кинематикалық теңдеуді таңдау маңызды рөл атқарады. Мысалы, Гауф платформасы үшін теңдеулердің минималды жиынтығын қолдануға болады (алты белгісіз алты теңдеу: үшеуі қозғалу үшін, үшеуі айналу бұрыштары үшін), бірақ басқа нұсқалар да мүмкін. Атап айтқанда, бекітілген анықтамалық жүйедегі платформадағы үш топсаның координаталары белгісіздер ретінде пайдаланылуы мүмкін. Бұл жағдайда тоғыз теңдеу қажет: алтауы платформадағы және негіздегі топсалар арасындағы белгілі қашықтықтардан алынады және платформадағы топсалар арасындағы белгілі қашықтықтардан қосымша үш теңдеу алынады.

Егер бастапқы шарттардың таңдалуы жақсы болса, Ньютон-Рафсон алгоритмы жедел қабылдайды. Дегенмен, процедура жақындамайтын немесе одан да жаманы роботтың мүмкін емес позициясына жақындайтын жағдайлар болуы мүмкін, яғни ол басқа механизм конфигурациясына жақындауы мүмкін. Бұл жағдай бастапқы шарттар қажетті позицияға шексіз жақын болған кезде де мүмкін болады. Егер мұндай нәтижелер менеджментте қолданылса, оның салдары апатты болуы мүмкін. Бақытымызға орай, *Канторович теоремасы* сияқты кинематикалық құралдарды интервалдық талдаумен бірге *Ньютон-Рафсон шешімі* роботтың дұрыс позициясы екенін анықтау үшін пайдалануға болады. Осылайша, нәтиженің дұрыстығын есептеу уақытын ұлғайту арқылы тексеруге болады, бірақ әлі де нақты уақытпен үйлесімді.

Тікелей кинематика мәселесін шешудің тағы бір тәсілі - сенсорларды пассивті буындарға қосу (мысалы, Гауф платформасының әмбебап буындары) немесе сенсорлық буындары бар пассивті тіректерді қосу. Негізгі мәселе - қосымша датчиктердің саны мен орнын анықтау, нәтижесінде жалғыз дұрыс шешім және датчик қателіктерінің платформаның орналасу қатесіне әсерін анықтау. Атап айтқанда, Стонтон әмбебап буындардағы сенсорлары бар Гауф платформасы үшін сенсорлармен алынған шешімдердің шуларға жоғары сезімталдығына байланысты Ньютон-Рафсон схемасын пайдалану әлі де қажет екенін көрсетеді.

Сондай-ақ, кинематиканың тікелей және кері есептерін шешудің бір әдісі - бұл жұмыста қарастырылатын жеке беріліс қатынастарының *Якоби матрицаларын* қолдану. Содан кейін кинематиканың тікелей және кері мәселелерін шешу түрінде ұсынылуы мүмкін:

$$P = J \cdot q \quad (2.4)$$

$$q = J^{-1} \cdot P \quad (2.5)$$

мұндағы,  $P = [x, y, z, \phi, \psi, \theta]^T$  - платформа центрінің орналасу векторы,  
 $q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]^T$  - жалпыланған координаттардың орналасу векторы,

$J$  - Якобидің түзу матрицасы,

$J^{-1}$  - Якобидің кері матрицасы,

Алты дәрежелі еркіндік механизмі үшін Якоби матрицаларының түзу және кері формасы бар:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_1} & \frac{\partial f_1(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_2} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial f_1(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_6} \\ \frac{\partial f_2(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_1} & \frac{\partial f_2(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_2} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial f_2(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_6} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial f_6(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_1} & \frac{\partial f_6(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_2} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial f_6(q_1, \dots, q_6)}{\partial q_6} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$J^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial x} & \frac{\partial f_1(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial y} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial f_1(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial \theta} \\ \frac{\partial f_2(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial x} & \frac{\partial f_2(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial y} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial f_2(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial \theta} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial f_6(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial x} & \frac{\partial f_6(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial y} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial f_6(x, y, z, \varphi, \psi, \theta)}{\partial \theta} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Жылжымалы платформаның центрінің орналасу қателігін теңдеу негізінде табуға болады:

$$\Delta P = J \cdot \Delta q, \quad (2.8)$$

мұнда,  $\Delta P = [\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \varphi, \Delta \psi, \Delta \theta]^T$  – платформа орталығының орналасу қателіктерінің векторы;

$J$  – Якоби түзу матрицасы;

$\Delta q = [\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3, \Delta q_4, \Delta q_5, \Delta q_6]^T$  – штанга жетектерінің қателік векторы.

Теңдеулер жүйесі (2.8) – бұл алты сызықтық теңдеулер жүйесі.

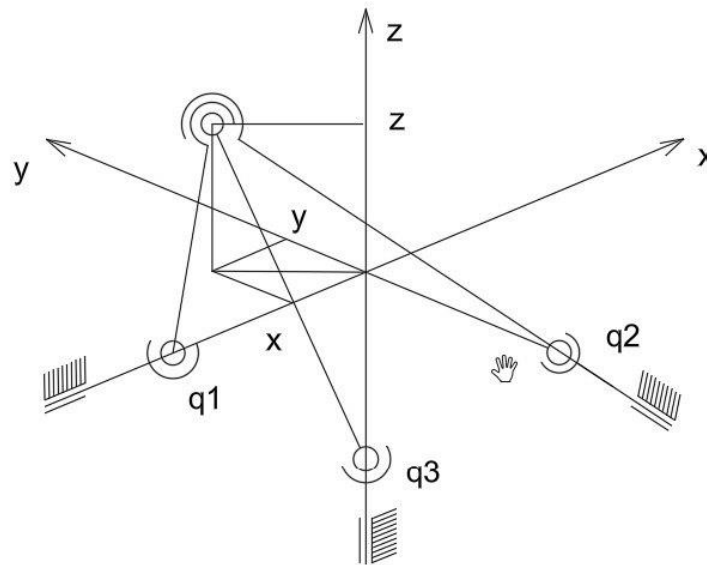
Штангалардың  $\Delta q$  белгілі қателіктерімен  $\Delta P$  Шығыс буынының орналасу қателігін анықтауға болады. Қажетті қателерді  $\Delta P$  орнату арқылы  $p$  қамтамасыз етілуі керек  $\Delta q$  қателерін есептеуге болады, яғни кинематиканың тікелей немесе кері мәселелерін шешу.

Осылайша, үшбұрышты робот платформасының центрінің орналасу қатесін табу үшін тікелей кинематикалық есепті шешу қажет. Дегенмен, параллельді роботтар үшін аналитикалық өрнек әдетте кері Якобиялық  $J^{-1}$  үшін ғана қол жетімді, бірақ  $J$  үшін оны алу өте қиын.

## 2.2 ПР жүйесінің трансляциялық қозғалыстарының кинематикасы

ПР-тың шығыс звеносының центрінің орнын қарастырайық (2.2-сурет). Екі қосымша буыны бар кардан білігі кіріс және шығыс буындарының бірдей бағдарлануын қамтамасыз етеді. Бұл жағдайда кардан білігінің осі қозғалатын платформаның центрімен қиылысқанша параллель қозғалуы мүмкін. ПР-тың шығыс буынының орнының мәселесі үш еркіндік дәрежесімен шығыс звеносының трансляциялық қозғалысымен кеңістіктік механизмді талдауға келіп тіреледі.

Трансляциялық қозғалыс механизмінің есептеу үлгісінде В.А. Глазунов, П.О. Данилин және т.б, механизмнің әмбебап қосылыстары сфералықтармен ауыстырылды, ал аралық біліктерді платформаның сфералық қосылыстарының орталықтары қиылысу нүктесінде ортақ орталық болатындай етіп қос сфералық қосылысты құрайтын шығыс біліктердің осьтері ортақ орталыққа ие болды. (2.2-сурет).



Сурет. 2.2 – Трансляциялық қозғалыс механизмінің есептік моделі

Жетек осьтері бір-біріне қатысты ортогоналды болғандықтан, осы осьтерден пайда болған үшбұрышты бұрыш тікбұрышты координаттар жүйесінің үшбұрышты бұрышы болып табылады.  $x, y, z$  координаттары -  $l$  радиусы сферасының орталығы;  $q_1, q_2, q_3$  -сфераның координаталық осьтермен қиылысу нүктелері.

Бізде:

$$\begin{cases} (q_1 - x)^2 + y^2 + z^2 = l^2 \\ x^2 + (q_2 - y)^2 + z^2 = l^2 \\ x^2 + y^2 + (q_3 - z)^2 = l^2 \end{cases} \quad (2.9)$$



Бұл роботта шыбықтардың ұзындығының мәндері тұрақты болғандықтан, біз  $q_1, q_2, q_3$  жалпыланған координаттары үшін дискілердің трансляциялық қозғалыстарының мәндерін аламыз.  $X, Y, Z$  шығыс сілтемесінің координаттарын анықтау қажет, яғни кинематиканың тікелей мәселесін шешу.

$P$  және  $q$  шамасын ескере отырып, кинематиканың тікелей мәселесін шешуге арналған өрнек (2.4) ретінде жазылады.

$$\Delta P^P = J^P \cdot \Delta q^P \quad (2.10)$$

мұндағы,  $\Delta P^P = [\Delta x, \Delta y, \Delta z]^T$  -  $x, y, z$  сызықтық координаттары бойынша платформа орталығының орналасу қателіктерінің векторы;

$J^P$  – механизмнің трансляциялық қозғалыстарына сәйкес келетін Якоби матрицасы.

(2.9) теңдеуіне сәйкес,  $J^P$  түрінде ұсынамыз:

$$J^P = \begin{bmatrix} J_{11}^P & J_{12}^P & J_{13}^P \\ J_{21}^P & J_{22}^P & J_{23}^P \\ J_{31}^P & J_{32}^P & J_{33}^P \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

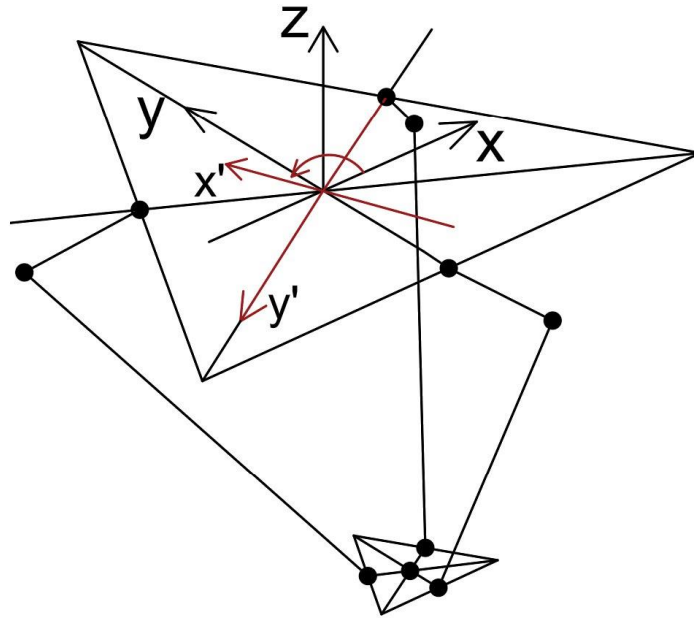
$\Delta q^P = [\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3]^T$  - механизмнің алға жылжуына жауап беретін штангалық жетектердің қателіктерінің векторы.

Роботты жобалаудағы маңызды міндеттердің бірі-роботтың қажетті жұмыс аймағына байланысты оның кинематикалық сипаттамаларын (иық ұзындығы, жетектердің айналу бұрыштары) анықтау, өйткені оның негізінде құралдың қозғалыс траекториялары салынады.

Прототипті құру үшін екі мәселені шешу керек. Бірінші жағдайда роботтың қолын жылжитқыңыз келетін позицияны білесіз. Бұл роботтың қолына жалғанған қозғалтқыштар оны ұстап алу үшін дұрыс күйге келтіру үшін айналатын бұрыштардың мөлшерін анықтауды талап етеді. Бұл бұрыштарды анықтау процедурасы кері кинематикалық есеп деп аталады.

Екінші жағдайда роботты басқару қозғалтқыштары айналатын бұрыштар белгілі және міндет - ПР платформасының кеңістіктегі орнын табу (мысалы, оның орнын реттеу). Бұл тікелей кинематикалық міндет.

Біз екі мәселені де рәсімдейміз және ПР-тың қозғалмайтын негізі мен оның жылжымалы платформасын тең бүйірлі үшбұрыштар түрінде көрсетуге болады: 2.3 - суретте олар сәйкесінше жасыл және қызғылт түсті. Робот қолдарының негіз жазықтығына қатысты айналу бұрыштары (олар сондай-ақ қозғалтқыштардың айналу бұрыштары болып табылады)  $G_1, G_2$  және  $G_3$  деп белгіленеді, ал  $E_0$  нүктесінің координаталары центрде орналасқан. роботтың қолы нақты өмірде бекітілетін қозғалатын платформа  $(x_0, y_0, z_0)$  ретінде белгіленеді.



Сурет 2.3 – ПР-ның диаграммасы

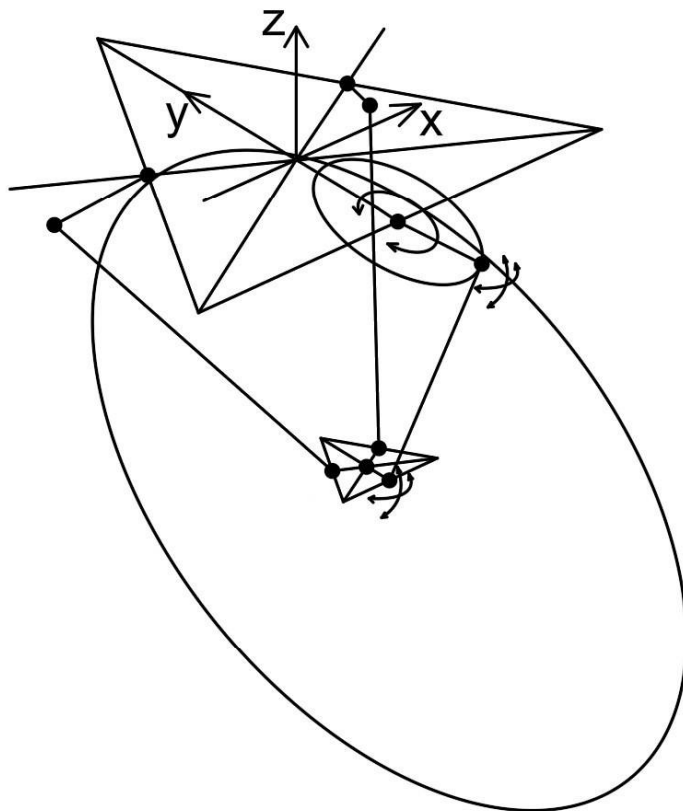
Мәселені тұжырымдау үшін екі функция енгізіледі:

1) кері кинематикалық есепті шешу үшін  $f$  алға  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3) \rightarrow (x_0, y_0, z_0)$

Роботтың геометриялық өлшемдерімен анықталатын бірнеше негізгі параметрлер берілген.

2.4 суретке сәйкес үстіңгі табан жағының ұзындығы  $f$  төменгі платформаның жағымен  $e$  рычагтың жоғарғы иінінің ұзындығы  $r_f$  және төменгі иіннің ұзындығы (параллелограмның ұзын жағы)  $r_e$  белгіленеді. Есептеулер үшін жоғарғы үшбұрыштың геометриялық орталығына сәйкес келетін тірек нүктесі бар координаталар жүйесі таңдалады.  $Z$  осі жоғары бағытталған, сондықтан қозғалатын платформаның  $z$ -координатасы әрқашан теріс болады.

ПР-тың конструкциясы  $F_j J_j$  тұтқасы (2.7-суретті қараңыз) тек  $YZ$  жазықтығында айналуы мүмкін екенін білдіреді, радиусы  $r_f$ ,  $F_j$  нүктесінде центрленген шеңберді сипаттайды (осы жерде ол қозғалтқышқа бекітілген).  $F_j$  -ден айырмашылығы,  $JJ$  және  $E_j$  түйіндері әмбебап буындарды пайдаланады, соның арқасында  $J_j$  қолы  $E_j$  -ге қатысты еркін айнала алады, центрі  $E_j$  -де орналасқан  $r_e$  радиусы сфераны сипаттайды.



Сурет 2.4 – ПР параметрлері

Осы шар мен  $YZ$  жазықтығының қиылысы центрі  $E'_1 J_1$ , радиусының  $E'_1$  нүктесінде орналасқан шеңбер, мұндағы  $E'_1$  нүктесі  $E_1$  нүктесінің  $YZ$  жазықтығына проекциясы. Сонда  $J_1$  нүктесі центрлері  $E'_1$  және  $F_1$  нүктелерінде болатын екі шеңбердің қиылысында орналасады және бұл шеңберлердің радиустарын анықтауға болады. Кішкентай нәзіктік бар: шеңберлер екі нүктеде қиылысады, бірақ олардың біреуі ғана қызықты -  $Y$  координатының төменгі мәнімен, өйткені роботтың қолдары әрқашан «шынтақтарымен» жабысып тұруы керек.  $J_1$  нүктесінің координаталарын осылай анықтап, қажетті  $Q_1$  бұрышын оңай табуға болады.

Төменгі платформа-теңбүйірлі үшбұрыш, оның ортасы  $E_0(x_0, y_0, z_0)$ . Сонымен:

$$E_0 E_1 = \frac{e}{2} \tan 30^\circ = \frac{e}{2\sqrt{3}}, \quad (2.12)$$

$E_j$  нүктесінің келесі координаттары және оның  $YZ$  жазықтығына  $E'_j$  проекциясы бізге не береді:

$$E_1 \left( x_0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right) \rightarrow E'_1 \left( 0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0 \right) \quad (2.13)$$

Әже қашықтығына сәйкес  $=x_0$ , содан Пифагор тіліне сәйкес:

$$E'_1 J_1 = \sqrt{(E_1 J_1^2 - E_1 E_1'^2)} = \sqrt{(r_e^2 - x_0^2)} \quad (2.14)$$

Жоғарғы платформа тең бүйірлі үшбұрыш болғандықтан,  $F_j$  нүктесінің  $Y$  координаттары тең болады:

$$F_1 \left( 0, -\frac{f}{2\sqrt{3}}, 0 \right) \quad (2.15)$$

Екі шеңбердің қиылысы болып табылатын  $J_l$  нүктесінің координаттарын табу үшін теңдеулер жүйесін шешу керек:

$$\begin{cases} (y_{J_1} - y_{F_1})^2 + (z_{J_1} - z_{F_1})^2 = r_f^2 \\ (y_{J_1} - y_{E_1})^2 + (z_{J_1} - z_{E_1})^2 = r_e^2 - x_0 \end{cases} \quad (2.16)$$

Шеңберлердің центрлерінің координаттары белгілі, Егер оларды алмастыру арқылы келесі өрнекті аламыз:

$$\begin{cases} \left( y_{J_1} + \frac{f}{2\sqrt{3}} \right)^2 + z_{J_1}^2 = r_f^2 \\ \left( y_{J_1} - y_0 + \frac{e}{2\sqrt{3}} \right)^2 + (z_{J_1} - z_0)^2 = r_e^2 - x_0 \end{cases} \quad (2.17)$$

Егер жақшаларды ашып, бір теңдеуді екіншісінен алып тастасак, онда  $J_l$  нүктесінің  $z$  - координатын  $y$  - координатасы арқылы сызықтық түрде көрсетуге болады, содан кейін оны екінші теңдеуге ауыстырып,  $y$  - ге қатысты қарапайым квадрат теңдеуді алуға болады, оның екі шешімінен ең кішісі таңдалады.  $J_l$  нүктесінің координаттарын алғаннан кейін бұрышты табамыз:

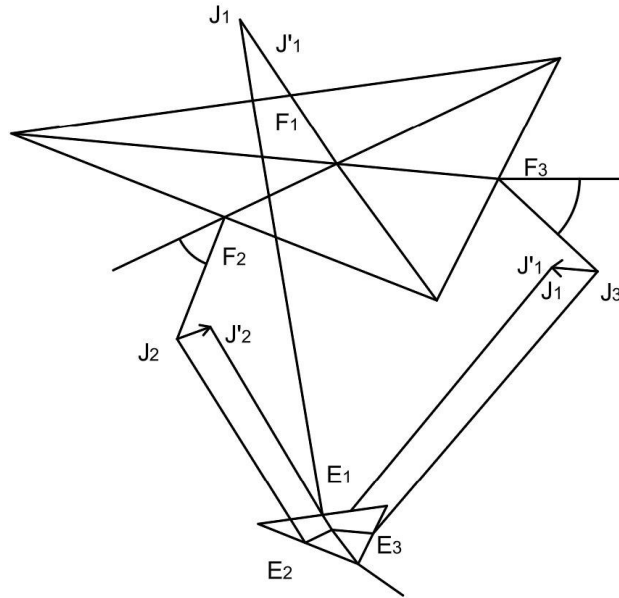
$$\theta_1 = \arctan \left( \frac{z_{J_1}}{y_{F_1} - y_{J_1}} \right) \quad (2.18)$$

Барлық өрнектер координаттар жүйесін сәтті таңдаудың арқасында өте қарапайым болып шықты:  $F_l J_l$  тұтқасы әрқашан  $YZ$ , жазықтығында қозғалады, сондықтан  $x$  координатын елемеуге болады, қалған екі бұрышты табу кезінде бұл артықшылықты сақтау үшін  $\theta_2$ , және  $\theta_3$ , біз ПР-ның дизайнының симметриясын қолданамыз. 4.9 суретке сәйкес, алдымен координаттар жүйесін  $Z$  осінің айналасындағы  $XU$  жазықтығындағы сағат тіліне қарсы  $120^\circ$  бұрылады:

Жаңа  $X'Y'Z$  координаттар жүйесі алынады және бұл жаңа жүйеде  $\theta_2$  бұрышын табу үшін дайын формулаларды пайдалануға болады. Жалғыз анықтамалық жүйеде  $E0$  нүктесінің координаттарын қайта есептеу қажет. Суретте көрсетілген белгілі формуланы (жүйе бастаудың айналасында айналатын түрлендіру) қолдану арқылы оңай жасауға болады.  $\theta_3$  бұрышын табу үшін бастапқы анықтамалық жүйені бұру керек, сағат тілімен. Бұл әдіс бағдарлама түрінде өте ыңғайлы түрде жүзеге асырылады:  $YZ$  жазықтығындағы бұрышты есептеу үшін функцияны жазу жеткілікті.

1)  $f$  алға  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3) \rightarrow (x_0, y_0, z_0)$  тура кинематикалық есептің шешімі.

