

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Буркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Өмірзақ Әнуарбек Нұрланұлы

«Сфералық мобильді роботты жобалау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071600 – Аспап жасау мамандығы

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Буркитбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ
РТжАТҚ кафедра меңгерушісі
техника ғылым кандидаты

К.А. Ожикенов
«07» маусым 2021 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Сфералық мобильді роботты жобалау»

5B071600 – Аспап жасау мамандығы бойынша

Орындады: Өмірзақ Әнуарбек Нұрланұлы
Ғылыми жетекші: Аймуханбетов Е.А.

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ
МИНИСТРЛІГІ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Ә. Бүркітбаев атындағы Өндірістік автоматтандыру және цифрлау институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

БЕКІТЕМІН

РТжАТҚ кафедра
меңгерушісі техника
ғылым кандидаты

К.А. Ожикенов

«23» қаңтар 2021 ж.

Дипломдық жобаны орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушыға Өмірзақ Әнуарбек Нұрланұлы

Жобаның тақырыбы: Сфералық мобильді роботты жобалау

Университет ректорының 2020 жылғы «24» қараша №2131-б
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «15» мамыр 2021 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы мәліметтері: : Ішкі қозғалыс механизмі бар
сфералық роботты аналитикалық зерттеу

Дипломдық жұмыста әзірленуге жататын мәселелер тізімі:

- а) Сфералық робот туралы жалпы мәліметтер
- б) Маятникті қолдану
- в) Роботтың сызықтық қозғалыстың динамикалық моделі
- г) Роботтың құрылымы
- д) Роботтың электроникасы


Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажетті
сызбалар көрсетілген): 20 слайд

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 20 әдебиеттер тізімі

Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер қарастырылған сұрақтар тізімі	атауы,	Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімі	Ескертулер
Негізгі бөлім		22.01 – 15.02.2021 ж.	Орындады
Есептеу бөлімі		22.01 – 15.02.2021 ж.	Орындады
Бағдармалық бөлім		15.03 – 20.04.2021 ж.	Орындады
Зерттеу бөлімі		20.04 – 05.05.2021 ж.	Орындады
Қорытынды бөлім		05.05 – 15.05.2021 ж.	Орындады

Аяқталған дипломдық жұмыс (жобаға) және оған қатысты бөлімдерінің кеңесшілері мен қалып бақылаушының **ҚОЛТАҢБАЛАРЫ**

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қайылған мерзімі	Қолы
Қалып бақылаушы	Қабдолдина Әсем Оралханқызы PhD доктор	07.06.2021ж.	

Ғылыми жетекшісі:  Аймуханбетов Е.А.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы:  Өмірзақ Ә.Н.

Күні « 7 » маусым 2021 ж

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста сфералық мобильді роботты жобалау қарастырылған. Жұмыста ішкі қозғалыс механизмі бар сфералық роботты аналитикалық зерттеудің прототипі сипатталған. Сфералық робот негізгі оське, жетек қозғалтқышына және рульдік қозғалтқышқа қосылған маятник арқылы басқарылады. Жұмыс барысында роботтың 3D моделі жасалып, жұмыс істеу принципі макетте көрсетілген.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе предусмотрено проектирование сферического мобильного робота. В работе описан прототип аналитического исследования сферического робота с внутренним механизмом движения. Сферический робот управляется маятником, соединенным с главной осью, приводным двигателем и рулевым двигателем. В процессе работы была разработана 3D-модель робота, принцип работы которой показан на макете.

ABSTRACT

In this thesis, the design of a spherical mobile robot is considered. The paper describes a prototype of an analytical study of a spherical robot with an internal motion mechanism. The spherical robot is controlled by a pendulum connected to the main axis, drive motor and steering motor. In the course of the work, a 3D model of the robot is created, and the principle of operation is shown in the layout.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе

1. Технологиялық бөлім	
1.1 Сфералық робот туралы жалпы мәліметтер	9
1.2 Сфералық роботтың тарихы	9
1.3 Локомотив принциптері	11
1.4 IDU пайдалану (ішкі жетек блогы)	11
1.5 Маятникті қолдану	12
1.6 Деформацияланатын дене	14
1.7 Қазіргі заманда сфералық роботтарды қолданылуы	15
2. Зерттеу бөлімі	
2.1 Роботтың құрылымы	18
2.2 Роботтың сызықтық қозғалыстың динамикалық моделі	19
3. Практикалық бөлім	
3.1 Роботтың электрондық компоненттері	22
3.2 SolidWorks бағдарламасында жасалған роботтың 3D моделі	26
Қорытынды	27
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	28
Қосымша А	30