2) Кері есепті есептесек: енді  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , бұрыштарын белгілі және ПР-тың қозғалатын платформасының ортасында орналасқан  $E_0$  нүктесінің координаталарын  $(x_0, y_0, z_0)$  табу керек. Бұрыштарды біле отырып,  $J_1, J_2$  және  $J_3$  нүктелерінің координаталарын табуға болады (2.10 суретті қараңыз).  $J_1E_1$ ,  $J_2E_2$  және  $J_3E_3$  рычагтарының иықтары сәйкесінше  $J_1, J_2$  және  $J_3$  нүктелерінің айналасында еркін айнала алады, кеңістікте  $r_e$  радиустары бар үш шар құрайды.



Сурет 2.5 –  $J_1, J_2$  және  $J_3$  нүктелерінің координаталарын анықтау

Ол үшін сәйкесінше  $E_1E_0$ ,  $E_2E_0$  және  $E_3E_0$  орын ауыстыру векторларын пайдалана отырып,  $XU$  жазықтығындағы  $J_1, J_2$  және  $J_3$  нүктелерінен осы шарлардың әрқайсысының центрлерін  $Z$  осінің бағытына жылжыту керек (суреттегі қызыл көрсеткілермен көрсетілген).

Белгілі болғандай,  $E_0$  нүктесінің координаттарын  $(x_0, y_0, z_0)$  анықтау үшін үш сфераның қиылысу нүктесін, радиустары мен белгілі орталықтардың координаттарын табу керек (сурет 2.5). Басқаша айтқанда, үш өлшемді сфераларды сипаттайтын үш теңдеу жүйесін шешу қажет:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = r_e^2 \quad (2.19)$$

мұндағы  $(x, y, z)$  -  $J_1, J_2$  және  $J_3$  сфераларының орталықтарының координаттары.

Келесі аббревиатуралар сәйкесінше  $J'_1, J'_2$  және  $J'_3$  нүктелерінің координаттары ретінде қолданылады  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(x_2, y_2, z_2)$  және  $(x_3, y_3, z_3)$ .

Сондай-ақ  $x_1 = 0$   $J'_1$  нүктесі  $YZ$  жазықтығында болғандықтан) ескеру қажет. Келесі теңдеулер жүйесі алынады:

$$\begin{cases} x^2(y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = r_e^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r_e^2 \rightarrow \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = r_e^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 - 2y_1y - 2z_1z = r_e^2 - y_1^2 - z_1^2 \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_2x - 2y_2y - 2z_2z = r_e^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 \rightarrow \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_3x - 2y_3y - 2z_3z = r_e^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 \end{cases} \quad (2.20)$$

Белгілеуді енгізейік:

$$w_i = x_i^2 - y_i^2 - z_i^2 \quad (2.21)$$

және жоғарғы теңдеуден екінші мен үшіншіні, екіншіден үшіншіні алып тастасақ, мынаны аламыз:

$$\begin{cases} x_2x + (y_1 - y_2)y + (z_1 - z_2)z = \frac{w_1 - w_2}{2} \\ x_3x + (y_1 - y_2)y + (z_1 - z_3)z = \frac{w_1 - w_3}{2} \\ (x_2 - x_3)x + (y_2 - y_3)y + (z_2 - z_3)z = \frac{w_2 - w_3}{2} \end{cases} \quad (2.22)$$

Бірінші теңдеуден екіншісін (осылайша  $y$ -ны азайтамыз) және екіншісінен үшіншіден ( $x$ -ті кемітеміз) шегеріп,  $x$  пен  $y$ -ны  $z$  арқылы өрнектей аламыз:

$$\begin{aligned} x &= a_1z + b_1 \\ y &= a_2z + b_2 \\ a_1 &= \frac{1}{d} [(z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (z_3 - z_1)(y_2 - y_1)] \end{aligned} \quad (2.23)$$

Енді бірінші шеңбердің теңдеуіне  $z$  арқылы өрнектелген  $x$  және  $y$  мәндерін ауыстырсақ (центр  $J'_1$ ), біз мынаны аламыз:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{1}{d} [(z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (z_3 - z_1)(y_2 - y_1)] \\ a_2 &= -\frac{1}{d} [(z_2 - z_1)x_3 - (z_3 - z_1)x_2] \\ b_1 &= -\frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)(y_3 - y_1) - (w_3 - w_1)(y_2 - y_1)] \\ b_2 &= \frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)x_3 - (w_3 - w_1)x_2] \\ d &= (y_2 - y_1)x_3 - (y_3 - y_1)x_2 \end{aligned} \quad (2.24)$$

Бұл квадрат теңдеуді шешу (стандартты түрде, дискриминант арқылы)  $z$ -ді табу, және ол арқылы  $x$  және  $y$  табу керек.

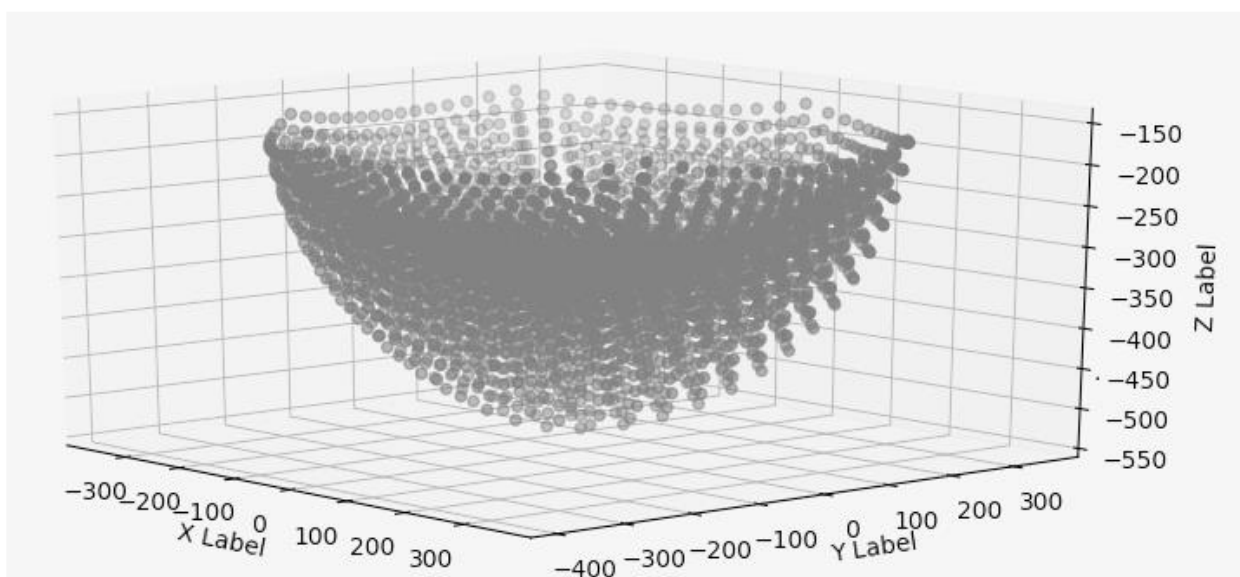
$$(a_1^2 + a_2^2 + 1)z^2 + 2(a_1 + a_2(b_2 - y_1) - z_1)z + (b_1^2 + (b_2 - y_1)^2 + z_1^2 - r_e^2) = 0$$

### 2.3 Параллель роботтың жұмыс аймағын анықтау

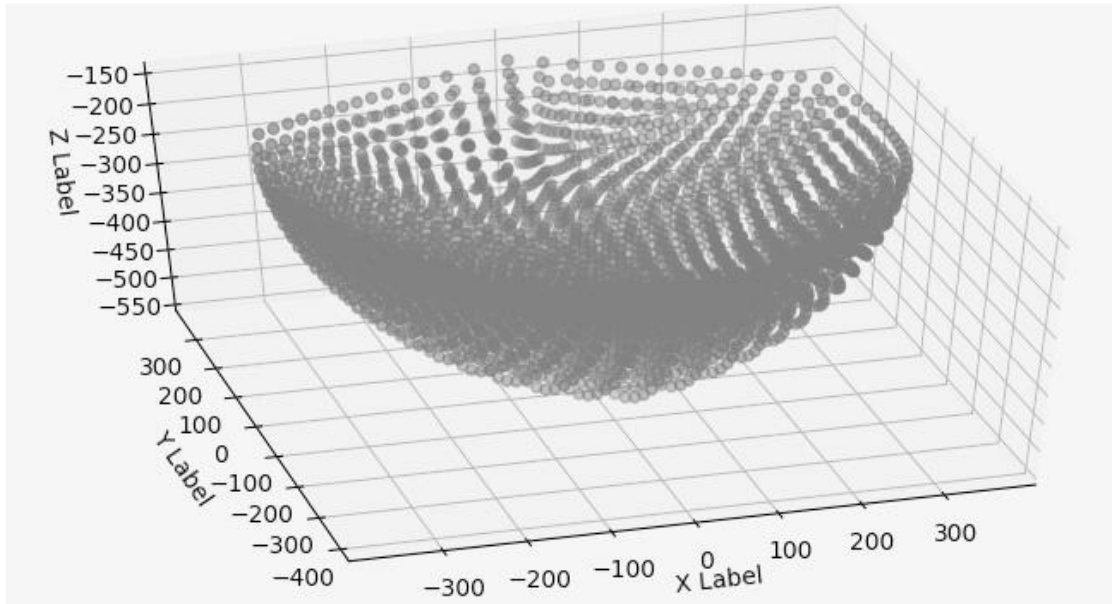
Қозғалмалы платформа центрінің координаталарының рұқсат етілген мәндері келесі мәндермен анықталады:

- 1)  $Rf$  және  $Re$  рычагтарының тұтқаларының ұзындығы;
- 2) қарапайым топсалардың  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  айналуының минималды және максималды бұрыштары;
- 3) шарикті қосылыстардың ең аз және ең үлкен айналу бұрыштары.

Модельдеуді қолдана отырып, үшбұрыш механизмінің жұмыс аймағы алынды (2.6 және 2.7 суреттер). Осылайша, механизмнің жұмыс аймағы дөңгелек қимасы бар конус болып табылады. Жоғарыдан жұмыс аймағы ілмектердің айналу бұрыштарымен және рычагтардың қолдарының ұзындықтарымен шектеледі.



Сурет 2.6 – ПР-тың механизмінің жұмыс аймағы



Сурет 2.7 – ПР-тың механизмінің жұмыс аймағы

Жұмыс аймағының берілген параметрлері негізінде  $Rf$  және  $Re$  тұтқаларының ұзындықтарын анықтау қажет. ПР-тың конструкциясы негізге қарапайым топса арқылы қосылған қолдар тек бір нүктеде центрі бар  $Rf$  радиусының шеңберін сипаттайтын жазықтықта айнала алатынын білдіреді. Үлкенірек  $Re$  тұтқасы шарикті қосылыстармен біріктірілген, бұл оның жылжымалы негізге бекіту нүктесінің айналасында еркін айналуына мүмкіндік береді, радиусы  $Re$  шарды сипаттайды.

Жоғарыда кинематиканың кері есебін есептеу арқылы қозғалатын платформа центрінің берілген  $X_0, Y_0, Z_0$  координаталары бойынша  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  топсаларының айналу бұрыштарын есептеуге арналған қатынастар алынды. Біздің жағдайда платформа орталығының координаттық мәндері жұмыс аймағының көрсетілген параметрлерімен және топсалардың максималды айналу бұрыштарымен шектеледі. Содан кейін теңдеулер мен теңсіздіктер жүйесін аламыз, одан  $Rf$  және  $Re$  иығының ұзындықтарының сандық мәндерін алуға болады.

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = R_e^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = R_e^2$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = R_e^2$$

$$x^2 + y^2 + (z - z_w)^2 \geq R_w^2$$

$$\theta_{1 \min} \leq \theta_1 \leq \theta_{1 \max}$$

$$\theta_{2 \min} \leq \theta_2 \leq \theta_{2 \max}$$

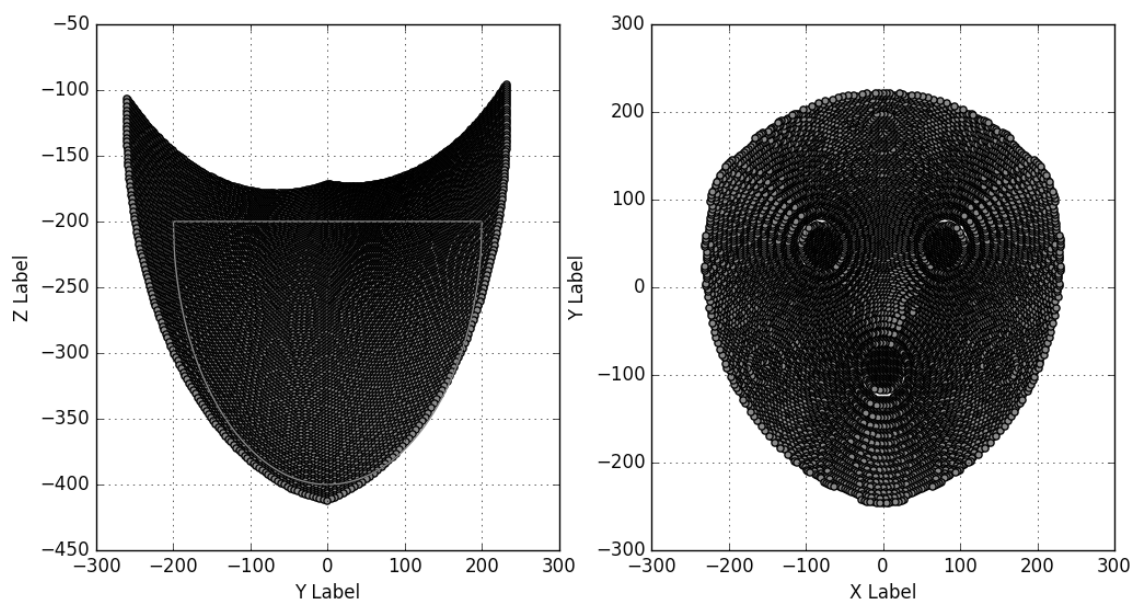
$$\theta_{3 \min} \leq \theta_3 \leq \theta_{3 \max}$$

мұндағы  $R_w$  – үшбұрышты роботтың жұмыс аймағының радиусы;  $(0, 0, z_w)$  – осы аймақтың центрінің координаталары.



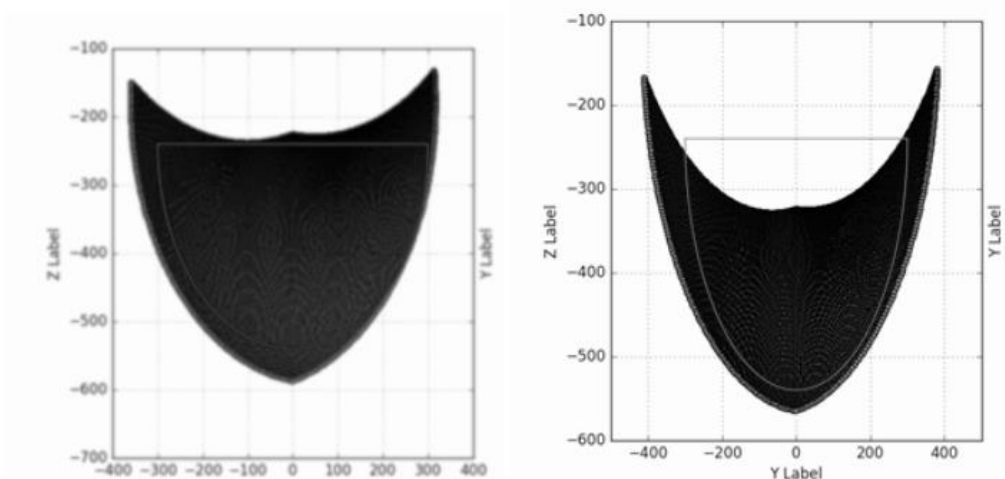
$$\begin{aligned}
x_1 &= 0 \\
y_1 &= -\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} - R_f \cos \theta_1 \\
z_1 &= -R_f \sin \theta_1 \\
x_2 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} - R_f \cos \theta_2\right) \cos 30^\circ \\
y_2 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_2\right) \sin 30^\circ \\
z_2 &= -R_f \sin \theta_2 \\
x_3 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_3\right) \cos 30^\circ \\
y_3 &= \left(\frac{L_f - L_e}{2\sqrt{3}} + R_f \cos \theta_3\right) \sin 30^\circ \\
z_3 &= -R_f \sin \theta_3
\end{aligned}$$

2.8 суретте бағдарламаның нәтижесі көрсетілген, мұнда  $Rw = 200$ , орталық координаттары -  $(0, 0, -200)$ , топсаның айналу бұрыштарының мәндері -450-ден 600-ге дейін,  $Le = 300$ ,  $Lf = 140$ . 2.15 суретте бағдарламаның нәтижесі көрсетілген, мұнда  $Rw = 200$ , орталық координаттары -  $(0, 0, -200)$ , топсаның айналу бұрыштарының мәндері -450-ден 600-ге дейін,  $Le = 300$   $Lf = 140$ . Көрсетілген робот жұмыс аймағы қызыл түспен бөлектелген. Оң жақта  $z = -200$  жазықтықтың кесіндісі.



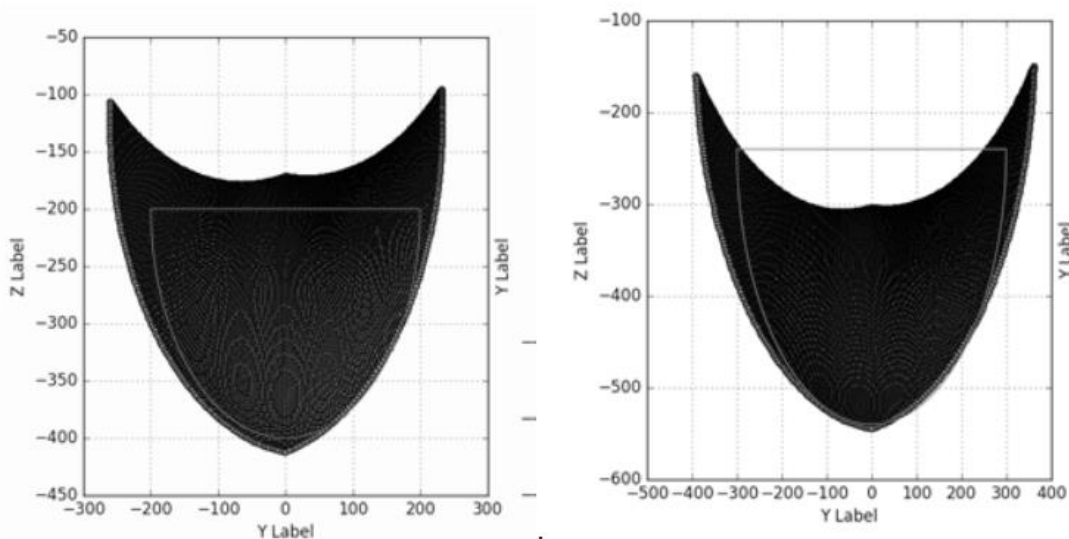
Сурет 2.8 - Бағдарламаның нәтижесі

Жүйенің кинематикалық параметрлері өзгерген кезде жұмыс аймағы қалай өзгередінін қарастырайық. Қозғалмалы негізге бекітілген  $Re$  тұтқасы ұлғайған сайын, жұмыс аймағы  $Z$  осінің бойымен тарылады 2.9-суретте роботтың екі жұмыс аймағы көрсетілген: бірінші жағдайда,  $Re = 420$  мм,  $Rf = 210$  мм және радиусы  $Rw$  шары. = 300 мм (0, 0, -250) нүктесінде центрленген, толығымен осы роботтың жұмыс кеңістігінде жатыр. Қол өлшемін  $Re$  450 мм-ге өзгерткен кезде қажетті аумақтың едәуір бөлігі кесіледі (оң жақта 2.9-суретте).



Сурет 2.9 - Иық опцияларына арналған бағдарлама нәтижелері  
 1)  $Re = 420$ ,  $Rf = 210$ , 2)  $Re = 450$ ,  $Rf = 210$ , жұмыс аймағы сферасының радиусы  $Rw = 300$

Қозғалмайтын негізге бекітілген  $Rf$  қолының ұлғаюымен жұмыс аймағы барлық үш ось бойынша өзгереді: ол  $XY$  жазықтығында ұлғаяды және  $Z$  осі бойымен тарылады 2.10 суретте екі жағдайға арналған бағдарламаның нәтижелері көрсетілген.



Сурет 2.10 - Иық опцияларына арналған бағдарлама нәтижелері

$$1) Re = 400, Rf = 130, 2) Re = 400, Rf = 200$$

## 2.4 Орын ауыстыруынан туындаған платформа центрінің қателігін есептеу

ПР-тың дәлдігін есептеу роботтың қаттылығын анықтаусыз мүмкін емес. Параллельді роботтың қаттылығы негізінен оның сапасын анықтайды: *өнімділігі, сенімділігі, ұзақ мерзімділігі және дәлдігі.*

Виртуалды жұмыс принципін қолданайық. Жалпы, суретте көрсетілген алтыаяқты үшін, түсірілген күш пен шыбықтарда пайда болатын алты күштің жасаған жұмысы тең және сәйкес орын ауыстыруларға көбейтілген күштерді білдіреді. Сонда біз матрицалық теңдеуді жаза аламыз:

$$F_p^T \times \Delta P = f^T \times \Delta q \quad (2.25)$$

$F_p^T = [F_x, F_y, F_z, M_\varphi, M_\psi, M_\theta]^T$  күш құраушыларының векторы;

$P = [\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \varphi, \Delta \psi, \Delta \theta]^T$  - әсер етуші күш әсерінен пайда болатын шығыс буынының шексіз аз орын ауыстыру векторы;

$f^T = [f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6]^T$  - жолақтардағы күштердің векторы;

$\Delta q = [\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3, \Delta q_4, \Delta q_5, \Delta q_6]^T$  - өзектердегі күштердің әсерінен пайда болатын шексіз аз деформациялар векторы.

(2.19) теңдеуді түрлендіру үшін есептеу техникасын да қолданамыз, бұл техника Якобиялық матрицаны қолдануға негізделген.