КІРІСПЕ

Мобильді роботтардың көпшілігі, соның ішінде әскери, әлеуметтік және қызмет көрсету үшін пайдаланылатын роботтар қозғалыс үшін дөңгелектерді немесе аяқтарды пайдаланады. Дегенмен, доңғалақты және аяқ роботтарының қозғалысында бірқатар кемшіліктер бар. Доңғалақты роботтар тұрақсыз болуы мүмкін және төңкерілуі мүмкін; сол сияқты, аяқтардағы роботтар белгілі бір жерлерде құлап, роботтарды қозғалыссыз етеді. Сонымен қатар, электронды компоненттерді сыртқы ортадан қорғау осындай мобильді роботтардың көмегімен қиын болуы мүмкін.

Осылайша, қарапайым мобильді роботтардың құрылымдық кемшіліктерін жеңу үшін әртүрлі зерттеулер сфералық роботтардың орындылығын зерттеді. Доңғалақты және аяқ роботтарымен салыстырғанда сфералық роботтардың бірқатар артықшылықтары бар, олардың симметриялы құрылымына байланысты құлау мүмкіндігінің болмауы, бағытты қозғалыс қабілеті, кедергі проблемаларының болмауы, ішкі компоненттерді сұйықтық, шаң және газ сияқты сыртқы ортадан қорғау, сонымен қатар бір байланыс нүктесі арқылы жоғары энергия тиімділігі.

1. Технологиялық бөлім

1.1 Сфералық робот туралы жалпы мәліметтер

Кедергілерді айналып өту, көлбеу көтеру, тепе-теңдікті бақылау және қозғалысты басқару тұрғысынан доңғалақты және аяқ роботтары қазіргі уақытта сфералық роботтардан жоғары. Алайда, сфералық роботтар әлі де дамудың бастапқы сатысында және олардың механикалық құрылымы мен жетек механизмін зерттеуге жоғарыда айтылған әртүрлі артықшылықтарға байланысты үлкен көңіл бөлінеді.

Қазіргі уақытта жетек жүйесінің құрылымына сәйкес сфералық роботтарға арналған бес механизмдерінің негізгі түрі бар. Біріншісі-бір доңғалақты тип, онда Halme et al. жетекші доңғалақтан және тепе-теңдік доңғалағынан тұратын IDU (ішкі жетек блогы) бар сфералық робот енгізілді. Екінші тип-автомобиль түрі, мұнда сфера ішінде автомобиль қозғалысқа келтіреді. Үшіншісі-ішкі салмақ түрі, онда Джавади мен Можабидің қабықтың ішінде орналасқан төрт жылжымалы салмақты қолдана отырып, сыртқы қабықтың масса центрін өзгерту арқылы қозғалатын сфералық робот ойлап тапты.

Төртінші-ротордың бекітілген түрі, онда Бхатгачария мен Агравал ротордың көмегімен сфералық робот ойлап тапты. Сонымен, бесінші маятник түрі, ол бір маятник типке және екі маятник типке бөлінеді. Сфералық роботтарға арналған жетек механизмдерінің осы бес негізгі түрінен басқа, басқа да әртүрлі жетек механизмдері де зерттелді.

Дегенмен, жетек механизмінің әр түрінің өзіндік кемшіліктері бар. Бір доңғалақты типтегі жағдайда тұрақты басқару және тепе-теңдікті басқару проблемалары туындайды. Көлік түрі үшін сыртқы қабықтың ішкі бөлігі мен автомобильдің дөңгелегі арасында байланысы жоқ болуы мүмкіндігі бар, бұл бақыландырмайтын жағдайды тудырады. Сонымен қатар, ішкі салмақ түрі мен бекітілген ротор түрі үшін жылдам басқару қиын, ал маятниктің түрі, оның ішінде бір және екі бұрышты түрлері маятниктің қозғалыс шектеулеріне байланысты барлық бағытта қозғалмайды. Сонымен қатар, екі маятник типінде тепе-теңдікті бақылау проблемасы бар.

1.2 Сфералық роботтың тарихы

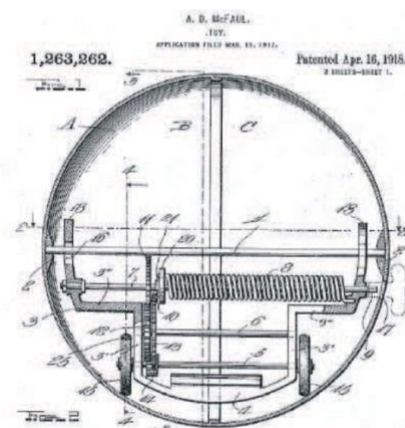
Өздігінен жүретін жылжымалы шарлардың қысқаша тарихы Иликорпи (2005) "Планеталардың бетін зерттеуге арналған биологиялық рухтандырылған мобильді робот" атты мақаласында баяндалған. Алғашқы жылжымалы шар 1893 жылы патенттелген серіппелі ойыншық болды (АҚШ патенті 508,558), ол түзу жолмен жүреді. Дизайнды 1906 жылы Б.Шортхаус допты алдын-ала белгіленген қисық жолмен жүруге мәжбүр ету үшін жетілдірді. Содан бері өздігінен жүретін жылжымалы шарлардың тұрақты емес қозғалысын жүзеге асыруға мүмкіндік беретін әртүрлі механизмдер ұсынылды және патенттелді.

1.1 - суретте ойын-сауық ойыншықтары үшін 1909 жылы ойлап табылған бір дизайнды көрсетеді. Оның ішінде доптың қозғалысын тудыратын маятник бар. Қазіргі уақытта көптеген сфералық роботтарда қолданылатын масса орталығының қозғалыс жүйесінің өнертабысы болып табылады.



Сурет 1.1- Механикалық ойыншық Е. Е. Сесил (АҚШ патенті 933 623)

Тағы бір танымал қозғалыс жүйесін 1918 жылы А.Д. Макфол патенттеген. Ол хомяк шарының дизайны ретінде белгілі. Бұл дизайн допта доңғалақты қарсы салмақты қолданады. Бүгінгі таңда бұл тепе-теңдік IDU немесе ішкі жетек блогы ретінде белгілі және қазіргі уақытта сфералық роботтардың кейбір конструкцияларында қолданылады. Мұның басты ерекшелігі дизайн-бұл жылжымалы қозғалыс сфералық дененің ішкі беті мен IDU дөңгелектері арасындағы үйкелістен туындайды. Жоғарыда айтылған маятникті жылжыту жүйесінен айырмашылығы, қозғалтқыш жүйесі үшін аздап момент қажет, ол айтарлықтай үлкен моментті қажет етеді.



Сурет 1.2- А. Д. Макфол жасаған хомяк доптың дизайны (АҚШ патенті 1 263 262)

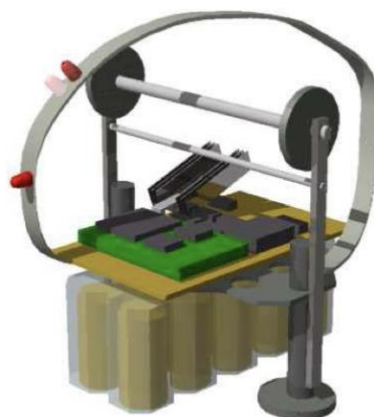
Кейіннен серіппені қуат көзі ретінде пайдалану 1957 жылы Истерлинг берген патентте батареялар мен электр қозғалтқыштарымен алмастырылды. Сфералық роботтарға электр жүйесін қосу роботтың зондтау және коммутация сияқты көптеген мүмкіндіктерін әкелді.

1.3 Локомотив принциптері

Сфералық роботтардың көпшілігі масса центрінің жылжуын қозғаушы күш ретінде қолданса да, олар массаны жылжыту үшін қолданылатын стратегияларда әр түрлі болуы мүмкін. Бұл бөлімде қозғалудың үш қағидасы қарастырылған.