(2.8) өрнекті (2.19) теңдеуге ауыстырайық:

$$F_p \cdot J \cdot \Delta q = f^T \cdot \Delta q$$

Теңдеудің екі жағын да  $\Delta q$  - ға азайтсақ, мынаны аламыз:

$$F_p^T \cdot J = f^T$$

Теңдеудің екі жағының транспозициясын ескере отырып:

$$(F_p^T \cdot J)^T = f$$

Немесе

$$f = J^T \cdot F_p \quad (2.26)$$

Қолданылған күшті стержендерде пайда болатын күштер арқылы өрнектеп көрейік:

$$F_p = J^{-T} \cdot f \quad (2.27)$$

Параллель кинематикасы бар механизмнің құрылымында жетектердің кинематикалық ажыратылуы болғандықтан, ілгерілемелі және айналмалы механизмдердің қаттылығы бір-біріне тәуелді болмайды. Трансляция механизмі үшін түсірілген күштің әсерінен шыбықтарда пайда болатын күштер осьтік болады. Гук заңы бойынша ақиқат өрнегі:

$$\varepsilon = \frac{\Delta q_i}{q_i} = \frac{\sigma}{E} = \frac{f_i}{A \cdot E} \quad (2.28)$$

где  $\varepsilon$  – салыстырмалы деформация,  $\Delta q_i$  – түсірілген күш әсерінен стержень ұзындығының өзгеруі,  $q_i$  – стержень ұзындығы,  $E$  – тартылу және қысу кезіндегі серпімділік модулі,  $A$  – стерженьдің көлденең қимасының ауданы,  $f_i$  – өзектегі күш,  $\left(\frac{A \cdot E}{q_i}\right)$  – кернеу-сығу кезіндегі сырықтың қаттылығы.

(2.28) теңдеуінен стерженьде пайда болатын күшті өрнектеп көрейік:

$$f_i = \left(\frac{A \cdot E}{q_i}\right) \cdot \Delta \quad (2.29)$$

Сфералық механизмнің қаттылығы эксперименталды түрде табылды және шамамен 1,17 Н/мм құрайды.

Трансляциялық және айналмалы механизмдердің қаттылығын ескере отырып (2.29) теңдеуді жазайық.

$$f = \begin{bmatrix} \frac{A \cdot E}{q_i} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{A \cdot E}{q_i} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{A \cdot E}{q_i} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.17 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.17 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.17 \end{bmatrix} \cdot \Delta q = K_s \cdot \Delta q \quad (2.30)$$

мұндағы  $K_s$  – трансферттік сфералық механизмнің кеңістіктік қаттылық матрицасы.

(2.8)  $\Delta q$  теңдеуінен өрнектеп көрейік:

$$\Delta q = J^{-1} \cdot \Delta P \quad (2.31)$$

(2.25) теңдеуді (2.24) ауыстырайық:

$$f = K_s \cdot J^{-T} \cdot \Delta P \quad (2.32)$$

(2.26) теңдеуін (2.21) теңдеуіне келтірейік:

$$F_p = J^{-T} \cdot K_s \cdot J^{-1} \cdot \Delta P = K_c \cdot \Delta P, \quad (2.33)$$

мұндағы  $K_c = J^{-T} \cdot K_s \cdot J^{-1}$  - декарттық негіз координаттар жүйесіндегі механизмнің кеңістіктік қаттылық матрицасы.

*Біз MATLAB бағдарламалық ортасын пайдалана отырып, тікелей якобиялықтардан кері және транспозицияланған якобиялықтарды ала аламыз.*

(2.27) теңдеуден әсер ететін күш әсерінен платформа центрінің орын ауыстыру қателігін өрнектеп көрейік:

$$\Delta P = K_c^{-1} \cdot F_p \quad (2.34)$$

мұндағы  $K_c^{-1}$  - параллельді роботтың статикалық қаттылық матрицасы;  $F_p$  - қолданылатын күш болып табылады.

## 2.5 Параллель Роботтың 3D моделі

Solidworks бағдарламалық кешенінде үш дәрежелі қозғалғыштығы бар Параллель Роботтың 3D моделі салынған (сурет. 2.11).

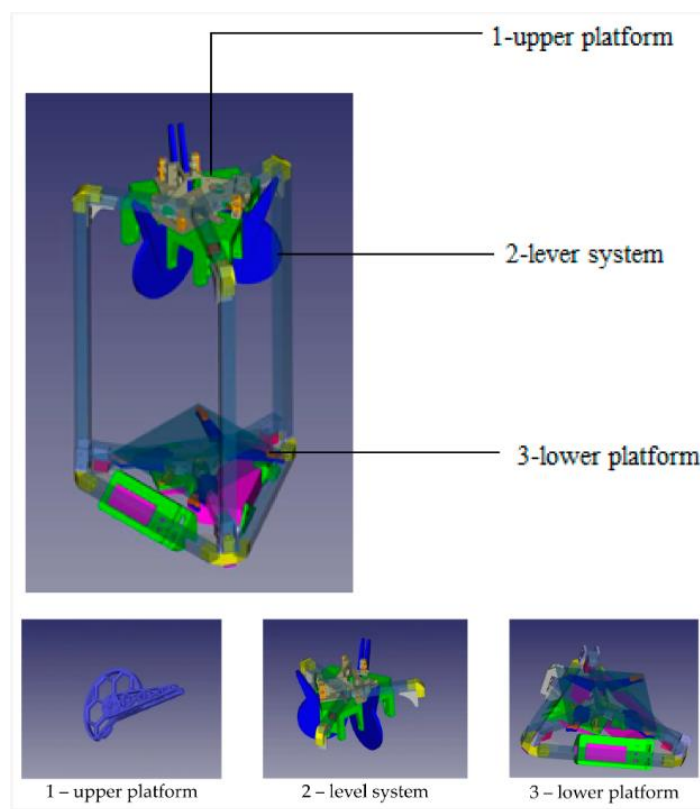
Құрастыруды жобалау кезінде «төменнен жоғары» әдісі қолданылды, яғни алдымен бөлшектер жасалды, содан кейін олар құрастыруға енгізіліп, жұптастырылды. Сондай-ақ, модель қажетті дизайн және технологиялық құжаттаманы алуға мүмкіндік береді.

Параллель Роботтың механикалық дизайнын жасау үшін SolidWorks 3D CAD Design Software & PDM Systems бағдарламалық кешенінде 3D моделі құрылды. Дизайн Параллель Роботтың жұмысына қажетті барлық техникалық талаптар мен функционалдық сипаттамаларды ескере отырып жүзеге асырылды. SolidWorks құралдарын қолдана отырып, ПР-тың барлық компоненттерінің, соның ішінде жақтаудың, қозғалтқыштардың, сілтемелердің және басқа бөлшектердің егжей-тегжейлі сызбалары жасалды.

Сондай-ақ, SolidWorks ортасында ПР-тың жұмысын визуализациялау жасалды, бұл оның функционалдығы мен тиімділігін тексеруге мүмкіндік берді. Алынған 3D моделі (сурет. 2.11) манипулятордың прототипін жасау үшін қолданылады.

Бұл бағдарламалық пакеттің мүмкіндіктері ПР-тың құрастырылған 3D моделін SimMechanics CAD трансляторының көмегімен MatLab бағдарламасына импорттауға мүмкіндік береді.

SimMechanics – механикалық объектілердің үлгілерін жасауға және басқа MathWorks пакеттерімен бірге басқару жүйелерінің нақты прототиптерін жасауға мүмкіндік беретін механикалық жүйелерді физикалық модельдеуге арналған Simulink кітапханасы.



Сурет 2.11 - ПР-тың 3D моделі (жалпы көрініс).

ПР-ты әзірлеу барысында рамалық байланыстырушы элементтердің көп бөлігі 0,75 мм Bestfilament PLA пластмассасын пайдаланып Flying Bear Ghost 4S 3D басып шығарылды. Модельдердің 3D басып шығаруы Cura Ultimaker 3D кескішінің қолдауымен жасалған. ПР-тың прототипі 3.2 суретте көрсетілгендей рамалық элементтер FreeCad автоматты жобалау (3D) бағдарламалық ортасында модельденді, бұл оңтайлы өлшемдерді табуға мүмкіндік берді және одан әрі 3D басып шығарылды.

## 2.6 Тарау бойынша қорытынды

Бұл бөлімде ПР-тың жұмыс аймағын анықтау әдісі келтірілген, координаттарды анықтауға арналған теңдеулер жүйесі ұсынылған. Алынған шешімдер ПР-тың дизайн параметрлері бойынша шығыс сілтемесінің координаттарын анықтап қана қоймай, керісінше мәселені шешуге, жұмыс аймағының берілген параметрлері бойынша дизайн сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді. Алынған нәтиже дәлдікті арттыруға, процесті автоматтандырудың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

1. Үш дәрежелі еркіндік дәрежесі бар ПР-тың қуыс роторлары бар осьтік орнатылған жетектері бар схемалық-техникалық шешімі әзірленді. Екі сатылы қозғалтқышы бар жетек блогын орындау шығыс буынын мүмкіндігінше дәл басқаруға мүмкіндік береді, бұл шығыс буынының орналасу дәлдігінің жоғарылауына әкеледі, сонымен қатар жетек блогының өлшемдерін едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

2. Үш дәрежелі қозғалғыштығы бар ПР-тың кинематикалық сұлбасын әзірленді, бұл алға жылжу механизмдері үшін тікелей Якобианды бөлек есептеу негізінде штангалық жетектердің қателігінен туындаған шығыс буынының орналасу қателігін анықтауға мүмкіндік береді.

3. Механизмнің қаттылығының есептеулерін қоса алғанда, әсер етуші күштің әсерінен шығу буынының жылжуынан туындаған қозғалғыштығының үш дәрежесі бар үшбұрышты роботтың орналасу қатесін сандық есептеудің алгоритмі мен әдістемесі әзірленді.

4. Параллель Роботтың 3D моделі SolidWorks бағдарламалық кешенінде жасалып, барлық техникалық талаптар мен функционалдық сипаттамаларды ескере отырып жобаланды. Модельдің құрылымын тексеру үшін визуализациялар мен тестілеулер жүргізілді, ал SimMechanics арқылы MatLab бағдарламасына импорттау роботтың жұмысын физикалық модельдеуге мүмкіндік берді. 3D басып шығару технологиясы арқылы жасалған прототип роботтың бөлшектерінің дәлдігін тексеруге және оңтайлы конструкцияны әзірлеуге ықпал етті, ал FreeCAD ортасында модельдеу тиімді өлшемдер мен құрылымдық сипаттамаларды қамтамасыз етті.

### 3. ПР БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

#### 3.1 M2M байланыс протоколымен жасанды көру жүйесін құру

Параллель Роботтың траекториясын бақылаудың ең жақсы алгоритмін анықтау үшін деректердің сипаттамаларын, дәлдік пен өнімділікке қойылатын талаптарды және тапсырманың жалпы күрделілігін талдау қажет.

CNN және DNN (Deep Neural Networks) әдетте кескіндерді талдау және үлгіні тану үшін қолданылады, мұнда негізгі мақсат кеңістіктегі траекторияны бақылау үшін кескіндерді талдауды қамтиды және ең жақсы таңдау болуы мүмкін, өйткені олар суреттерден белгілерді шығарып, осы белгілерге негізделген қозғалысты болжай алады. Алайда, егер жүйеде оқыту мысалдары аз болса, онда CNN тану дәлдігінің деңгейі бірнеше есе төмендеуі мүмкін, ал DNN-де нәтижелерді түсіндіру қиындықтары және модельді оқытудың күрделілігі бар, бұл көптеген қабаттар мен параметрлерге байланысты, бұл оқыту мен болжау үшін үлкен есептеу ресурстарын қажет етеді, бұл роботтық жүйелерде проблемалы болуы мүмкін.

NN типті қарапайым модельдердің нейрондық желілері, егер деректер қарапайым құрылымға ие болса және белгілерді терең талдауды және объектілерді анықтаудың жоғары дәлдігін қажет етпесе, қолайлы болуы мүмкін.

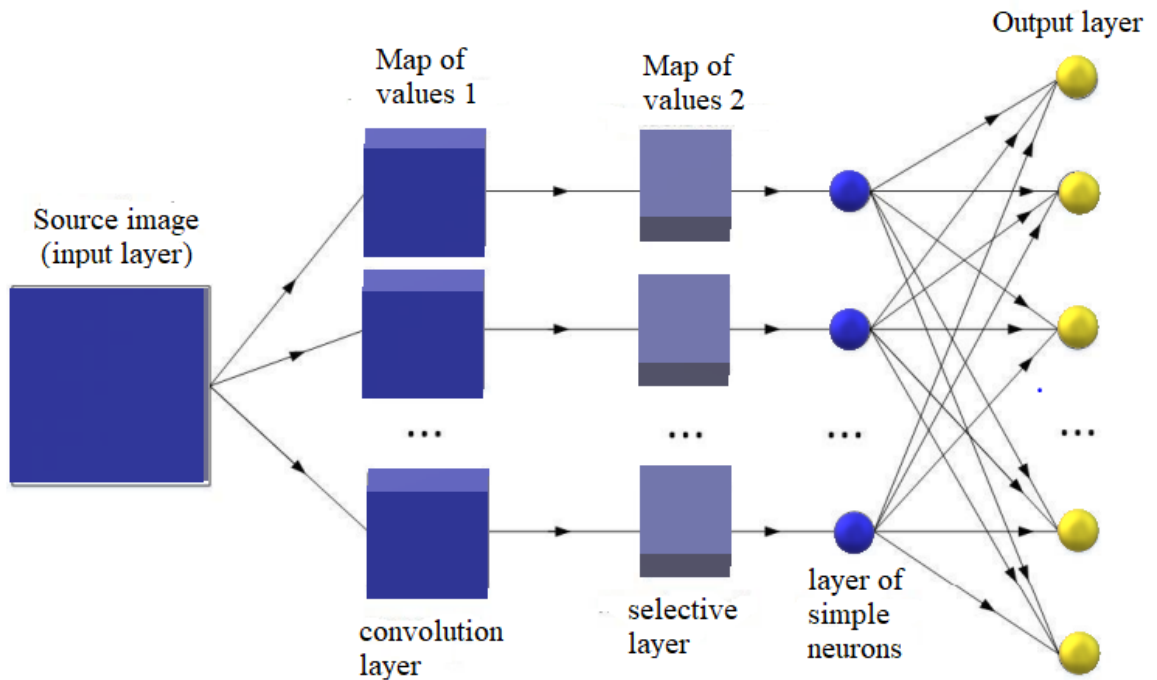
RBF (радиалды негізгі функция) желілер, егер тапсырма күрделі функцияларды жуықтауды қажет етсе немесе деректер туралы дұрыс емес ақпарат қажет болса, тиімді болуы мүмкін, бұл өз кезегінде деректерді өңдеу уақытын арттырады.

ПР-қа арналған жасанды көру жүйесі сұрыптау процесінде бөлшектерді анықтауға арналған. ПР-қа арналған жасанды көру жүйесін дамытудағы алғашқы қадам - кескін деректерін алуда кескін сенсорларын қолдану арқылы жүзеге асырылатын оқыту үшін кескіндерді жинау.

Прототиптік манипуляторлар үшін ең көп қолданылатын, кең таралған түр – бұл RGB типті түрлі-түсті кескіндер, сонымен қатар зерттеудің эксперименттік бөлігінде қолданылатын заманауи *Yolov8 архитектурасы* бар технологиялар.

Жасанды көру жүйесін қалыптастыру үшін машиналық оқыту модельдерін қолданудың қолданыстағы нұсқаларын талдау қабаттардың саны 5-тен 50-ге дейін өзгертін MASK-R-CNN архитектурасы бар конволюциялық нейрондық желіні қолданудың тиімділігін көрсетеді. Бұл алгоритмді қолдану суреттердегі объектілерді сегменттеу процестері үшін ең тиімді болып табылады, бұл объектілер бір-бірімен қабаттасып немесе әртүрлі өлшемдерге ие болса да, фотосуреттердегі әртүрлі объектілердің даналық маскарарын бөлектеуге мүмкіндік береді. Конволюциялық нейрондық желінің құрылымы 3.1 суретте көрсетілген.





Сурет 3.1 - Конволюциялық нейрондық желінің құрылымы

Конволюциялық қабаттағы барлық белгілер карталарының өлшемдері бірдей, олар формула бойынша анықталады:

$$w = mW - kW + 1 \quad (3.1)$$

$$h = mH - kH + 1 \quad (3.2)$$

$(w, h)$  – конволюциялық картаның есептелген өлшемі,  $mW$ – алдыңғы картаның ені,  $mH$  – алдыңғы картаның биіктігі,  $kW$ – ядро ені,  $kH$ – ядро ұзындығы.

Картаның шығыс белгілерінің өлшемін есептеу кезінде бүтін емес нәтижелерді болдырмау үшін қадам 0-ден 2 салыстырмалы бірлікке дейін өзгеруі мүмкін.

ПР үшін MASK-R-CNN нейрондық желі архитектурасын қолдану жасанды көру элементтерінің келесі негізгі процестерін құрайды:

- жіктеу;
- семантикалық сегментация;
- объектіні анықтау;
- үлгілерді сегменттеу.

MASK-R-CN әдісін қолдана отырып, жасанды көру жүйесін дамыту басқа әдістерге қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие және нақты уақыт режимінде кескіндерді тиімді өңдей алатын робототехникалық жүйелерді құрудың тиімді құралы болып табылады.

Осы зерттеуде MASK-R-CNN қолдану негіздемесі:

– суреттердегі объектілерді анықтаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз ету, бұл объектілердің шекараларын дәл анықтауға және әр объектінің контурын көрсететін маскалар жасауға мүмкіндік береді;

– суреттерді нақты уақыт режимінде өңдеу мүмкіндігі бар, бұл оларды робототехникалық жүйелерде қолдану үшін тамаша таңдау жасайды, мұнда деректерді өңдеу жылдамдығы маңызды рөл атқарады;

– бір уақытта объектілерді анықтауға, кескіндерді жіктеуге және сегментациялауға мүмкіндік береді. Бұл оларды жасанды көру саласындағы әртүрлі тапсырмалар үшін әмбебап құралға айналдырады;

– ашық көзі бар, бұл оларды оңай қол жетімді және пайдалануды жеңілдетеді.

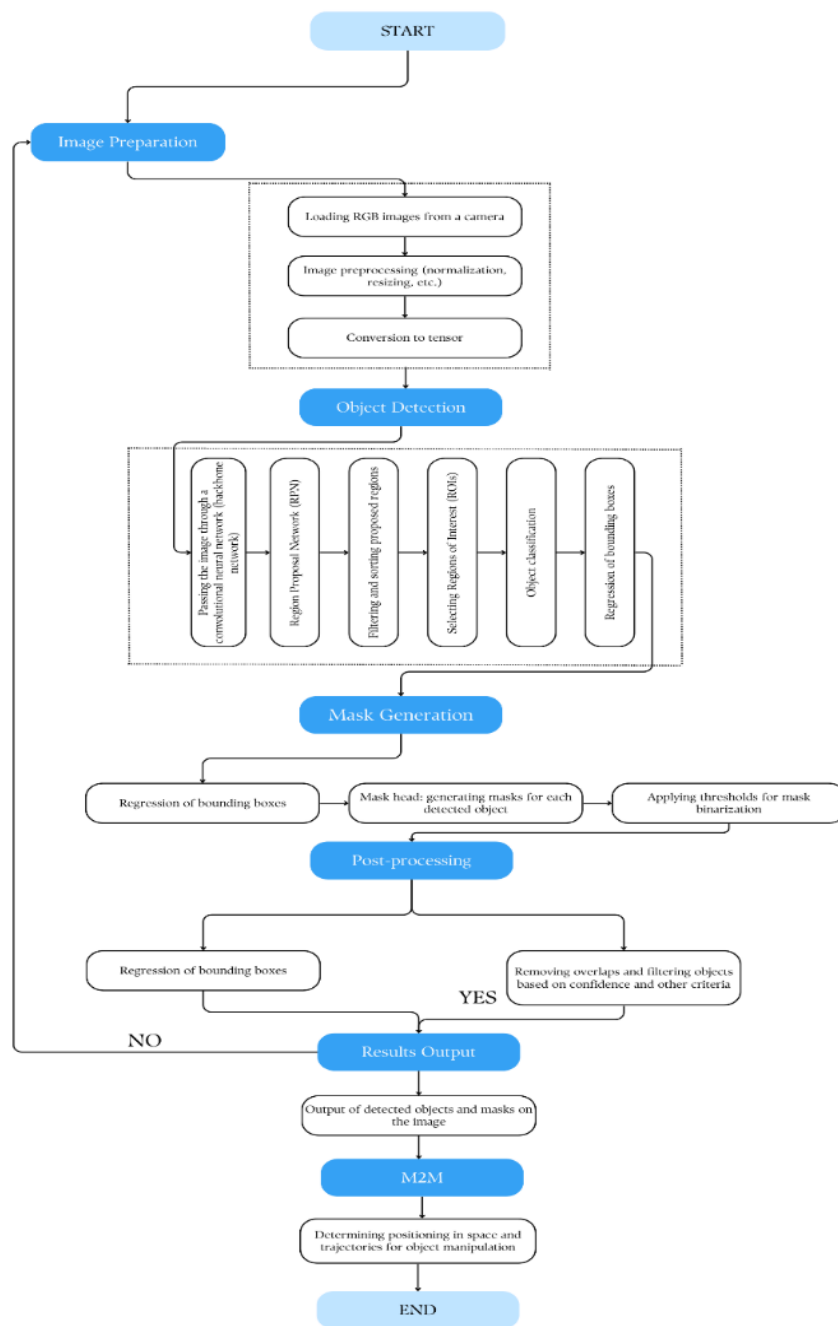
Сондай-ақ, MASK-R-CNN қолдану робототехникалық жүйелердің тиімділігін арттыратын кескінді өңдеуге байланысты бірқатар тапсырмаларды автоматтандыруға мүмкіндік береді.

*RGB моделі* - бұл қосу арқылы кескінге жаңа түстер жасау процесі көрінетін жарықта шоғырланған қосымша модель. Бұл жағдайда жаңа түстер қызыл, жасыл және көк түстерді айнымалы пропорцияларда аддитивті араластыру арқылы пайда болады, бұл суреттерде қызыл, жасыл және көк түстерде үш жолақ бар. Зерттеуде адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN алгоритмінің архитектурасы келесідей 3.2 сурет.

RGB типті суреттердегі объектілерді тану үшін жіктеу кодын объект түрі бойынша конфигурациялау және объектілерді анықтау жеткілікті. Бұл зерттеуде компьютерлік көру және кескінді өңдеу кітапханасы Open Source Computer Vision Library ашық көзі. Алайда, үшін деректерді өңдеу және нейрондық желіні оқыту нәтижелерін тексеру, соның ішінде визуализация нәтижелерін оңтайландыру үшін MASK-R-CNN негізіндегі жасанды көрудің машинааралық өзара әрекеттесу протоколымен (M2M) бірлескен жұмысы қолданылады.