1.4 IDU пайдалану (ішкі жетек блогы)

Қозғалыс әдістерінің бірі-IDU немесе сфералық дененің ішкі бетімен қозғалатын доңғалақты қорапты пайдалану. IDU басқаратын сфералық роботтың бір мысалы-1998 жылы ТКК-да жасалған 2-ші буын Rollo роботы.(Шпицмюллер, 1998) оның IDU жағында екі жетекші доңғалақ және сферада тығыз орналасуды қамтамасыз ету үшін екі басқарылмайтын доңғалақ бар. Бұл робот сенсорлар, қозғалтқыштар, трансивер және компьютер сияқты электрониканы қолданды. Бұл компоненттер роботты тегіс басқаруды қамтамасыз ету үшін қажет. Динамиканы модельдеу және ашық контуры бар өрескел басқару жүргізілді, басқару өте дәл болды.



Сурет 1.3- ТКК-да жасалған 2-ші буын Rollo роботының IDU (Шпицмюллер, 1998 ж)

Онда кодерлер, гироскоп және инклинометр бар. Локомотив жүйесі IDU қолданатындықтан, екі доңғалақ үшін екі кодтаушы орнатылған. Анықтамалық ақпаратсыз деректердің дәлдігі бағаланбады. Оның орнына, деректер діріл, робот сияқты өрескел динамикалық қозғалыстарды бағалау үшін пайдаланылды. Сенсор деректері тіпті басқару үшін пайдаланылмайды.

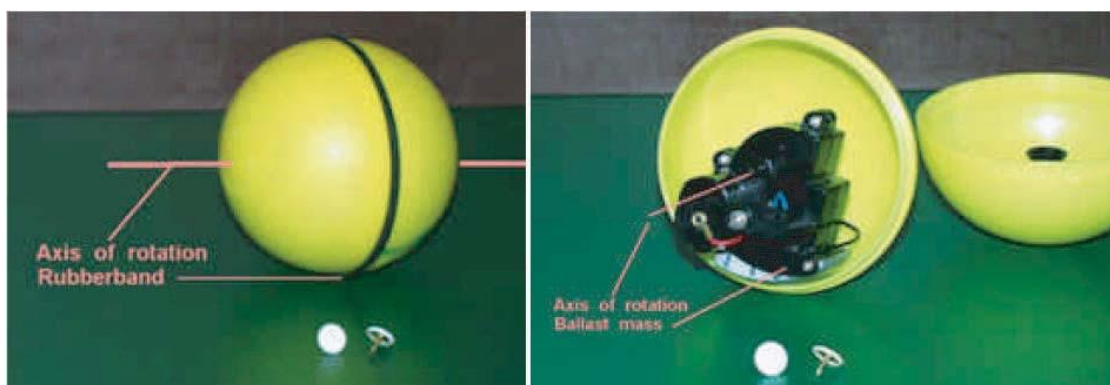
Алайда, IDU басқаратын роботтардың шектеулерінің бірі-олардың мөлшерін шектеу. Шын мәнінде, роботтың бұл түрі IDU-ның ішкі бетінде қозғалуына мүмкіндік беру үшін тегіс және қатты сфералық денені қажет етеді. Қатты сфералық денелерді жоғарыда аталған роботтар сияқты кішкентай роботтар үшін оңай қолдануға болады. Сонымен қатар, үлкен пластикалық қатты заттар құрылымның беріктігі үшін қалың қабықтарды қажет етеді, бұл салмақтың едәуір өсуіне әкеледі. Бұл ғарыштық миссияларда өте маңызды болуы мүмкін, мұнда ұшудың жоғары құны жүктеме салмағына байланысты

болады. Бұл үлкен парадокс сияқты нәрсе жасайды, өйткені сфералық робот неғұрлым үлкен болса, Марс пен айдағы тегіс емес және тасты жерлерді жеңу оңайырақ болады.

1.5 Маятникті қолдану

Қозғалыс үшін массаны жылжытудың тағы бір тәсілі - маятникті қолдану. Маятниктер әдетте экзоскелетке тигізбестен сфераның геометриялық центрімен байланысады. Сондықтан сфералық дененің кез-келген түрін қолдануға болады, мысалы, ендірілген, орналастырылған немесе сымды денелер.