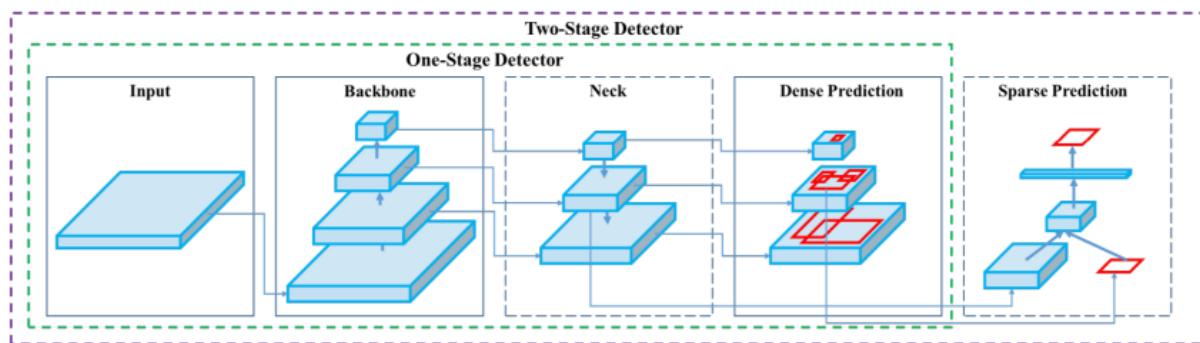
Зерттеуде MASK-R-CNN архитектурасын адаптивті RGB моделімен жүзеге асыру түс, құрылым, өлшем және пішін сияқты әртүрлі сипаттамаларға негізделген нысандарды одан әрі анықтау үшін ықтимал кескін аймақтарын жылдам ұсынуға мүмкіндік беретін селективті іздеу алгоритмін (selective Search Algorithm) қолдану арқылы жүзеге асырылды.

*Негізгі идея* – кескін пикселдерін ұқсас аймақтарға топтастыру, бұл аймақтарды үлкенірек сегменттерге біріктіру, нәтижесінде нысандарды Ozx, Ozy, Oxy параллель робот кеңістігінде орналасуын анықтап, кескінде одан әрі нақты көрсетуге мүмкіндік береді.



Сурет 3.2 - Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN алгоритмінің архитектурасы

*Yolo (You Only Look Once) технологиясы* - кескіндер мен бейнелерді өңдеу үшін терең оқыту және компьютерлік көру технологияларын пайдаланатын жасанды көру жүйелерін құрудың инновациялық тәсілі. Қолданылатын YoloV8 нұсқасы жасанды интеллект пен нейрондық желілерге негізделген нақты уақыттағы объектілерді анықтаудың ең озық алгоритмдерінің бірі болып табылады. Yolo архитектурасын жүзеге асыру 3.3 суретте көрсетілген. Бұл алгоритмді ПР-тың дәлдігін жақсарту үшін сәтті қолдануға болады.

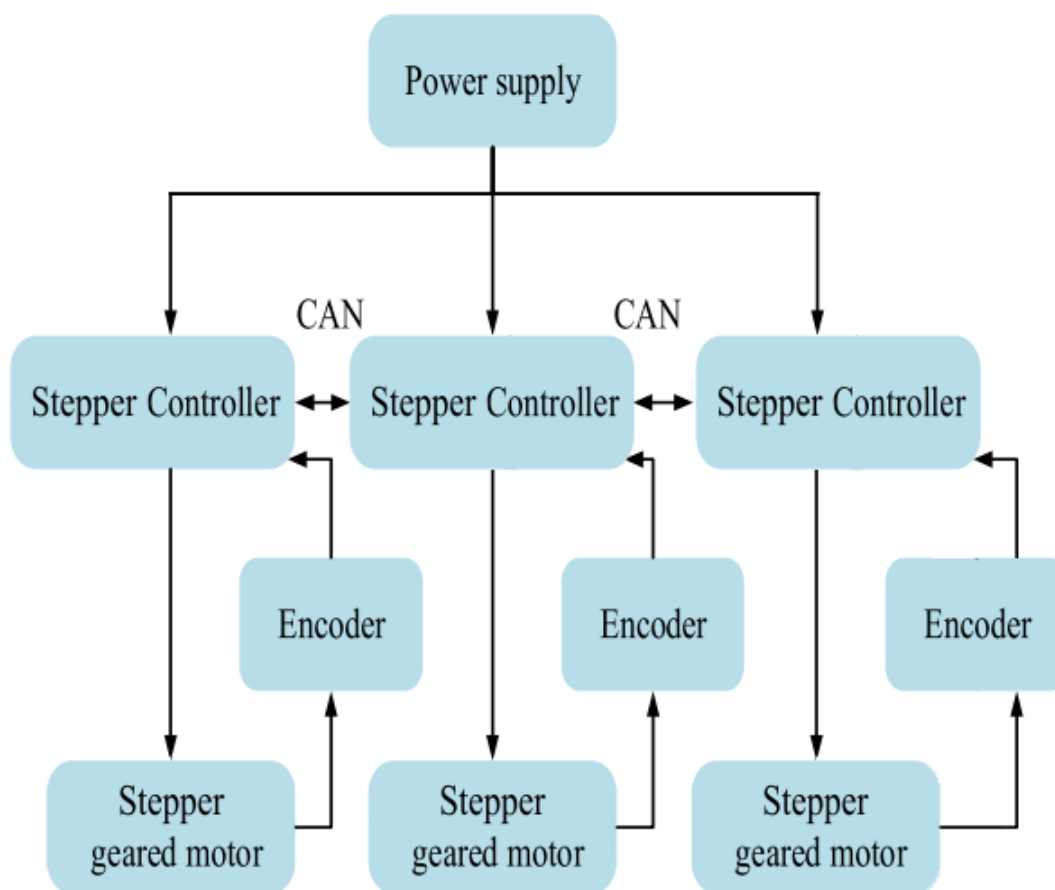


Сурет 3.3 - Yolo архитектурасын жүзеге асыру

ПР үшін Yolov8 технологиясын пайдаланудың артықшылықтары деректерді жылдам өңдеуді және алгоритмнің жоғары жылдамдығын қамтиды, бұл роботқа қоршаған ортадағы өзгерістерге тезірек жауап беруге және әртүрлі тапсырмаларды жоғары жылдамдықпен орындауға мүмкіндік береді. Yolov8 технологиясын ПР-пен біріктірген кезде, одан әрі өңдеу немесе құрастыру үшін объектілерді автоматты түрде тану және орналастыру сияқты функцияларды жүзеге асыруға болады.

### 3.2 Жасанды көру жүйесін М2М байланыс хаттамасымен біріктіру

Жасанды көру жүйесін машинааралық байланыс протоколымен біріктіру үш өлшемді кеңістіктегі позициялау бағытында ПР-тың функционалдығын айтарлықтай кеңейте алады. Жасанды көру жүйесінің тіркесімінде машинааралық байланыс протоколдарын қолдану әртүрлі құрылғылар мен жүйелер арасында танылған нысандар мен кескіннің сегменттелген аймақтары туралы деректерді тасымалдауға мүмкіндік береді. Бұл, ең алдымен, мүмкіндік беретін таратылған басқару жүйесін жасайды ПР кеңістікті тиімді шарлау және әрекеттерді үйлестіру, сондай – ақ мақсатты анықтау үшін нақты уақыт режимінде үлкен деректер жиынтығын жоғары жылдамдықпен өңдеу. Әр түрлі компоненттер мен ПР-тың құрылғылары арасындағы байланысты орнату 3.4 суретте көрсетілген.



Сурет 3.4 – ПР-тың блок-схемасы

3.4 суретте ПР-тың қозғалысы мен жұмысын басқаруға арналған бірнеше негізгі компоненттерді қамтитын блок-схемасы көрсетеді. ПР-тың жеңілдетілген блок-схемасына тоқталсақ:

– *Қуат көзі*: бүкіл жүйені қуатпен қамтамасыз етеді. Ол айнымалы ток қуатын желіден жүйенің басқа компоненттеріне сәйкес келетін тұрақты ток қуатына түрлендіреді;

– *Қадамдық контроллер*: қадамдық контроллер қадамдық қозғалтқыштарды басқаратын жүйенің маңызды бөлігі болып табылады. Ол негізгі контроллердің (мысалы, микроконтроллер немесе компьютер) пәрмендерін түсіндіреді және қадамдық қозғалтқыштарды басқару үшін қажетті сигналдарды жасайды;

– *Кодер*: ПР-тың жеке буындардың соңғы эффекторының орны мен жылдамдығы туралы кері байланысты қамтамасыз етеді. Бұл кері байланысты бақылау және дәл позициялау тапсырмалары үшін маңызды. Кодерлер қосымшаның талаптарына байланысты қосымша немесе абсолютті болуы мүмкін;

– *Қадамдық беріліс қозғалтқышы*: ПР-тың түйіспелерін жылжытуға жауапты жетектер болып табылады. Көптеген роботтық қолданбаларда қадамдық қозғалтқыштарға артықшылық беріледі, өйткені олардың дәл

басқарылуы және дұрыс басқару кезінде кері байланыссыз позицияны сақтау мүмкіндігі.

Микроконтроллер немесе компьютер болуы мүмкін негізгі контроллер қажетті траекторияға немесе тапсырмаларға байланысты қадамдық контроллерге пәрмендерді жібереді. Содан кейін қадамдық контроллер ПР-тың соңғы эффекторының қажетті қозғалысына қол жеткізу үшін осы пәрмендер мен кодерлерден алынған кері байланыс негізінде қадамдық қозғалтқыштардың қозғалысын үйлестіреді.

Объектілердің траекториясын анықтауға және бақылауға арналған машиналық көру жүйесі әдетте визуалды деректерді жинау, өңдеу және талдау үшін бірге жұмыс істейтін бірнеше құрамдастарды қамтиды:

– *Камера*: объектілер бар көріністің суреттерін немесе бейнежазбаларын түсіреді. Камераның түрі (RGB) қолданбаның нақты талаптарына байланысты, мысалы, түс туралы ақпарат немесе тереңдікті қабылдау қажеттілігі;

– *Объектив*: жарықты камера матрицасына бағыттайды және көру өрісі, өріс тереңдігі және фокустық қашықтық сияқты аспектілерді анықтайды. Қолданбаның нақты талаптарына байланысты, мысалы, бақыланатын нысандардан қашықтығы және қажетті деталь деңгейі, әртүрлі линзаларды пайдалануға болады;

– *Жарықтандыру*: кескіннің жақсы сапасы мен нысанды дәл анықтау үшін дұрыс жарықтандыру өте маңызды. Қоршаған ортаны жарықтандыру жағдайлары мен объектілердің шағылысу қасиеттері сияқты факторларға байланысты қоршаған ортаны жарықтандыруды, жарықдиодты массивтерді немесе строб шамдарын қоса алғанда, жарықтандырудың әртүрлі әдістерін қолдануға болады;

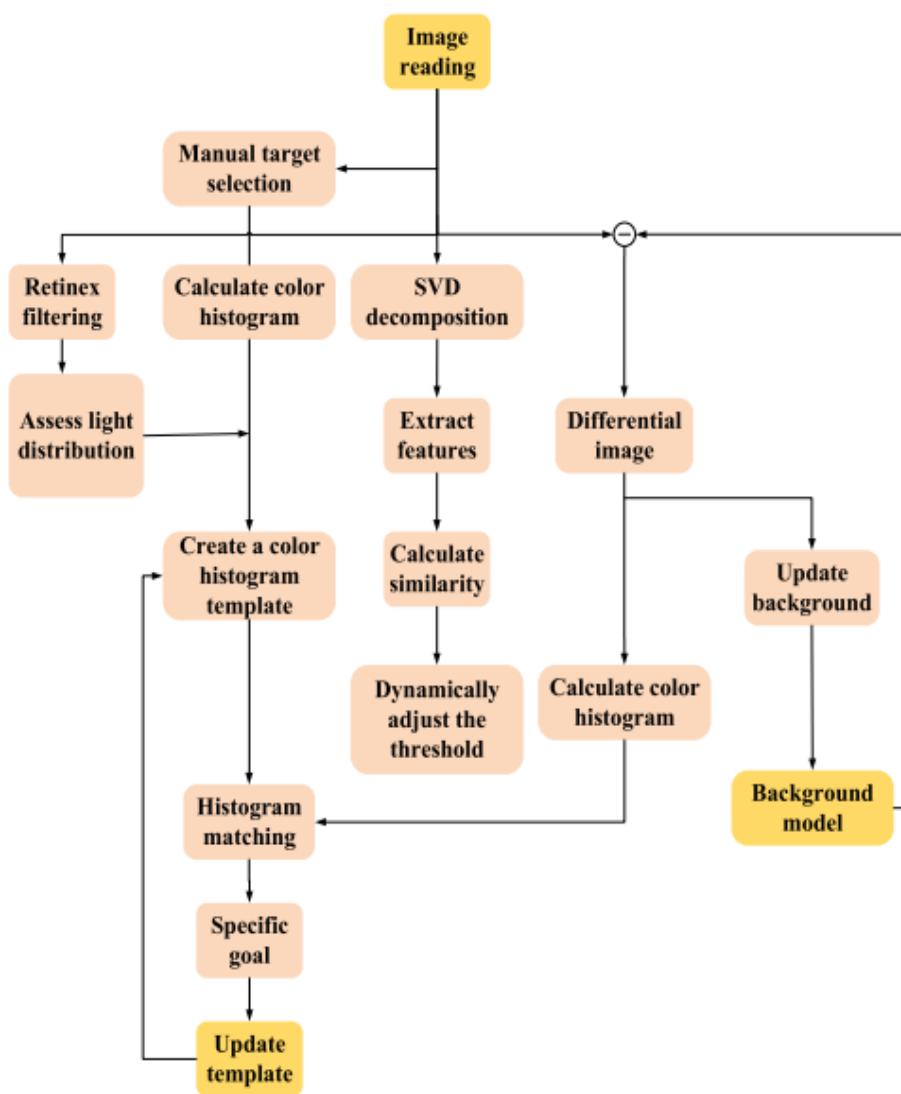
– *Кескінді өңдеу блогы*: бұл құрылғы оқиға орнындағы нысандар туралы тиісті ақпаратты алу үшін камера түсірген кескіндерді өңдейді. Кескінді өңдеу әдістеріне шуды азайту, кескінді жақсарту, сегменттеу (нысандарды фоннан бөлу үшін), мүмкіндіктерді шығару және үлгіні тану кіруі мүмкін;

– *Объектілерді анықтау және қадағалау алгоритмі*: Объектілерді анықтау алгоритмдері кескіндер немесе бейне кадрлар ішіндегі объектілерді анықтайды және анықтайды. Бұл алгоритмдер күрделі сценарийлер үшін үлгілерді сәйкестендіру, жиектерді анықтау, контурларды анықтау немесе конволюциялық нейрондық желілер (MASK-R-CNN) сияқты машиналық оқытуға негізделген тәсілдер сияқты әдістерді пайдалана алады. Объектілер анықталғаннан кейін бақылау алгоритмдері траекторияны бақылауды қамтамасыз ете отырып, объектілердің бірізді кадрлардағы орындарын болжайды және жаңартады;

– *Траекторияны талдау және болжау*: объектілердің болашақ позициялары мен траекторияларын болжау үшін уақыт бойынша қозғалыс заңдылықтарын талдайды. Бұл алгоритмдер объектінің жылдамдығын, үдеуін және қозғалыс бағытын бағалау үшін Кальман сүзгілері, бөлшектер сүзгілері немесе оптикалық ағынды талдау сияқты әдістерді қолдана алады;

– Кері байланыс және басқару жүйесі: көру жүйесінен алынған траектория туралы ақпаратты нақты уақыт режимінде шешім қабылдау немесе түзету үшін басқару жүйесіне немесе роботтық платформаға кері байланыс беру үшін пайдалануға болады. Мысалы, роботты қолда траектория туралы ақпаратты қозғалатын заттармен дәл әрекеттесу үшін қолдың орналасуы мен бағытын реттеу үшін пайдалануға болады.

Осы компоненттерді біріктіру арқылы машиналық көру жүйесі робототехника, қадағалау, өнеркәсіптік автоматтандыру және автономды көліктерді қоса алғанда, әртүрлі қолданбалардағы объектілердің траекториясын тиімді анықтап, бақылай алады.



Сурет 3.5 - Объектілердің траекториясын анықтауға және бақылауға арналған машиналық көру схемасы

Зерттеу барысында объектілердің суреттерін түсіруге арналған, содан кейін бағдарламалық жасақтамамен өңделетін жоғары түс сезімталдығы бар камера қолданылды. Содан кейін алынған нысан деректері Raspberry Pi-ге

жіберілді. Raspberry Pi нысандарды анықтау үшін Python бағдарламалау тіліндегі сценарийлер мен OpenCV кітапханасы арқылы деректерді өңдеді. Осыдан кейін өңдеу нәтижелері Сериялық порт арқылы Arduino-ға жіберілді. Arduino өз кезегінде алынған мәліметтер негізінде манипулятордың қозғалмалы механизмдерін жылжыту үшін қозғалтқыштарды басқарды. Raspberry Pi мен Arduino арасындағы сериялық байланыс екі құрылғының бір-бірімен өзара әрекеттесуіне мүмкіндік беретін екі бағытты деректерді беруді қамтамасыз етеді. Әдеттегі қондырғыда Arduino деректерді Raspberry Pi-ге жібере алады, сонымен қатар одан деректерді қабылдай алады және керісінше.

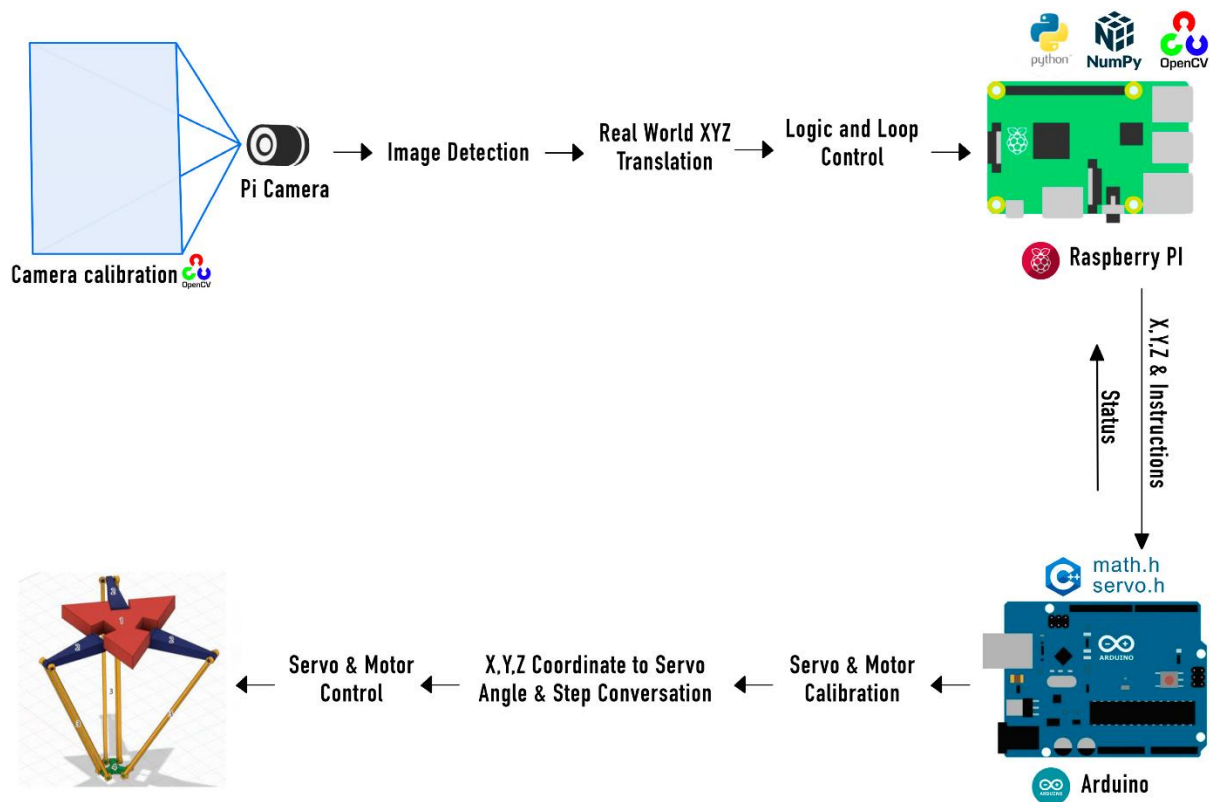
Raspberry Pi камерадан деректерді өңдейтін және барлық жұмыс жүйелерін басқаратын орталық аппараттық орган ретінде. Ол объектілерді іздеу үшін Python сценарийлері мен OpenCV кітапханасы арқылы кескіндерді талдайды. Сондай-ақ, камерадан суреттерді қабылдайтын, оларды объектілерді іздеу үшін өңдейтін және қалпына келтірілетін әрекеттерді анықтайтын деректерді өңдейді. Ол үшін Arduino-ға манипулятор қозғалтқыштарын кескінді өңдеу нәтижелері бойынша басқару үшін командалар жібереді.

Arduino Mega ПР-тың қозғалтқыштарын тікелей басқаруға жауапты. Ол Raspberry Pi-ден сериялық порт арқылы алады және берілген тапсырмаға сәйкес физикалық қозғалыс манипуляторын қамтамасыз етеді, сонымен қатар манипулятордың механикалық бөліктерімен, жетек қозғалтқышымен және қозғалмалы механизмдермен өзара әрекеттесуді тікелей қамтамасыз етеді.

Arduino сериялық порты арқылы Raspberry Pi командасы да, жүйенің уақыттың бірінші сәтіндегі өзгерістерге жауап беруіне мүмкіндік беретін манипулятордың күйі туралы кері ақпаратты жібере алады.

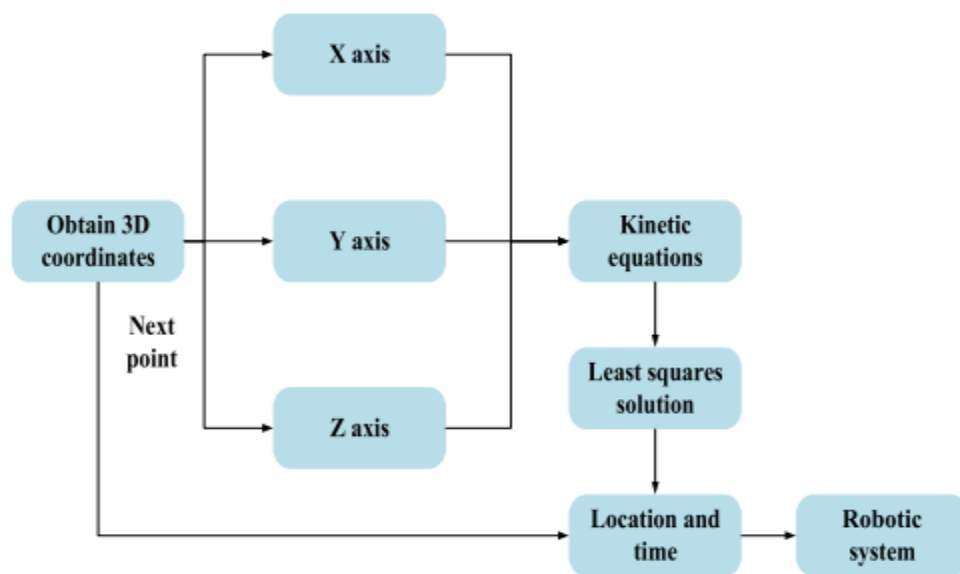
Бұл комбинацияда икемді және қуатты жүйе жасалады, онда Raspberry Pi кескінді талдаудың және ПР-тың логикалық жүйесін басқарудың күрделі мәселелерін шешеді, ал Arduino манипулятордың физикалық компоненттерін тікелей және тиімді басқаруды қамтамасыз етеді.