Мұндай роботтардың бір мысалы- Hart Toys, Inc таратқан Squiggle ball ойыншықтары. Оның денесінің ішінде балласт немесе Маятник деп аталатын қозғалмалы масса бар. Доптың басқару жүйесі де, жердегі станциямен радиобайланыс болмаса да, кедергілерге тап болған кезде қозғалыс бағытын өзгерте алады. Кедергіге тап болған кезде де, доптың сыртында қолданылатын резеңке таспаның арқасында доп пен кедергі арасында сырғып кетудің алдын алады. Балласт ең жоғарғы позицияға жеткенде, доп артқа қарай домаланады, резеңке жолақтың денеден сыртқа қарай сәл созылуына байланысты қозғалыс бағытын өзгертеді. Осылайша, доп қозғалыс бағытын автоматты түрде өзгерте алады және тіпті лабиринттегі тығырықтан шыға алады.



Сурет 1.4- The Squiggle ball (Ylikorpi, 2005)

Тағы бір мысал-Хельсинки технологиялық университетінде Ylikorpi (2005) ұсынған Марс шары. Онда негізгі біліктің ортасына қосылған екі еркіндік дәрежесі бар маятник бар, ол сонымен қатар негізгі айналу осін бөледі. Роботтың басты ерекшелігі-ол Марстағы желді өзінің екінші қозғалысы үшін пайдаланады. Ол үшін бірнеше доғалы сымдардан тұратын сфералық корпусқа ұштар бекітілген. Олар қол жетімді жел энергиясын пайдалануға арналған. Сымды доғалар жеңіл корпуссты қамтамасыз етеді, сонымен қатар қолданылатын құрылымның әлеуетін арттырады. Марс

шарының Үлкен денесі бар (диаметрі 6 м, прототип моделі үшін 1,3 м), Марстың өрескел жерін жеңу үшін.

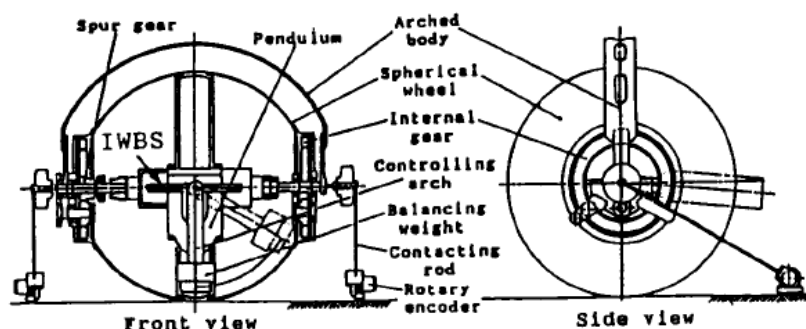


Сурет 1.5- Хельсинки технологиялық университетінде Ylikorpi (2005) ұсынған Марс шары

Косияма (1992) сонымен қатар маятник жетегі бар сфералық роботты ойлап тапты. Инерциялық сенсорлар мен магниттік сенсорлар сияқты ішкі сенсорлары бар роботтардың көпшілігіне қарағанда, оның IWBS роботы деп аталатын тербелмелі роботы дөңгелектерді теңдестіру жүйесінің роботының ішінде жағдайды дәл өлшеу үшін кейбір сыртқы сенсорларды қолданды. Алайда, сыртқы сенсорларды орнату сфералық роботтардың кейбір артықшылықтарын бұзуы мүмкін, мысалы, электрониканы сыртқы ортадан толық герметизациялау және толық сфералық пішінге байланысты сенімділік. Косияма роботын әлі де ішкі қосымшалар үшін қолдануға болады.

IWBS роботы құлаққаптар жиынтығы бар бас сияқты көрінеді. Құлаққаптардың бір бөлігі-роботтың қозғалысын басқару үшін қолданылатын арка. Сонымен қатар, бұл арка бөлігін тұрақтандыруға болады және тіпті басқа сфералық роботтар үшін мүмкін емес адамдарды немесе басқа заттарды алып жүру үшін де қолдануға болады, өйткені олардың сыртында айналмалы бөліктер жоқ.

Роботтың құлағынан шыққан екі өзек байланыс шыбықтары деп аталады. Шыбықтардың ұштары әрдайым еденге тиіп, оны сыпырады. Осылайша, өлшемдер жынысына қатысты орындалуы мүмкін. Әр өзектің екі сенсоры бар. Олардың бірі-роботтың қозғалу қашықтығын өлшейтін айналмалы кодтаушы. Екіншісі-штанганың көлбеуін өлшейтін және доптың қисаю бұрышын анықтайтын бұрыштық сенсор.