Сурет 3.6 - Машина мен машинаның өзара әрекеттесуінің блок-схемасы (M2M)

Жасанды көру жүйесін ПР-тың басқару жүйесімен біріктіру арқылы жүзеге асырылады машинааралық өзара әрекеттесу, ол әртүрлі жүйелер арасында деректерді бөлісуге және өңдеуге арналған Ethernet интерфейсі арқылы жүзеге асырылады.



Сурет 3.7 - Қозғалыс траекториясын болжауға арналған роботтық платформаның жұмыс схемасы

3.7 суретте ПР-тың позициясы мен бағытын (позициялық және бұрыштық позиция) басқару үшін ПИ-реттегіштерді қолдана отырып, ПР-ның манипуляторын басқару схемасын ұсынады. Суретте көрсетілген басқару схемасына сәйкес негізгі компоненттер және олардың өзара әрекеттесуіне тоқталсақ:

- Inverse Kinematics Model (кері кинематика моделі) роботтың орны мен бағыты туралы сенсорлардан деректерді алады, берілген позиция мен бағытқа жету үшін кадамдық қозғалтқыштар үшін қажетті бұрыштарды есептейді;

- Stepper Motors (кадамдық қозғалтқыштар) манипуляторды кері кинематика моделінің есептелген бұрыштарына сәйкес басқарады;

- Robot Pose (Робот позициясы) манипулятордың қазіргі жағдайы мен бағытын көрсетеді;

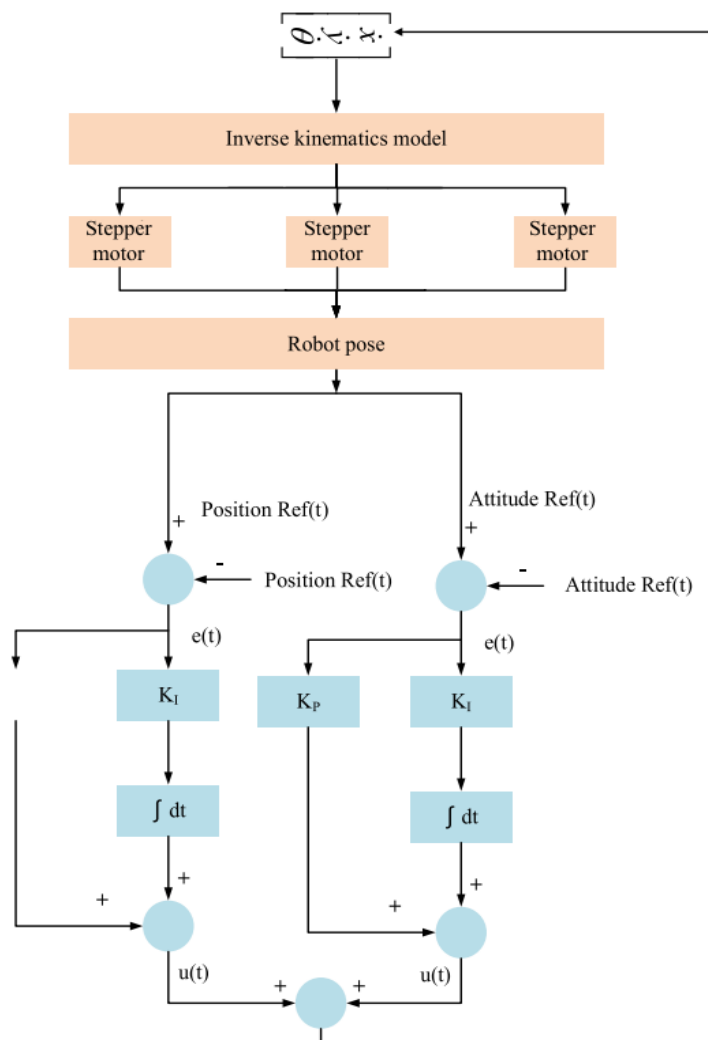
- Position Ref ( $t$ ) (берілген позиция) және Attitude Ref ( $t$ ) (берілген бағдар) қол жеткізілетін манипулятордың орны мен бағыты үшін берілген мәндерді анықтайды;

- Қате сигналдар ( $et$ ) (қате сигналдары) берілген мәндер (position Ref ( $T$ ) және Attitude Ref ( $t$ )) мен манипулятордың ағымдағы позициясы мен бағдар мәндері арасындағы айырмашылықты анықтайды;

- Пропорционалды PI (ағымдағы қатені жауап береді), интегралды (уақыт бойынша жинақталған қателерді ескереді, бұл тұрақты қателерді жоюға көмектеседі) компоненттерінен тұратын PI реттегіштері басқару сигналдарын ( $u(t)$ ) шығарады, бұл қате деңгейін реттейді;

- Басқару сигналдары қателерді азайту және белгіленген позиция мен бағдар мәндеріне жету үшін кадамдық қозғалтқыштардың жұмысын реттейтін PI реттегіштерінің шығысы болып табылады.

PI реттеу роботтарды басқарудың қуатты әдісі болғанымен, уақыт өте келе Ref ( $t$ ) тапсырмасын өзгерту қиынға соғуы мүмкін, әсіресе өзгерістер тез немесе болжау мүмкін болмаса. Басқару жүйесін жақсарту үшін дифференциалды компонент қосу немесе адаптивті және болжамды басқару әдістерін қолдану қажет болуы мүмкін. Сондай-ақ, манипуляторды басқарудың дәлдігі кері кинематика моделінің дұрыстығына байланысты, яғни модельдегі кез-келген дәлсіздіктер манипулятордың позициясы мен бағытындағы қателіктерге әкелуі мүмкін. Осы проблемаларды болдырмау үшін зерттеуде PI реттегіштері тұрақты жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін манипулятордың нақты жұмыс жағдайлары үшін жоғары дәлдікпен реттеледі және оңтайландырылады.



Сурет 3.8 - ПР-тың басқару моделінің жұмыс схемасы

Ұсынылған құрылым M2M протоколдарын қолдана отырып, жасанды көру жүйесін теңшеу жоғары дәлдіктегі ПР-тың құрылғылары арасында құрылымды және тиімді ақпарат беруді қамтамасыз етеді. объектілерді анықтау және анықталған мақсатқа шоғырланған позициялау.

### 3.3 Тарау бойынша қорытынды

Қорытындылай келе, SolidWorks бағдарламалық кешенінде үш дәрежелі қозғалғыштығы бар ПР-ның дамуы озық дизайн, модельдеу және прототиптеу технологияларының тиімді интеграциясын көрсетті. SolidWorks роботтың жұмысын визуализациялауға және оның тиімділігін тексеруге арналған сенімді платформаны ұсынды.

Құрастыру және механикалық жобалау процесі рамалық элементтерді модельдеуге арналған Flying Bear Ghost 4S принтері мен FreeCAD көмегімен 3D басып шығару әдістерін қамтыды. Бұл тәсіл прототипті тез құруға және роботтың өлшемдерін оңтайландыруға мүмкіндік берді. ПР-тың электрониканың құрастыруда Nema17 қадамдық қозғалтқыштарын, басқару

тақталарын, Raspberry Pi 4 және MKS SBASE басқару тақтасы басқаратын драйверлер мен сенсорларды біріктіруді қамтыды. Smoothie бағдарламалық жасақтамасын және «Rotary Delta» конфигурация файлы пайдалану сызықты емес ПР-ның біркелкі жұмыс істеуіне ықпал етті.

Сонымен қатар, CN және DN модельдерін, атап айтқанда MASK-R-CNN-ді қолдана отырып, жасанды мақсатты жүйені енгізу кескінді талдау мен объектілерді анықтаудың күрделі тәсілін қамтамасыз етті. Бұл жүйе роботтың нақты уақыттағы кескіндерді өңдеу және траекторияны бақылау үшін машиналық оқытуды қолдана отырып, тапсырмаларды жоғары дәлдікпен және тиімділікпен орындау қабілетін арттырды.

Тұтастай алғанда, жоба әмбебап және тиімді ПР-ты жасау үшін жетілдірілген CAD құралдары, 3D басып шығару, электрониканы біріктіру және машиналық оқыту арасындағы синергияны көрсетеді.

ПР-дағы нысандарды тануға арналған адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN алгоритмін енгізу машиналық көру қабілетін жақсартуға сенімді тәсілді көрсетеді. Іріктеп іздеу алгоритмін қолдана отырып, жүйе түс, құрылым, өлшем және пішін негізінде объектілерді одан әрі анықтау үшін суреттердегі әлеуетті аймақтарды тиімді анықтайды. Yolo технологиясының интеграциясы (You Only Look Once), атап айтқанда YOLOv8-дің жетілдірілген нұсқасы, нақты уақыт режимінде объектілерді анықтауға және орналастыруға мүмкіндік беретін жүйенің дәлдігі мен жылдамдығын одан әрі жақсартады.

Зерттеу жасанды көру жүйесін машинааралық байланыс протоколымен (M2M) біріктірудің маңызды артықшылықтарын көрсетеді. Бұл комбинация үш өлшемді кеңістікте ПР-ның навигациясы мен тапсырмаларын орындауды жеңілдететін әртүрлі құрамдас бөліктер мен жүйелер арасындағы деректерді тиімді тасымалдауды және үйлестіруді қамтамасыз етеді. M2M протоколы таратылған басқару жүйесін жақсартады, бұл роботқа нақты уақыт режимінде үлкен деректер жиынтығын жылдам және дәл өңдеуге мүмкіндік береді.

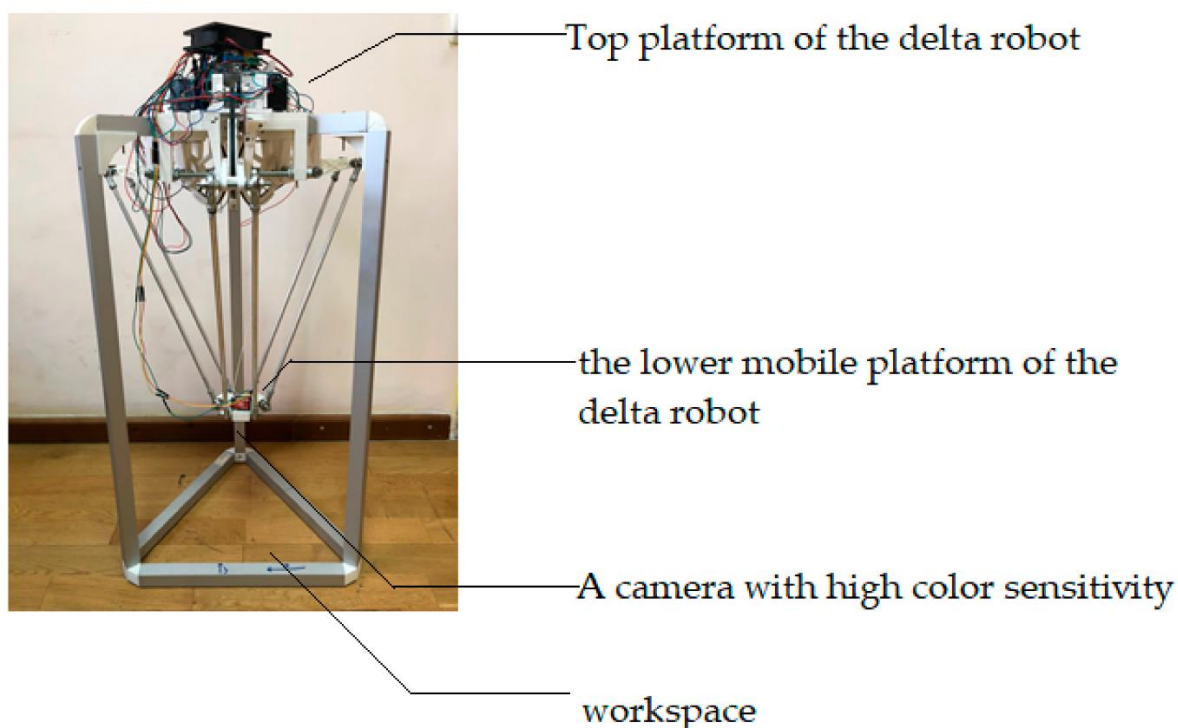
Қадам контроллері, кодерлер, қадамдық қозғалтқыштар және негізгі контроллер сияқты негізгі компоненттерді қамтитын жүйенің архитектурасы ПР-ның қозғалысы үшін дәл басқару мен кері байланысты қамтамасыз етеді. Түс сезімталдығы жоғары камераны, кескінді өңдеу блогын және нысанды анықтау алгоритмдерін біріктіру нысан траекторияларын анықтау және қадағалау үшін кешенді машиналық көру жүйесін қамтамасыз етеді. Орталық өңдеуге арналған Raspberry Pi және қозғалтқышты басқаруға арналған Arduino бар бұл қондырғы нақты уақыттағы роботтық операциялар үшін икемді және тиімді жүйені жасайды.

Тұтастай алғанда, жетілдірілген машиналық көру алгоритмдері мен M2M байланыс протоколдарын біріктіру ПР-ның функционалдығын айтарлықтай кеңейтеді, бұл оған күрделі тапсырмаларды жоғары дәлдікпен және жылдамдықпен орындауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу динамикалық ортаға бейімделуге және күрделі операцияларды автономды түрде орындауға қабілетті күрделі роботтық жүйелерді әзірлеу үшін терең оқытуды, компьютерлік көруді және машинааралық байланысты біріктіру әлеуетін көрсетеді.

## 4. M2M АРҚЫЛЫ БАСҚАРЫЛАТЫН ПАРАЛЛЕЛЬ РОБОТТЫ ЖАСАНДЫ ОРТАДА СЫНАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

### 4.1 Параллель Роботтың басқару жүйесінің прототипі

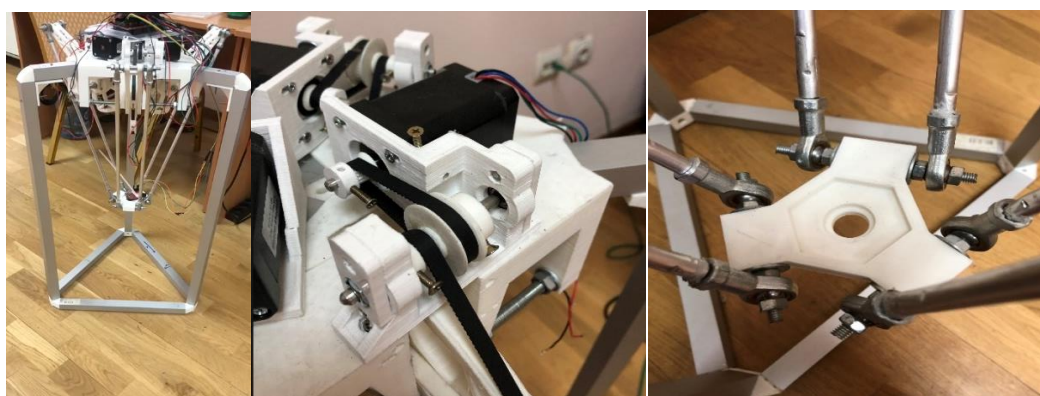
Жиналған толық функционалды ПР-тың позициялау тапсырмаларында және манипуляция жылдамдығы мен объектілерді анықтау дәлдігі маңызды бөлшектерді сұрыптау, құрастыру процестерінде қолдануға болады. Ол үшін әртүрлі жүйелер мен компоненттерді біріктіруді қажет ететін өте күрделі тапсырма болып табылатын ПР-қа арналған жасанды көру жүйесі жасалды. 4.1 суретте ПР-тың бастапқы орны сипатталған.



Сурет 4.1 - Параллель роботтың бастапқы орны.

Жалпы эксперименттік қондырғы келесі компоненттерден тұрады негізгі және қосалқы құрылғылар:

- Nema 17 үш қадамдық қозғалтқышы (42HS60-1504-001);
- MKS SBase V1.3 басқару тақталары;
- DRV8825 қадамдық драйверлері;
- Endstop механикалық қосқышы;
- Wi-Fi модулі бар MKS TFT35 V1.0 сенсорлық дисплейі.

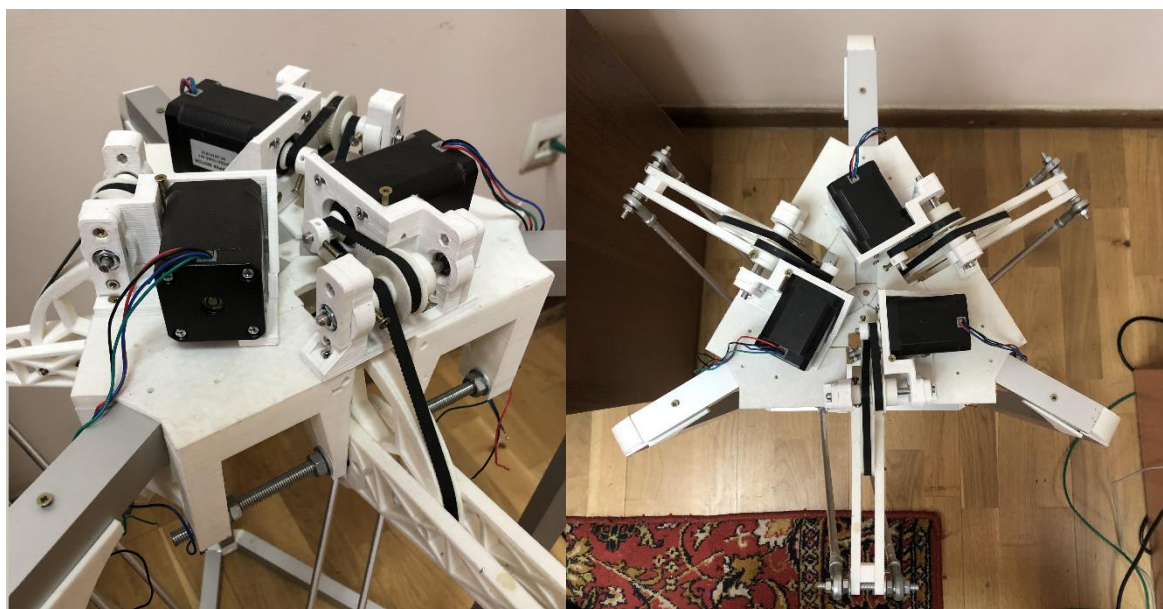


а) Жоғарғы және төменгі платформа элементтері с) беріліс жүйесін қолдауға арналған жоғарғы платформаның «жоғарғы ұстағыш» элементі б) төменгі ПР платформасының «арба» элементі

а) Жоғарғы және төменгі платформа элементтері с) беріліс жүйесін қолдауға арналған жоғарғы платформаның «жоғарғы ұстағыш» элементі б) төменгі ПР платформасының «арба» элементі

Сурет 4.2 - ПР-тың механикалық дизайны

4.3 суретте көрсетілген ПР-тың жоғарғы бөлігі болат кронштейнге орнатылған 42HS60-1504-001 маркалы Nema 17 типті қадамдық қозғалтқыштар сияқты басқа жұмыс элементтері бекітілген жалпақ платформа. Бұл кронштейн оған бұрғыланған тесіктердің көмегімен бекітілген тақтаға бекітіледі.



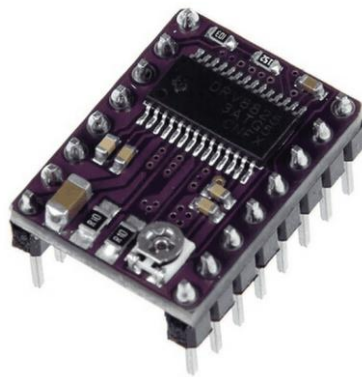
Сурет 4.3 - Параллель Роботтың жоғарғы платформасы

Түс сезімталдығы жоғары камера ПР-тың төменгі бетінде орналасқан нысанды суретке түсіру немесе бейне түсіру үшін Raspberry Pi кабелімен жалғанған жылжымалы пластинада орналасқан.

Бұл жағдайда Raspberry Pi 4 (Model B) жылжымалы платформада орналасқан түс сезімталдығы жоғары камерадан алынған деректерді өңдеу үшін орталықтандырылған контроллер және процессор рөлін атқарады.

Raspberry Pi осы камерада кабель арқылы орналасқан және камерадан деректерді анықтау, қабылдау және өңдеу функцияларын кеңейту үшін қолданылады. Алынған деректерді талдағаннан кейін, Raspberry Pi әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін оның қозғалысы мен орналасуын реттей отырып, ПР-тың қозғалтқыштарына пәрмен береді. Сондай-ақ, Raspberry Pi бұл жүйеде деректерді сақтау мен талдауды ескере отырып, іс-әрекеттерді үйлестіру және күрделі мәселелерді шешу мақсатында ПР жүйесінің басқа компоненттерімен өзара әрекеттесуге ықпал етеді.

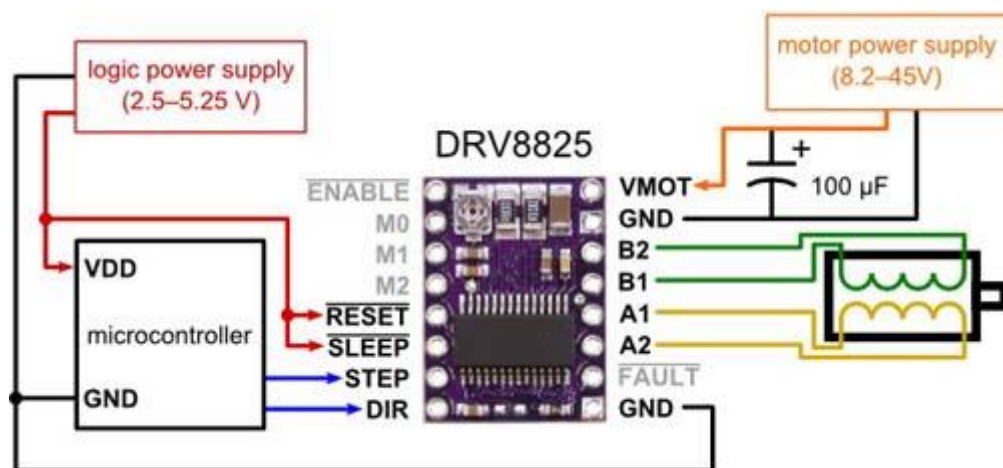
4.4 сурет де ұсынылған DRV8825 типті қадамдық драйверлер де қолданылады. Бұл типтегі драйвер - бұл бұрылу бұрышы, қозғалыс бағыты сияқты ПР-ның қадамдық қозғалтқышының жұмыс режимдерін орнататын құрылғы.



Сурет 4.4 - DRV8825 типті драйвер

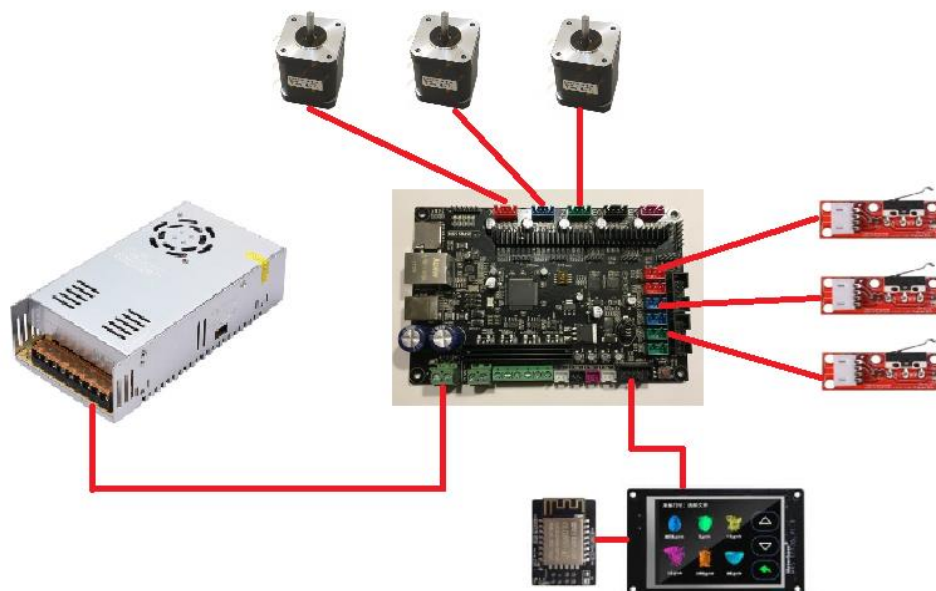
Қадамдық қозғалтқыш пен басқару тақтасының DRV8825 типті драйверге қосылу схемасы 4.5 суретте берілген. Бұл жағдайда қозғалтқыштың дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін фазалық сымдарды дұрыс қосу сәйкестігін сақтау қажет. Бұл қадамдық қозғалтқыштың фазалық сымы үшін DRV8825 драйверіндегі A1, A2, B1 және B2 шығыстарына қосылу керек. Әрі қарай, қадамдық қозғалтқыштың қуат сымы DRV8825 драйверіндегі VMOT және GND қуат қысқыштарына қосылады. Қадамды басқару сымдары (STEP) және бағыт (DIR) MC BASE V1.3 басқару тақтасындағы тиісті порттарға қосылады. Сондай-ақ, қуат сымдары (VCC, GND) басқару тақтасына қосылады, ал кіріс сигналының (EN) сымдары DRV8825 драйверіне қосылады, содан кейін басқару тақтасы қуат көзіне қосылады.

Осыдан кейін M KS BASE V1.3 басқару тақтасында қозғалтқышты басқару бағдарламасы іске қосылады.



Сурет 4.5 - DRV8825 драйверін қосудың электрондық схемасы

Орнатудың барлық компоненттерін басқару үшін кадамдық қозғалтқыштардың қозғалыс параметрлерін реттеуге, роботтың орналасуын басқаруға, сондай-ақ сенсорлық дисплей арқылы оның жұмысын бақылауға мүмкіндік беретін арнайы бағдарламалық жасақтама қолданылады. Бұл ПР-тың компоненттерін 4.6 суретте көрсетілген электрондық схемаға дұрыс қосу арқылы қамтамасыз етіледі.



Сурет 4.6 - ПР-тың компоненттерін қосудың электрондық схемасы

MKS sbase басқару тақтасы «Rotary delta» конфигурациялық файлын қолдана отырып, Smoothie бағдарламалық жасақтамасын қолданады, оны орнатудың басталуы 4.7 суретте көрсетілген. Ол сызықты емес ПР-пен жұмыс істеуге арналған.



```

# NOTE Lines must not exceed 132 characters
# Robot module configurations : general handling of movement G-codes and slicing into moves
default_feed_rate          4000          # Default rate ( mm/minute ) for G1/G2/G3 moves
default_seek_rate          4000          # Default rate ( mm/minute ) for G0 moves
mm_per_arc_segment         0.0           # Fixed length for line segments that divide arcs 0 to disable
mm_max_arc_error           0.01          # The maximum error for line segments that divide arcs 0 to disable
# note it is invalid for both the above be 0
# if both are used, will use largest segment length based on radius

#mm_per_line_segment       0.2           # Lines can be cut into segments ( not useful with cartesian
# coordinates robots ).
# for deltas only same as in Marlin/Delta, set to 0 to disable
# and use mm_per_line_segment

delta_segments_per_second  150           #

# Arm solution configuration : Rotatable Delta robot. Translates mm positions into stepper positions
arm_solution               rotary_delta  # selects the delta arm solution

delta_e                    125.000       # End effector length, triangle side length in mm
delta_f                    286.200       # Base length, triangle side length in mm
delta_re                   470.000       # Carbon rod length
delta_rf                   160.000       # Servo horn length

delta_z_offset             450.000       # Distance from big pulley shaft to table/bed
delta_ee_offs              7.500        # Ball joint plane to bottom of end effector surface
delta_tool_offset          20.000       # Distance between end effector ball joint plane and tip of tool (PnP)

delta_mirror_xy            false         # true for firepick

rotary_delta_calibration.enable true     # enable the calibration routines for rotary delta

```

Сурет 4.7 - «Rotary Delta» конфигурация файлы орнату.

## 4.2 M2M арқылы басқарылатын ПР эксперименттік зерттеу

Позициялау міндеттерінде робот үшін M2M негізіндегі жасанды көру жүйесінің өнімділігін объективті бағалау үшін эксперименттік зерттеу мақсатты анықтау процесіне әсер ететін ең маңызды параметрлерді ескере отырып, стандартталған жұмыс ортасына ең жақын өндірістік ортада жүргізілді. Бұған сыртқы факторлардың нәтижелерге әсерін болдырмау үшін орналастыру объектілерін жарықтандыру, фон, өлшем және орналастыру кіреді. Бөлменің жалпы ауданы 46 м<sup>2</sup>. Жоғарғы және төменгі платформалар арасындағы қашықтық 1 метр (100 см.).

Эксперименттер қалыпты температурада жүргізілді, ол шамамен 25°C. бұл, ең алдымен, стандартты жағдайларда жүйенің негізгі өнімділігін бағалауға мүмкіндік берді.

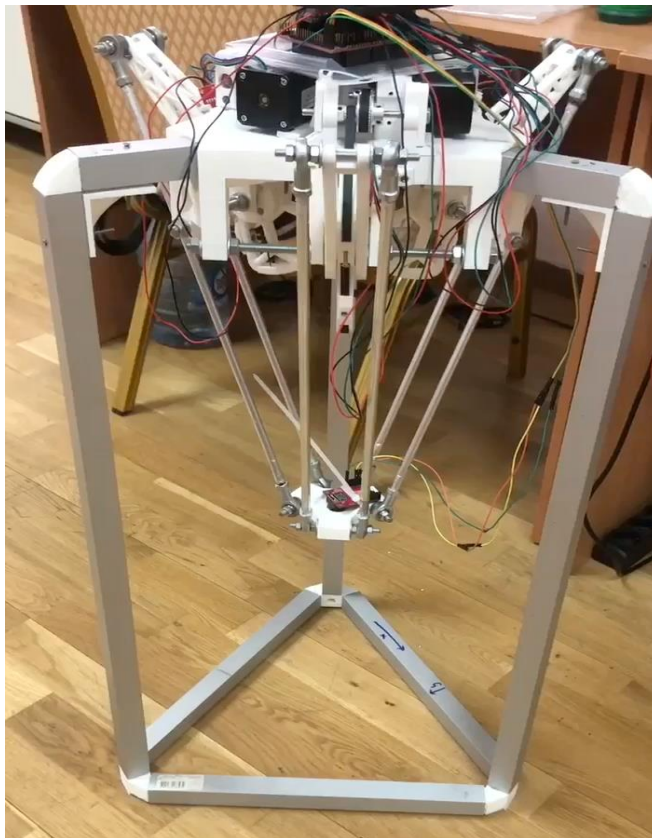
Позициялау тапсырмаларында робот манипуляторына арналған машиналық оқытуға негізделген жасанды көру жүйесімен (M2M) эксперимент жүргізу үшін жарықтың әртүрлі деңгейлерін, соның ішінде стандартты күндізгі жарықтандыруды, жасанды жарықтандыруды және аз жарық пен көлеңке жағдайларын қарастыру маңызды.

Стандартты күндізгі жарық - 5000 люкс. Мұндай жарықтандыру объектілерді дәл тану үшін маңызды болып табылатын жақсы көріну мен контрастты қамтамасыз етеді.

Жасанды жарықтандыру - 2000 люкс. Жасанды жарықтандыру беттер мен нысандарды біркелкі жарықтандыру үшін қолданылады.

Төмен жарық пен көлеңке - 1500 люкс. Мұндай жағдайларда жарықтандыру объектілерді анық көру үшін жеткіліксіз, бұл тану және орналасу мәселелеріне әкелуі мүмкін.

Экспериментті жоспарлау кезінде жарықтандырудың әрбір түрі жасанды көру жүйесі алатын кескіндердің сапасына және манипулятордың нысандарды дәл орналастыру қабілетіне әсер етуі мүмкін екенін ескеру маңызды.



Сурет 4.8 - Прототипің жасанды көру жүйесінің дайындығы экспериментке

ПР-қа арналған жасанды көру жүйесі келесі тапсырмаларды орындауы керек:

- объектілерді анықтау және сәйкестендіру, қарастырылып отырған кеңістіктегі аймақтарды бөлу;

- ПР манипуляторын кеңістікте орналастыру, қозғалыс траекториясын жоспарлау, сондай-ақ объектілермен өзара әрекеттесу. Тапсырманың бірінші кезеңін жүзеге асыру үшін ПР-ның прототипі үшін жасанды көру жүйесі жасалды. Сонымен қатар, объектілерді анықтау мақсатында қозғалыс траекторияларын орналастыру және анықтау үшін машинааралық байланыс хаттамасымен өзара іс-қимыл қолданылды.

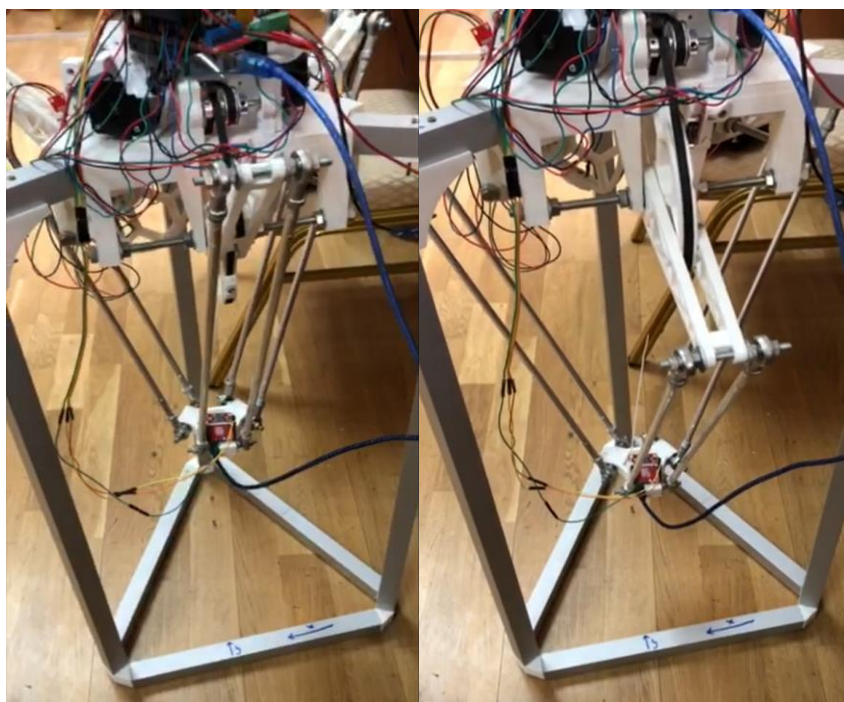
Зерттеудің бағдарламалық бөлігі C++ және Python бағдарламалау тілдерінің бірлескен тіркесімін қолдану арқылы жүзеге асырылды. ПР тікелей және кері кинематикасының координаттарын енгізу арқылы C++ бағдарламалау ортасына ПР-дың жұмыс алгоритмін сипаттайтын арнайы бағдарламалық код жазылады, ал Python бағдарламалау ортасында жасанды көру жүйесімен жұмыс істеуге арналған бағдарламалық код енгізілді. Объектіні

анықтау және тану әдістерін қолдана отырып, компьютерлік көру жүйесінің негізгі міндеттері шешілді, атап айтқанда:

- объектіні анықтау;
- оған назар аудару;
- және бақылау.

Сондай-ақ, осы ортада, Python, компьютерлік көру жүйесінің алгоритмінің негізгі параметрлері мен қасиеттері жазылды.

Эксперименттік зерттеуде ПР-ның жұмысының бірінші кезеңі үш өлшемді кеңістіктегі манипулятордың төменгі негізінің бастапқы координаттарын анықтау болып табылады. 4.3 (b) суреті негізгі компоненттерді жұмыс күйіне қосқаннан кейін, ПР-дың төменгі базаның бастапқы координаттарын анықтау үшін өз орнын өзгертеді және объектіні манипулятордың көрінетін көрінісіне бағыттау үшін күту режиміне ауысады.



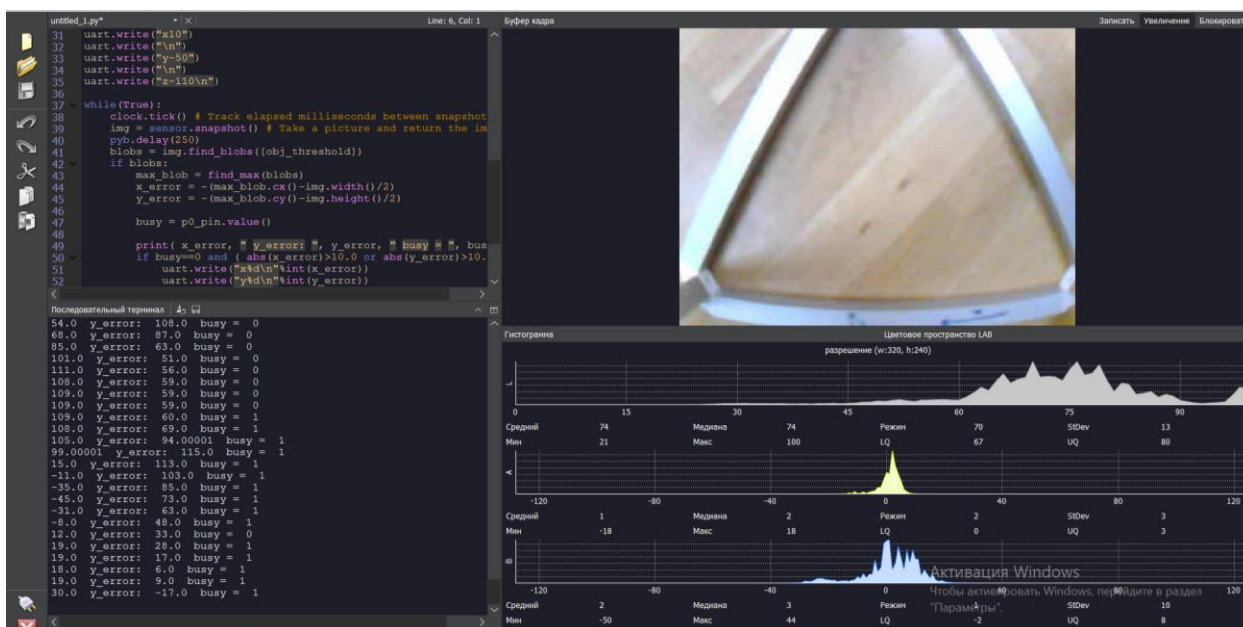
a)

b)

a) ПР-дың бастапқы позициясы b) төменгі базаның бастапқы координаттарын анықтағаннан кейін күту режиміндегі позиция

Сурет 4.3 – ПР-ның манипуляторының жұмыс орны

ПР-ның көру объектілері анықталып, сегменттелгеннен кейін объектілерді түсі бойынша сүзу үшін LAB түс кеңістігін тану әдістерін қолдануға болады, бұл үшін эксперименттік зерттеуде позицияны камера жақтауынан ПР-ның жақтауына LAB түс кеңістігіне түрлендіру жүзеге асырылады. MASK-R-N алгоритмінің тіркесімімен LAB түс кеңістігін тану әдісін қолдану кескіндердегі объектілерді анықтаудың дәлдігі мен тиімділігін жақсартады, әсіресе түс оларды анықтау немесе жіктеу үшін маңызды белгі болған кезде.



Сурет 4.4 - төменгі базаның бастапқы координаттарын анықтау процесін жүзеге асырған кезде Python бағдарламалық жасақтамасының интерфейсі

Арнайы бағдарламалық коды бар бұл бағдарламалық қамтамасыз ету (БҚ) нақты уақыт режимінде «кадр буфері» блогының болуы есебінен, нақты уақыт режимінде динамикалық бейне ағындарын одан әрі тарата отырып, компьютерлік көру жүйесінің тиімді жұмысын іске асыруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, бұл бағдарламалық жасақтамада уақыт бойынша динамикалық өзгеретін параметрлік графиктерді қамтитын «Гистограмма» блогы бар. Интерфейсте көрсетілген графиктер объектілер анықталған кезде түс кеңістігінің мәндерін анықтайды. Түс кеңістігінің мәндері LAB әдісімен зерттелетін объект параметрлерінің қасиеттерін анықтайды және анықтайды.

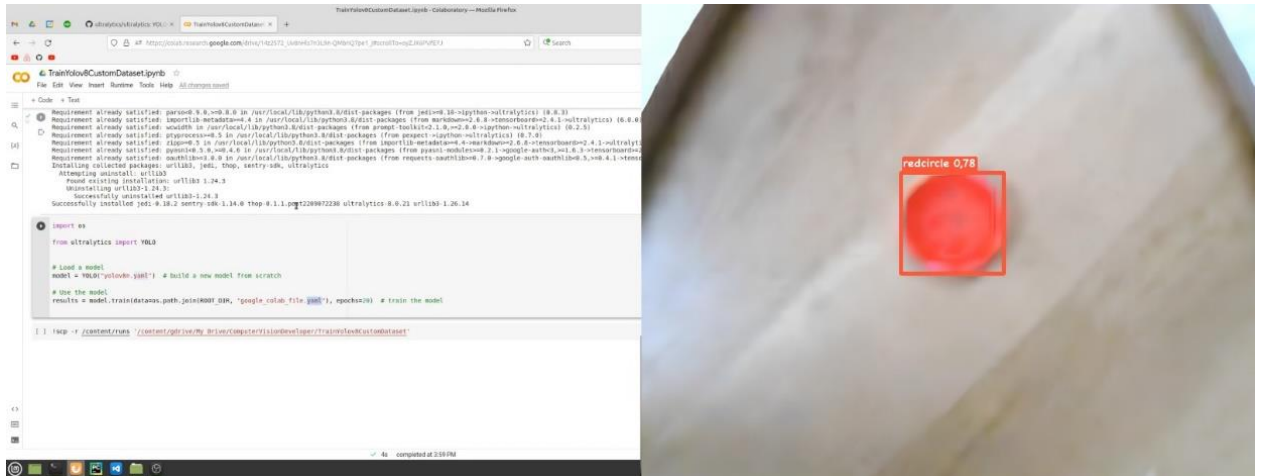
### 4.3 Нәтижелер мен объектілерді анықтау модельдерін талдау

4.5 суретте ұсынылған бағдарламалық интерфейс 20 терминалдан тұрады код (объектіні анықтау және тану үшін код алгоритмі), сериялық терминал (Шығыс параметрлері мен нәтижелерін оқу), кадр буфері (динамикалық бейне ағыны, 1FPS) және гистограммалар. Эксперименттік зерттеуде LAB түс кеңістігінде Жарық мәні тон мен түс қанықтылығының мәндерінен бөлінген. Бұл жағдайда жеңілдік L координатасымен беріледі, ол 0-ден 100-ге дейінгі шкала бойынша өзгереді, яғни ең қараңғы деңгейден ең ашық тонға дейін, хроматикалық компонент екі декарттық A және B координаттарын қолдану арқылы қалыптасады. көк түстен сарыға дейінгі диапазон.

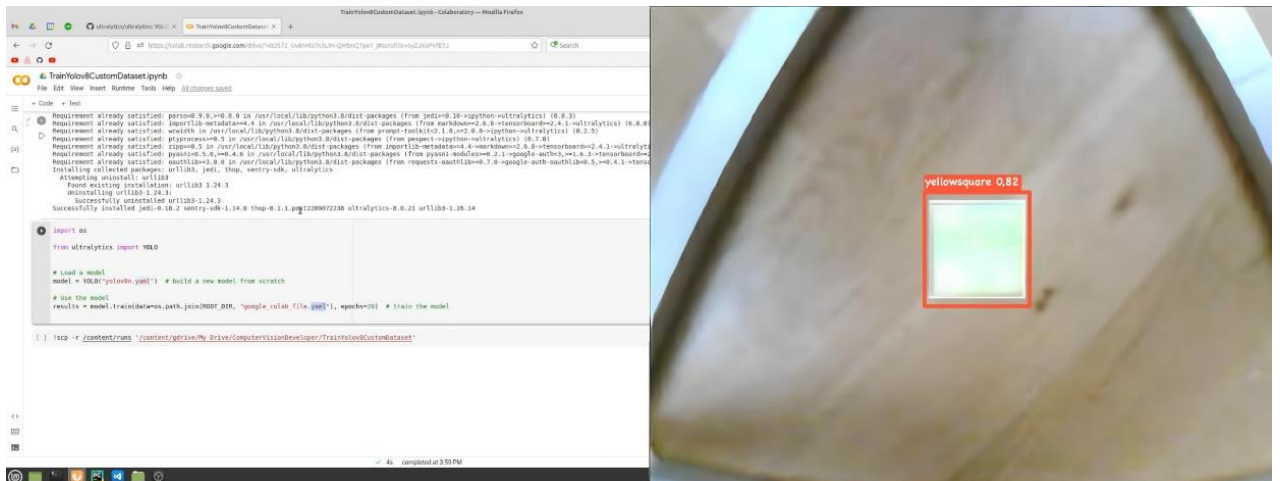
Қағазда немесе монитор экранында түстерді ойнатуға арналған аппараттық мәліметтер жиынтығы болып табылатын әр түрлі камералардың түс кеңістігінен айырмашылығы (түс баспа машинасының түріне, бояу маркасына, цехтағы ауаның ылғалдылығына немесе монитор өндірушісіне және оның параметрлеріне байланысты болуы мүмкін), LAB негізіндегі ПР

жақтауы түс кеңістігін жоғары дәлдікпен анықтайды. Сондықтан LAB кескінді өңдеуге арналған бағдарламалық жасақтамада аралық түс кеңістігі ретінде кеңінен қолданылады, ол арқылы басқа түс кеңістіктері арасында деректер түрлендіріледі (мысалы, RGB сканерінен CMYK-ке дейін). Сонымен қатар, зертхананың ерекше қасиеттері осы кеңістіктегі өңдеуді түстерді түзетудің қуатты құралына айналдырды.