Сурет 1.6- The IWBS Robot (Koshiyama 1992)

Бұл өлшемдер роботты жабық цикл арқылы басқару үшін қолданылады. Косияма мақаласы тұрақтандыру және қозғалысты тегіс басқару осы өлшемдерді қолдана отырып сәтті болғанын көрсетеді.

Маятникті роботтардың тұжырымдамасы мен дизайны планеталарды зерттеуге жарамды болғанымен, алдыңғы зерттеулерде динамиканы математикалық модельдеу және оны аппараттық құралдарды қолдана отырып бағалау болған жоқ. Олар кейінірек осы зерттеуде егжей-тегжейлі сипатталған.

1.6 Деформацияланатын дене

Бір мысал-АҚШ-тағы JPL реактивті қозғау зертханасы (Jet Propulsion Laboratory) жасаған доп. (Джонс, 2001) бұл үлкен айналмалы доп, алып жағажай допына ұқсайды, оның корпусының ішінде диаметрі 6 метр болатын ғылыми құралдар бар. . Ішінде қозғалатын массаны қолданудың орнына, ол Марста желмен қозғалады.Қарапайым қозғалысты басқаруға қозғалатын денені қарапайым реттеу арқылы қол жеткізіледі: оны ішінара өшіру арқылы тоқтатуға және толық өшіру арқылы қайтадан жылжытуға болады.

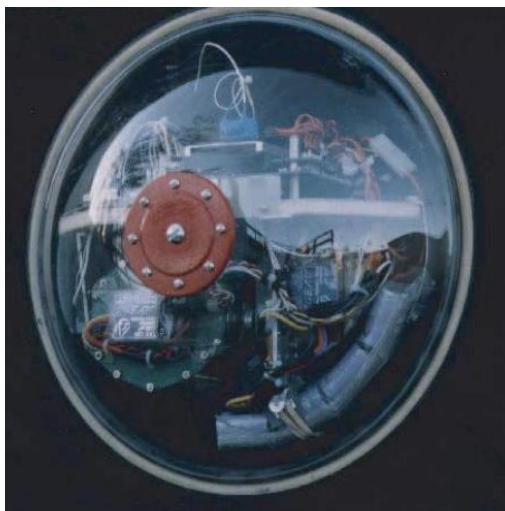
Тағы бір қызықты деформацияланатын робот-Жапонияның Рицумейкан университетінде жасалған Кохаро. (Sugiyama et al., 2005) Кохаро өрескел жерде қозғалуға, домалауға және секіруге қабілетті. Ол деформацияланатын жұмсақ денеге және пішінді жады бар қорытпадан жасалған икемді жетектерге ие және жұмсақ дененің пішінін өзгерту арқылы жерге оралып, секіре алады..

Сонымен қатар, Кохаро роботтары 2005 жылы Жапонияда өткен Айчи дүниежүзілік көрмесінде мақтанышпен ұсынылды. Көрмеде робототехника, автомобильдер және экологиялық инженерия сияқты бірқатар озық технологиялар ұсынылды.Автордың өзі Айчи қаласына барып, "Кохаро" роботтарының жұмысына куә болды.

Гироскоп-бұл Карнеги Меллон университетінде жасалған, тұрақтылықты қамтамасыз ету үшін айналмалы массаның гироскопиялық әсерін қолданатын диск тәрізді жылжымалы робот. (Tsai et al., 1999). Гироскоп қатаң сфералық робот болмаса да, гироскопты зерттеу сфералық роботтардың қозғалысын түсінуді тереңдету үшін пайдалы.

Гироскоптың басты ерекшелігі-оның айналмалы массасы немесе корпус ішіндегі гироскоп. Алға және артқа жылжудың негізгі қозғалыс жүйесі маятникті басқаратын сфералық Робот жүйесіне ұқсас, онда маятник қозғалыс үшін қолданылады. Алайда, басқару принципі IDU-ден басқарылатын роботтардан немесе маятникті басқаратын роботтардан

ерекшеленеді. Гироскоп айналмалы гироскопқа бекітілген серво қозғалтқышты пайдаланады, ол гироскоптың айналу