Әрі қарай, M2M-мен жасанды көру жүйесінің жұмысын зерттеу үшін объектіні анықтау және позициялау бойынша эксперименттер жүргізілді. зерттеудің эксперименттік бөлігін жүзеге асыру барысында RGB және YOLOv8 адаптивті моделімен MASK-R-CNN алгоритмінің архитектурасын қолданудың салыстырмалы талдауы алынды.



Сурет 4.5 - YOLOv8 архитектурасын қолдана отырып, түс, пішін – «қызыл, шеңбер» параметрлері бар объектінің үстінен анықтау және орталықтандырылған фокустау процестері бойынша интерфейс



Сурет 4.6 - YOLOv8 архитектурасын қолдана отырып, түс, пішін – «жасыл, шаршы» параметрлері бар нысанды анықтау және орталықтандыру

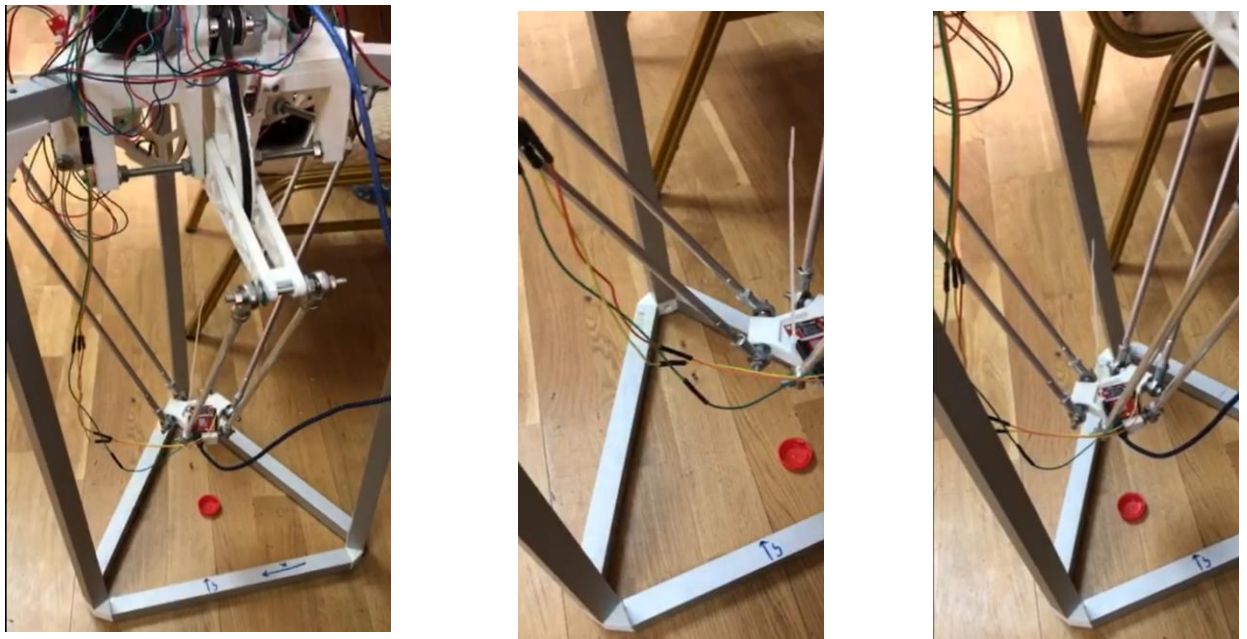
YOLOv8 көмегімен MASK-R-CNN моделін оқыту нәтижесінде эксперименттік зерттеудің сынақ үлгісінде келесі нәтижелер алынды, бұл MASK-R-CNN моделінің YOLOv8-мен ПР-ты орналастыру үшін объектілерді анықтау саласындағы әлеуетін растайды, бірақ кеңірек қолдану үшін оның өнімділігін жақсарту үшін қосымша жұмыс қажет нақты жағдайда.

Нәтижелер YOLOv8 көмегімен MASK-R-CNN моделі «қызыл, шеңбер» және «жасыл, шаршы» нысандарын тануда өте сәтті жұмыс істейтінін көрсетеді. Тану дәлдігі 80% - ға жақын, бұл жақсы нәтиже. Нысанды анықтау уақыты нақты уақыт режимінде пайдалану үшін өте қолайлы.

YOLOv8 моделінің (және YOLO-ның алдыңғы нұсқасының) негізгі кемшіліктерінің бірі жарықтық пен түс жарықтандыруының өзгеруіне сезімталдық. Себебі YOLOv8, конволюциялық нейрондық желілерге (CNN) негізделген басқа модельдер сияқты, модель қолданылатын осы жағдайлардан өзгеше болуы мүмкін статикалық кескіндерде оқытылады. Нәтижесінде, жарықтың немесе түрлі-түсті фонның дұрыс емес деңгейінде модель объектілерді анықтау дәлдігін айтарлықтай төмендетуі мүмкін.

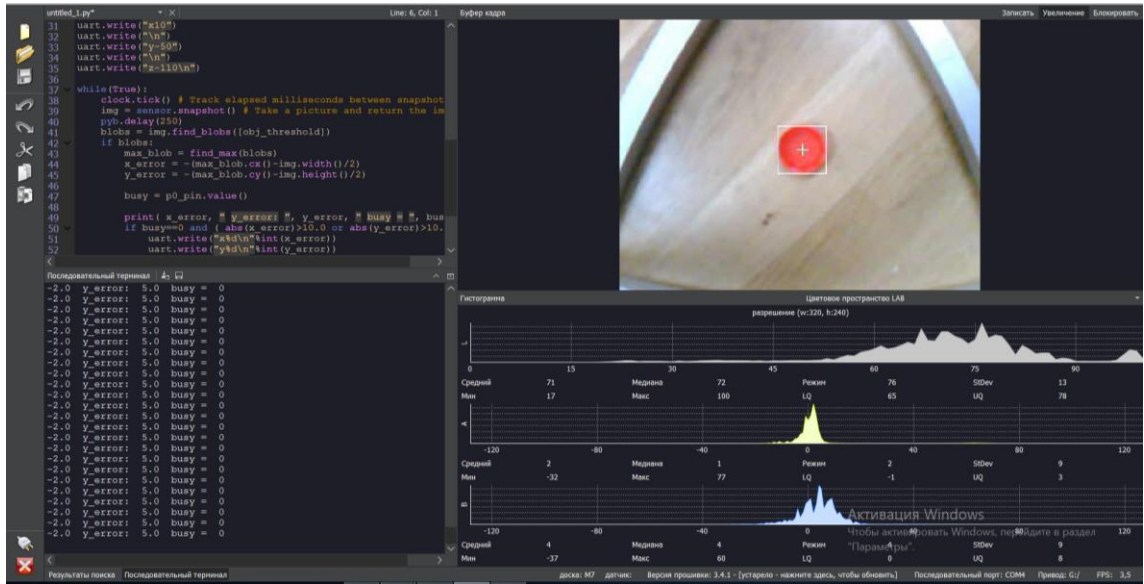
Модельді одан әрі жетілдіруге оқыту үшін көбірек деректер қосу, модель архитектурасын жақсарту немесе объектілерді анықтаудың дәлдігі мен жылдамдығын жақсартудың басқа әдістерін қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN алгоритмінің архитектурасын қолдану нәтижелері 4.7 суретте келтірілген. 21,22 және 23, мұнда тануға арналған объект диаметрі 41 мм (қызыл, шеңбер) және жасыл түсті шаршы 48 мм<sup>2</sup> (жасыл, шаршы) қызыл түсті дөңгелек пішін болып табылады.

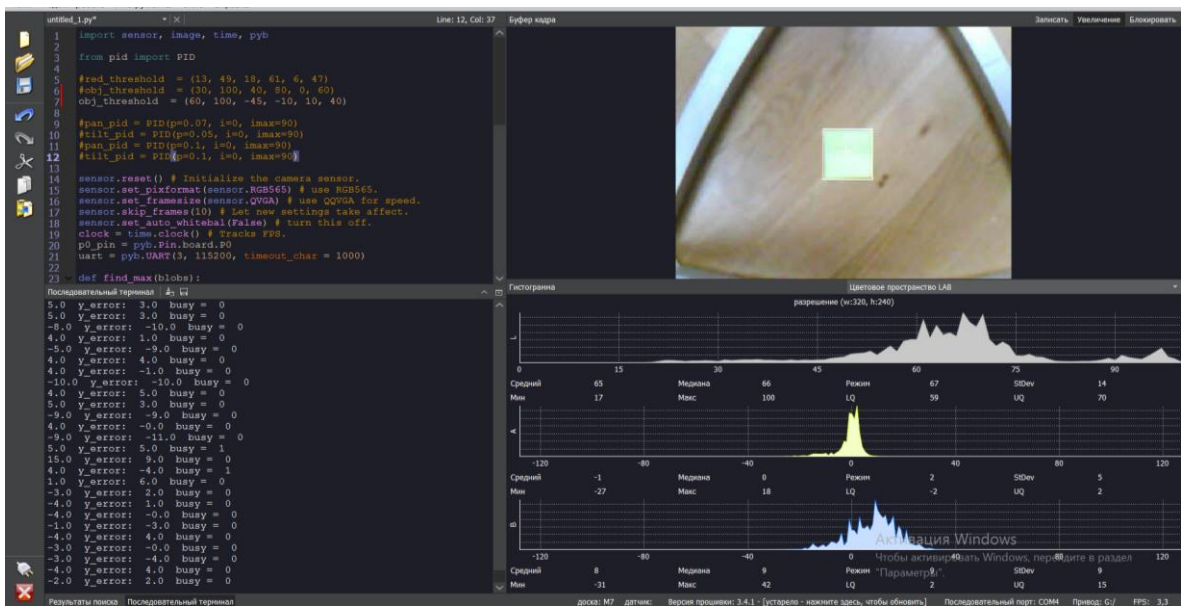


Сурет 4.7 - Тану объектісінің орналасуының өзгеруіне байланысты ПР орналастыру

4.8 суретте түс кеңістігіндегі түсті анықтау сипатының арқасында LAB бастапқы кескінді қолдана отырып, кескіннің жарықтығына, контрастына және оның түсіне бөлек әсер етуге мүмкіндік берді. Экспериментте бұл мақсатты одан әрі анықтау үшін кескінді өңдеуді жеделдетуге мүмкіндік берді және объектінің орналасқан жерінің өзгеруіне байланысты манипулятордың орнын өзгерту процесін жеделдетуге мүмкіндік берді..



Сурет 4.8 - RGB адаптивті моделі бар MASK - R-CNN алгоритмінің архитектурасын қолдана отырып, түс, пішін – «қызыл, шеңбер» параметрлері бар объектінің үстінен анықтау және орталықтандырылған фокустау процестері бойынша интерфейс



Сурет 4.9 - RGB адаптивті моделі бар MASK- R-CNN алгоритмінің архитектурасын қолдана отырып, түс, пішін – «жасыл, шаршы» параметрлері бар нысанды анықтау және орталықтандыру

RGB деректерін пайдаланатын бейімделген MASK-R-CNN моделі әртүрлі қолданбаларда пайдалану мүмкіндігіне ие, бірақ нақты уақыт режимінде қолайлы өнімділікті қамтамасыз ету үшін одан әрі оңтайландыру жұмысын қажет етеді.

Бұл экспериментте адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN моделі объектіні танудың жоғары дәлдігін көрсетеді.

Екі объект үшін де – «қызыл, шеңбер» және «жасыл, шаршы» - сәйкесінше 0,905 және 0,943 дәлдік көрсеткіштеріне қол жеткізілді. Бұл объектілерді тану кезінде бейімделген модельдің тиімділігін көрсетеді. Әр нысанды анықтауға кететін уақыт шамамен 2000 секундты құрады. Бұл өте ұзақ уақыт және оны жақсартуға болады және өңдеу уақытын азайту үшін модельді одан әрі оңтайландыруды қажет етеді.

Кесте 4.1 - Қалыпты қоршаған орта жағдайында MASK-R-N алгоритмінің модельдерін салыстыру (Температура 250 С, жарықтандыру 5000 Люкс)

Модель	Оқу дәуірлерінің саны	Сынақ үлгісіндегі тану дәлдігі		Объектіні анықтау уақыты, сек	
		Қызыл Шеңбер	Жасыл Шаршы	Қызыл Шеңбер	Жасыл Шаршы
YOLOv8	50	0,78	0,82	1,497	1,568
Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN	50	0,905	0,943	2,001	1,965

YOLOv8 моделінің негізгі кемшілігі олардың күрделілігіне және есептеу ресурстарының сыйымдылығына байланысты болуы мүмкін, бұл оларды ресурстары шектеулі құрылғыларда немесе ПР сияқты нақты уақыттағы деректерді өңдеудің жоғары жылдамдығын қажет ететін тапсырмаларда қолдануға жарамсыз етеді.манипулятор.

Эксперименттегі деректерді өңдеу кезеңі 1 с-тан аспады, бірақ Қолданылатын модульдер мен машинааралық байланыс хаттамаларының техникалық сипаттамаларына байланысты анықтау процесі 1-ден 2 с-қа дейін өзгерді.



Кесте 4.2 Қалыпты қоршаған орта жағдайында MASK-R-N алгоритмінің модельдерін салыстыру (Температура 250 С, Жарық 2000 люкс)

Модель	Оқу дәуірлерінің саны	Сынақ үлгісіндегі тану дәлдігі		Объектіні анықтау уақыты, сек	
		Қызыл Шеңбер	Жасыл Шаршы	Қызыл Шеңбер	Жасыл Шаршы
YOLOv8	50	0,658	0,745	2,001	2,743
Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN	50	0,81	0,800	2,404	2,750

Кесте 4.3 Қалыпты қоршаған орта жағдайында MASK-R-CNN алгоритмінің модельдерін салыстыру (Температура 250 С, Жарықтандыру 1500 люкс)

Модель	Оқу дәуірлерінің саны	Сынақ үлгісіндегі тану дәлдігі		Объектіні анықтау уақыты, сек	
		Қызыл Шеңбер	Жасыл Шаршы	Қызыл Шеңбер	Жасыл Шаршы
YOLOv8	50	0,59	0,709	2,5	2,890
Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN	50	0,705	0,763	2,7	2,98

Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN тану дәлдігі критерийі бойынша 2 және 3-кестеден алынған нәтижелерге сәйкес YOLOv8-мен салыстырғанда 2000 люкс және 1500 люкс жарықтандыруда жоғары тану дәлдігін қамтамасыз етеді.

Анықтау уақытының критерийі бойынша YOLOv8 дәлдігі төмен болғанына қарамастан, екі жарық жағдайында да объектілерді анықтаудың жылдам уақытына ие.

MASK-R-CNN мен YOLOv8 арасындағы таңдау тапсырманың басымдықтарына байланысты. Егер жоғары тану дәлдігі қажет болса, MASK-R-CNN таңдаулы таңдау болып табылады. Егер объектілерді анықтау жылдамдығы маңыздырақ болса, онда YOLOv8 жақсырақ.

MASK-R-CNN кескіндердегі нысандарды сегменттеу үшін жақсы жұмыс істейді және дәлдігі жоғары. Ол объектілердің шекаралары мен контурларын дәл анықтай алады, бұл объектілерді өте дәл тану қажет болатын мәселелерді шешуге пайдалы. Екінші жағынан, YOLOv8 өзінің жоғары жылдамдығымен танымал және суреттердегі нысандарды тез бөлектей алады. Ол объектілерді анықтау жылдамдығы маңызды болатын мәселелерді шешуге жақсы сәйкес келеді.

Осылайша, MASK-R-CNN мен YOLOv8 арасында шешім қабылдағанда, - ПР манипуляторы орындайтын тапсырма талаптарына сүйеніп, дәлдік пен жылдамдық критерийлерінің маңыздылығына басымдық беру керек.

Адаптивті RGB моделі бар MASK-R-CNN алгоритмінің архитектурасын қолдануға негізделген LAB әдісін қолдану зерттелетін объектіні анықтау және танумен байланысты компьютерлік көру жүйесінің тапсырмасын шешуге қолайлы. Бұл әдісті қолданудың нәтижесі түсті кеңістіктің, зерттелетін объектінің шекараларын неғұрлым нақты анықтау болды, бұл компьютерлік көру жүйесінің тапсырмаларын орындаудың тиімділігіне тиімді әсер етті және арттырды, сонымен қатар машинааралық байланыс ПР басқару процесін жеңілдетті, ол жоғары жылдамдықпен Параллель Роботтың қозғалысын анықталған объектіге қарай шоғырландырды.

#### **4.4 Тарау бойынша қорытынды**

Бұл тарауда ПР-нің жасанды нысанаға алу жүйесін жобалауды, енгізуді және бағалауды зерттедік, оның манипуляция жылдамдығы мен нысанды анықтау дәлдігі шешуші болып табылатын бөлшектерді орналастыру және сұрыптау мәселелерінде қолданылуын атап өттік. Өндірістік ортада жүргізілген эксперименттік зерттеу арқылы біз нақты сценарийлерге еліктей отырып, әртүрлі жарық жағдайларында жүйенің өнімділігін бағаладық. C++ және Python бағдарламалау орталарының тіркесімін қолдана отырып жасалған жасанды мақсат жүйесі жасанды көру (M2M) және LAB түс кеңістігін тану негізінде Машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, объектілерді дәл анықтау және орналастыру қабілетін көрсетті.

YOLOv8 және MASK-R-CNN модельдерінің салыстырмалы талдауы YOLOv8 объектілерді анықтаудың жылдам уақытын қамтамасыз етсе, адаптивті RGB модельдері бар MASK-R-CNN жоғары дәлдікке қол жеткізетінін көрсетті, әсіресе әртүрлі жарықтандыру жағдайында. Жылдамдық пен дәлдік арасындағы бұл компаға келу тапсырманың нақты талаптарына негізделген қолайлы модельді таңдаудың маңыздылығын көрсетеді. LAB түс кеңістігі әдісінің интеграциясы ПР-ның жалпы тиімділігіне ықпал ете отырып, жүйенің түстерге негізделген нысандарды сүзу және тану қабілетін одан әрі арттырды.

Тұтастай алғанда, осы тараудың қорытындылары өнеркәсіптік қолданбалардағы ПР-ның өнімділігін жақсартудағы жетілдірілген нысанды анықтау алгоритмдері мен адаптивті түс кеңістігі әдістерінің әлеуетін көрсетеді. Әрі қарайғы жұмыс нақты уақыт режимінде жақсы өнімділікке қол жеткізу үшін модельдерді онтайландыруға және жүйенің дәлдігі мен жылдамдығын одан әрі жақсарту үшін қосымша жақсартуларды зерттеуге бағытталуы керек.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген ғылыми зерттеулер барысында ЖИ-тің пәнаралық технология ретіндегі қашықтан басқару үшін ПР-ты құруды қамтамасыз етті. ПР-тың геометриялық параметрлерін ескере отырып, оның кинематикалық теңдеулері шығарылды. Бұл ПР-тың негізгі түйіндеріне қатысты төменгі ұшының орнын анықтауға мүмкіндік берді. ПР-ты құрастыруда материалдарды таңдауды, бөлшектердің беріктігі мен қаттылығын есептеуді қоса алғанда, ПР-тың механикалық дизайны жасалды. Сондай-ақ, ПР-ды басқару жүйесін құруға ықпал еткен контроллерді, қозғалтқыштарды және сенсорларды таңдауды қоса алғанда, басқару жүйесі жасалды. ПР үшін қоршаған ортамен өзара әрекеттесе алатын жасанды көру жүйесін құруды қамтыды. Бұл жүйе объектілерді тануды және машинааралық байланыс протоколы арқылы ПР-тың қозғалысын үйлестіруді қарастырды. Соңғы кезеңде толық жұмыс істейтін ПР-на эксперименттік зерттеу жүргізілді. Оның сипаттамалары, өнімділігі және объектіні анықтау мен орналасу дәлдігі тексерілді.

Осы зерттеудің негізгі нәтижелері келесідей:

– М2М арқылы басқарылатын жасанды интеллекттегі ПР-тың кинематикалық сұлбасы әзірленді;

– Нысандарды тану және кескіндерді өңдеу үшін компьютерлік көру алгоритмі әзірленді;

– Бағдарламалық алгоритмі бар М2М арқылы басқарылатын жасанды интеллекттегі ПР-тың зертханалық үлгісін ұсынылды.

Осылайша, жүргізілген жұмыстың нәтижелері маңызды практикалық маңызға ие болып отыр және ПР үшін машинааралық байланыс хаттамаларының өзара әрекеттесуімен жасанды көру жүйесі жоғарыда көрсетілген талаптарға сәйкес келеді, сонымен қатар алынған визуалды ақпаратты өңдеу негізінде ПР-тың қозғалысы мен басқаруын одан әрі жоспарлай отырып, объектіні анықтаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етті.

## ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Abdelkader, T., Naik, K., Nayak, A., 2010. An eco-friendly routing protocol for delay tolerant networks. In: The 6th IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2010), Niagara Falls, Canada, October.
2. Abdelkader T, Naik K, Nayak A, Goel N, Srivastava V. SGBR: a routing protocol for delay tolerant networks using social grouping. *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.* 2013;24(December (12)):2472–81.
3. Abogharaf, A., Palit, R., Naik, K., Singh, A., 2012. A methodology for energy performance testing of smartphone applications. In: 7th IEEE International Workshop on Automation of Software Test (AST), pp. 110–116.
4. Standardized power-efficient and internet-enabled communication stack for capillary M2M networks. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), April, pp. 226–231.
5. Aijaz, A., Aghvami, A., 2013. A PRMA based MAC protocol for cognitive machine-to-machine communications. In: IEEE International Conference on Communications (ICC), June, pp. 2753–2758.
6. Aijaz A, Aghvami A. Cognitive machine-to-machine communications for internet-of-things: a protocol stack perspective. *IEEE Internet Things J.* 2015;2(April (2)):103–12.
7. Alsabaan M, Alasmay W, Albasir A, Naik K. Vehicular networks for a greener environment: a survey. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2013;15(3):1372–88.
8. Andreev, S., Galinina, O., Koucheryavy, Y., 2011. Energy-efficient client relay scheme for machine-to-machine communication. In: IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), December, pp. 1–5.
9. Arya, R.P.R., Naik, K., 2011. A methodology for selecting experiments to measure energy costs in smartphones In: 7th IEEE International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), pp. 2087–2092.
10. Azquez-Gallego, F.V., Alonso-Zarate, J., Balboteo, I., Alonso, L., 2013. DPCF-M: a medium access control protocol for dense machine-to-machine area networks with dynamic gateways. In: Proceedings of the IEEE 14th Workshop on signal processing advances in wireless communications (SPAWC), June, pp. 490–494.
11. Bartoli, A., Serrano, J.H., Soriano, M., Dohler, M., Kountouris, A., Barthel, D., 2010. Secure lossless aggregation for smart grid M2M networks. In: 1st IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), October, pp. 333–338.

12. Beale, M., 2012. Future challenges in efficiently supporting M2M in the LTE standards. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), April, pp. 186–190.
13. Blum, N., Fiedler, J., Lange, L., Magedanz, T., 2011. Application-driven quality of service for M2M communications. In: 15th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), October, pp. 41–45.
14. Bojic I, Granjal J, Monteiro E, Katusic D, Skocir P, Kusek M, et al. Communication and security in machine-to-machine systems. In: Ganchev I, Kassler A, Curado M, editors. *Wireless networking for moving objects: protocols, architectures, tools, services and applications*. Springer Publishers; 2014. p. 255–81, Ch.14.
15. Chang, H.B., Chen, K.C., 2011. Cooperative spectrum sharing economy for heterogeneous wireless networks. In: IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), December, pp. 458–463.
16. Chao, H., Chen, Y., Wu, J., 2011. Power saving for machine-to-machine communications in cellular networks. In: IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), December, pp. 389–393.
17. Chen JWM, Li F. Machine-to-machine communications: architectures, standards, and applications. *KSII Trans. Internet Inf. Syst.* 2012; 6 (February (2)):480–97.
18. Chen, Y., Wang, W., 2010. Machine-to-machine communication in LTE-A. In 72nd IEEE Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall), September, pp. 1–4.
19. Chen, P., Zhong, X., Wang, J., 2011. Fairness algorithm for renewable M2M network. In: 11th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), October, pp. 1–6.
20. Cho JH, Chen R. A survey on trust management for mobile ad hoc networks. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2011;13(4):562–83.
21. Corici, M., Fiedler, J., Magedanz, T., Vingarzan, D., 2011. Evolution of the resource reservation mechanisms for machine type communication over mobile broadband evolved packet core architecture. In: IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), December, pp. 718–722.
22. Drajić, D., Krco, S., Tomic, I., Svoboda, P., Popovic, M., Nikaein, N., Zeljkovic, N., 2012. Traffic generation application for simulating online games and M2M applications via wireless networks. In: 9th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), January, pp. 167–174.
23. Elkheir, G.A., Lioumpas, A.S., Alexiou, A., 2012. Energy efficient cooperative scheduling based on sleep–wake mechanisms. In: IEEE Wireless

Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), April, pp. 238–242.

24. Fadlullah ZM, Fouda MM, Kato N, Takeuchi A, Iwasaki N, Nozaki Y. Toward intelligent machine-to-machine communications in smart grid. *IEEE Commun. Mag.* 2011;49(April (4)):60–5.

25. Fan, Z., Tan, S., 2012. M2M communications for e-health: standards, enabling technologies, and research challenges. In: 6th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), March, pp. 1–4.

26. Fu, Z., Jing, X., Sun, S., 2011. Application-based identity management in M2M system. In: International Conference on Advanced Intelligence and Awareness Internet (AIAI), October, pp. 211–215.

27. Fu, H.L., Chen, H.C., Lin, P., Fang, Y., 2012. Energy-efficient reporting mechanisms for multi-type real-time monitoring in machine-to-machine communications networks. In: Proceedings of the IEEE INFOCOM, March, pp. 136–144.

28. Galetic, V., Bojic, I., Kusek, M., Jezic, G., Desic, S., Huljenic, D., 2011. Basic principles of machine-to-machine communication and its impact on telecommunications industry. In: Proceedings of the 34th International Convention (MIPRO), pp. 380–385.

29. Gligoric, N., Krco, S., Drajić, D., Jokic, S., Jakovljevic, B., 2011. M2M device management in LTE networks. In: 19th Telecommunications Forum (TELFOR), November, pp. 414–417.

30. Glitho, R.H., 2011. Application architectures for machine-to-machine communications: research agenda vs. state-of-the art. In: 6th International Conference on Broadband and Biomedical Communications (IB2Com), November, pp. 1–5.

31. Herstad, A., Nersveen, E., Samset, H., Storsveen, A., Svaet, S., Husa, K.E., 2009. Connected objects: building a service platform for M2M. In: 13th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), October, pp. 1–4.

32. Ho CY, Huang CY. Energy-saving massive access control and resource allocation schemes for M2M communications in ofdma cellular networks. *IEEE Wirel. Commun. Lett.* 2012;1(June (3)):209–12.

33. Hongsong, C., Zhongchuan, F., Dongyan, Z., 2011. Security and trust research in M2M system. In: IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), July, pp. 286–290.

34. Hsu, C.Y., Yen, C.H., Chou, C.T., 2013. An adaptive multichannel protocol for large-scale machine-to-machine (M2M) networks. In: Proceedings of

the 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), pp. 1223–1228.

35. Igarashi, Y., Ueno, M., Fujisaki, T., 2012. Proposed node and network models for an M2M internet. In: World Telecommunications Congress (WTC), March, pp. 1–6.

36. Islam MT, Taha AEM, Akl S. A survey of access management techniques in machine type communications. *IEEE Commun. Mag.* 2014;52(4):74–81.

37. Jiang, D., ShiWei, C., 2010. A study of information security for M2M of IoT. In: 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), vol. 3, August, pp. V3-576–V3-579.

38. Kim, Y.-J., Kolesnikov, V., Kim, H., Thottan, M., 2011. SSTP: a scalable and secure transport protocol for smart grid data collection. In: IEEE International Conference on Smart Grid Communications, October, pp. 161–166.

39. Kim, S., Cha, J., Jung, S., Yoon, C., Lim, K., 2012. Performance Evaluation of random access for M2M communication on IEEE 802.16 network. In: 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), February, pp. 278–283.

40. Kim, R.Y., 2010. Snoop based group communication scheme in cellular machine-to-machine communications. In: International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), November, pp. 380–381.

41. Kim, R.Y., 2011. Network coded group communication scheme in machine-to-machine communications. In: International Conference on ICT Convergence (ICTC), September, pp. 780–781.

42. Kulkarni RV, Förster A, Venayagamoorthy GK. Computational intelligence in wire- less sensor networks: a survey. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2011:68–96.

43. Lee, K.D., Kim, S., Yi, B., 2011. Throughput comparison of random access methods for M2M service over LTE networks. In: IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), December, pp. 373–377.

44. Li, Q., Zhu, S., Cao, G., 2010. Routing in socially selfish delay tolerant networks. In: Proceedings IEEE INFOCOM, 2010, March, pp. 1–9.

45. Li, J., Zhang, Y., Nagaraja, K., Raychaudhuri, D., 2012. Supporting efficient machine- to-machine communications in the future mobile internet. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), April, pp. 181–185.

46. Lien SY, Chen KC, Lin Y. Toward ubiquitous massive accesses in 3GPP machine-to- machine communications. *IEEE Commun. Mag.* 2011;49 (April (4)):66–74.
47. Lien SY, Liao TH, Kao CY, Chen KC. Cooperative access class barring for machine-to- machine communications. *IEEE Trans. Wirel. Commun.* 2012;11(January (1)):27–32.
48. Liu, R., Wu, W., Zhu, H., Yang, D., 2011. M2M-oriented QoS categorization in cellular network. In: 7th International Conference on Wireless Communications, Net- working and Mobile Computing (WiCOM), September, pp. 1–5.
49. Liu, Y., Yuen, C., Chen, J., Cao, X., 2013. A scalable hybrid MAC protocol for massive M2M networks. In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 250–255.
50. Liu, Yi., Yuen, C., Cao, X., Hassan, N.U., Chen, J., 2014. Design of a scalable hybrid MAC protocol for heterogeneous M2M networks. *IEEE Internet Things J.* 1(1), 99–111.
51. Lu R, Li X, Liang X, Shen X, Lin X. GRS: the green, reliability, and security of emerging machine-to-machine communications. *IEEE Commun. Mag.* 2011;49 (April(4)):28–35.
52. Lucic, D., Caric, A., Lovrek, I., 2015. Standardisation and regulatory context of machine-to-machine communication. In: 13th International Conference on Telecommunications (ConTEL), July, pp. 1–7.
53. Ming, F., Zhu, X., Torres, M., Anaya, L., Patanapongpibul, L., 2012. GSM/GPRS bearers efficiency analysis for machine type communications. In: 75th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), May, pp. 1–5.
54. Naik, K., 2010. A Survey of Software Based Energy Saving Methodologies for Handheld Wireless Communication Devices. Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, October.
55. Nikaein, N., Krea, S., 2011. Latency for real-time machine-to-machine communication in LTE-based system architecture. In: 11th European Wireless Conference on Sustainable Wireless Technologies (European Wireless), April, pp. 1–6.
56. Niyato D, Xiao L, Wang P. Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid. *IEEE Commun. Mag.* 2011;49(April (4)):53– 9.
57. Palit, R., Arya, R., Naik, K., Singh, A., 2011. Selection and execution of user level test cases for energy cost evaluation of smartphones. In: *Proceedings of the 6th ACM International workshop on automation of software test*, pp. 84–90.



58. Pandey, S., Kim, M.S., Choi, M.J., Hong, J.W., 2011. Towards Management of machine-to-machine Networks. In: Proceedings of the 13th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), September., pp. 1–7.
59. Park CW, Hwang D, Lee TJ. Enhancement of IEEE 802.11ah MAC for M2M communications. *IEEE Commun. Lett.* 2014;18(7):1151–4.
60. Pratas NK, Thomsen H, Stefanovic C, Popovski P. Code-expanded random access for machine-type communications. *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)* 2012:1681–6, December.
61. Predojevic, T., Zarate, J.A., Dohler, M., 2010. Energy-delay tradeoff analysis in embedded M2M networks with channel coding. In: 21st IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), September, pp. 2733–2738.
62. Rajandekar A, Sikdar B. A survey of MAC layer issues and protocols for machine-to-machine communications. *IEEE Internet Things J.* 2015;2(April(2)):175–86.
63. Rico, J., Cendon, B., Lanza, J., Valino, J., 2012. Bringing IoT to hospital logistics systems demonstrating the concept. In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, April, pp. 196–201.
64. Saedy, M., Mojtahed, V., 2011. Ad hoc M2M communications and security based on 4G cellular system. In: *Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, April, pp. 1–5.
65. Saied, Y.B., Olivereau, A., Laurent, M., 2012. A distributed approach for secure M2M communications. In: *5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, May, pp. 1–7.
66. Shah, R.C., Roy, S., Jain, S., Brunette, W., 2003. Data mules: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks. In: *Proceedings of the 1st IEEE Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (IPSN 2008)*. IEEE, pp. 30–41.
67. Sheu, S.T., Chiu, C.H., Lu, S., Lai, H.H., 2011. Efficient data transmission scheme for MTC communications in LTE system. In: *11th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*, August, pp. 727–731.
68. Singh, S., Huang, K.L., 2011. A robust M2M gateway for effective integration of capillary and 3GPP networks. In: *5th IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunication Systems (ANTS)*, December, pp. 1–3.

69. Sneps-Snepe, M., Namiot, D., 2012. About M2M standards and their possible extensions. In: 2nd Baltic Congress on Future Internet Communications (BCFIC), April, pp. 187–193.

70. Subhani, H.S.S., Cobben, J., 2015. A survey of technical challenges in wireless machine-to-machine communication for smart grids. In: 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), September, pp. 1–6.

71. Sun, W., Song, M., 2010. A general M2M device model. In: 2nd IEEE Symposium on Web Society (SWS), August, pp. 578–581.

72. Taleb T, Kunz A. Machine type communications in 3GPP networks: potential, challenges, and solutions. *IEEE Commun. Mag.* 2012;50(March (3)):178–84.

73. Tan SK, Sooriyabandara M, Fan Z. M2M communications in the smart grid: applications, standards, enabling technologies, and research challenges. *Int. J. Digit. Multimed. Broadcast.* 2011:1–8.

74. Tarchi, D., Fantacci, R., Marabissi, D., 2013. Proposal of a cognitive based mac protocol for M2M environments. In: Proceedings of the IEEE 24th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), September. pp. 1609–1613.

75. Tu, C.Y., Ho, C.Y., Huang, C.Y., 2011. Energy-efficient algorithms and evaluations for massive access management in cellular based machine-to-machine communications. In: IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), September, pp. 1–5.

76. Verma, P.K., Tripathi, R., Naik, K., 2014. A robust hybrid-MAC protocol for M2M communications. *IEEE International Conference on Computer and Communication Technology (ICCCT)*, pp. 267–271.

77. Vo, Q.D., Choi, J.P., Chang, H.M., Lee, W.C., 2010. Green perspective cognitive radio-based M2M communications for smart meters. In: International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), November, pp. 382–383.

78. Wang, G., Zhong, X., Mei, S., Wang, J., 2010. An adaptive medium access control mechanism for cellular based machine-to-machine (M2M) communication. In: IEEE International Conference on Wireless Information Technology and Systems (ICWITS), September, pp. 1–4.

79. Wu G, Talwar S, Johnsson K, Himayat N, Johnson KD. M2M: from mobile to embedded internet. *IEEE Commun. Mag.* 2011;49(April (4)):36–43.

80. Wu, H., Zhu, C., La, R.J., Liu, X., Zhang, Y., 2012. Fast adaptive s-aloha scheme for event-driven machine-to-machine communications. In: IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), September, pp. 1–5.

81. Xin, Q., Wang, Y.J., 2010. Latency-efficient distributed M2M multicasting in wireless mesh networks under physical interference model. In: IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), April, pp. 1–6.
82. Yu, R., Zhang, Y., Chen, Y., Huang, C., Xiao, Y., Guizani, M., 2011. Distributed rate and admission control in home M2M networks: a non-cooperative game approach. In: IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), April, pp. 196–200.
83. Zeng, Y., Xiong, N., Yang, L.T., Zhang, Y., 2011. Cross-layer routing in wireless sensor networks for machine-to-machine intelligent hazard monitoring applications. In: IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), April, pp. 206–211.
84. Zhang Y, Yu R, Xie S, Yao W, Xiao Y, Guizani M. Home M2M networks: architectures, standards, and QoS improvement. *IEEE Commun. Mag.* 2011;49(April (4)):44–52.
85. Zhang J, Shan L, Hu H, Yang Y. Mobile cellular networks and wireless sensor networks: toward convergence. *IEEE Commun. Mag.* 2012a;50 (March (3)):164–9.
86. Zhang Y, Yu R, Nekovee M, Liu Y, Xie S, Gjessing S. Cognitive machine-to-machine communications: visions and potentials for the smart grid. *IEEE Netw.* 2012b;26(May–June (3)):6–13.
87. Zheng K, Hu F, Wang W, Xiang W, Dohler M. Radio resource allocation in LTE-advanced cellular networks with M2M communications. *IEEE Commun. Mag.* 2012;50(July (7)):184–92.
88. Zheng K, Ou S, Alonso-Zarate J, Dohler M, Liu F, Zhu H. Challenges of massive access in highly dense LTE-advanced networks with machine-to-machine communications. *IEEE Wirel. Commun.* 2014;21(3):12–8, June.
89. Zrnčić, S., Bojic, I., Katusic, D., Skocir, P., Kusek, M., Jezic, G., 2013. Quality-of-service in machine-to-machine service provisioning process. In: 21st international conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (Soft-COM), September, pp. 1–5.
90. Tzampazaki, M.; Zografos, C.; Vrochidou, E.; Papakostas, G.A. Machine Vision—Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0. *Appl. Sci.* 2024, 14, 1471.
91. Hussain, M. When, Where, and Which?: Navigating the Intersection of Computer Vision and Generative AI for Strategic Business Integration. *IEEE Access* 2023, 11, 127202–127215.

92. Abu, A.; Indra, N.H.; Rahman, A.H.A.; Sapiee, N.A.; Ahmad, I. A study on image classification based on deep learning and TensorFlow. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2019, 12, 563–569.
93. Cao, J.; Yao, X.; Zhang, H.; Jin, J.; Zhang, Y.; Ling, B.W.K. Slimmable Multi-Task Image Compression for Human and Machine Vision. *IEEE Access* 2023, 11, 29946–29958.
94. Ayazbay, A.-A.; Balabyev, G.; Orazaliyeva, S.; Gromaszek, K.; Zhauyt, A. Trajectory Planning, Kinematics, and Experimental Validation of a 3D-Printed Delta Robot Manipulator. *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.* 2024, 13, 113–125.
95. Kiyokawa, T.; Katayama, H.; Tatsuta, Y.; Takamatsu, J.; Ogasawara, T. Robotic Waste Sorter with Agile Manipulation and Quickly Trainable Detector. *IEEE Access* 2021, 9, 124616–124631.
96. Alshammari, R.F.N.; Arshad, H.; Rahman, A.H.A.; Albahri, O.S. Robotics Utilization in Automatic Vision-Based Assessment Systems from Artificial Intelligence Perspective: A Systematic Review. *IEEE Access* 2022, 10, 77537–77570.
97. Jaramillo-Quintanar, D.; Gomez-Reyes, J.K.; Morales-Hernandez, L.A.; Dominguez-Trejo, B.; Rodriguez-Medina, D.A.; Cruz-Albarran, I.A. Automatic Segmentation of Facial Regions of Interest and Stress Detection Using Machine Learning. *Sensors* 2024, 24, 152.
98. Sattar, A.; Ridoy, M.A.M.; Saha, A.K.; Babu, H.M.H.; Huda, M.N. Computer vision based deep learning approach for toxic and harmful substances detection in fruits. *Heliyon* 2024, 10, e25371.
99. Jaramillo-Hernández, J.F.; Julian, V.; Marco-Detchart, C.; Rincón, J.A. Application of Machine Vision Techniques in Low-Cost Devices to Improve Efficiency in Precision Farming. *Sensors* 2024, 24, 937.
100. Magaña, A.; Vlaeyen, M.; Haitjema, H.; Bauer, P.; Schmucker, B.; Reinhart, G. Viewpoint Planning for Range Sensors Using Feature Cluster Constrained Spaces for Robot Vision Systems. *Sensors* 2023, 23, 7964.
101. Nussibaliyeva, A.; Sergazin, G.; Tursunbayeva, G.; Uzbekbayev, A.; Zhetenbayev, N.; Nurgizat, Y.; Bakhtiyar, B.; Orazaliyeva, S.; Yussupova, S. Development of an Artificial Vision for a Parallel Manipulator Using Machine-to-Machine Technologies. *Sensors* 2024, 24, 3792. <https://doi.org/10.3390/s24123792>
102. H. H. Lund, "Modern artificial intelligence for human-robot interaction," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 92, no. 11, pp. 1821-1838, Nov. 2004, doi: 10.1109/JPROC.2004.835362.
103. ElMaraghy, H.A. Artificial intelligence and robotic assembly. *Engineering with Computers* 2, 147–155 (1987). <https://doi.org/10.1007/BF01201262>

104. U. Rao, "Design of automatic cotton picking robot with Machine vision using Image Processing algorithms," 2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE), Jabalpur, India, 2013, pp. 1-5, doi: 10.1109/CARE.2013.6733700.

105. Mohammad Arif, Artificial Intelligence & Robotics Technology Laboratory (AIART lab): National Taipei University, Taiwan, XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students, Volume 19, Issue 4, Pages 56 – 57

106. Valero Gómez, A., de la Puente, P., Rodríguez Losada, D., Hernando, M. y San Segundo, P. (2013) «Arquitectura de integración basada en Servicios Web para sistemas heterogéneos y distribuidos: aplicación a robots móviles interactivos», Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, 10(1), pp. 85–95. doi: 10.1016/j.riai.2012.11.008.

107. Wu, L, & Tadesse, Y. "Musculoskeletal System for Bio-Inspired Robotic Systems Based on Ball and Socket Joints." Proceedings of the ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Volume 4A: Dynamics, Vibration, and Control. Phoenix, Arizona, USA. November 11–17, 2016. V04AT05A020. ASME. <https://doi.org/10.1115/IMECE2016-67394>

108. Demirci, O., & Kayhan, G. (2016). Video and Sensor Data Stream With Web Socket on Raspberry Pi 3. International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers(Special Issue-1), 12-15. <https://doi.org/10.18100/ijamec.271034>

109. Milella, A., Maglietta, R., Caccia, M. and Bruzzone, G. (2017), "Robotic inspection of ship hull surfaces using a magnetic crawler and a monocular camera", Sensor Review, Vol. 37 No. 4, pp. 425-435. <https://doi.org/10.1108/SR-02-2017-0021>

110. Michael McFarlane, Kathleen Coard, Primary Breast Lymphoma: Case Report Of A Rare Pathological Entity , European Journal of Medical and Health Sciences: Vol. 2 No. 3 (2020)

111. Mishchuk, Y., & Mishchuk, D. (2022). IoT-based industrial automation systems. Girnichi, budivelni, Dorozhni Ta meliorativni Mashini, (96), 42–50. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.96.0501>

# ҚОСЫМША А

## Патент

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ**  
**PATENT**

№ 5019

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2020/0285.2

(22) 17.03.2020

(45) 19.03.2021

(54) Кеңістіктік бағдарлау нысаналарына арналған техникалық көру функциясы бар өнеркәсіптік манипулятор  
Промышленный манипулятор с функцией технического зрения для пространственной ориентации объектов  
Industrial manipulator with vision function for spatial object orientation

(73) Балбаев Гани Кудайбергенович (KZ)  
Balbayev Gani Kudaibergenovich (KZ)

(72) Нусибалиева Арайлым Бекжановна (KZ) Nussibaliyeva Arailym Bekzhanovna (KZ)  
Естемесова Гульсара Даутхановна (KZ) Yestemessova Gulsara Dautkhanovna (KZ)  
Фазылова Алина Ринатовна (KZ) Fazylova Alina Rinatovna (KZ)



ЭЦК қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Е. Куантыров  
Е. Куантыров  
Y. Kuantyrov

«Үлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РПТ «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE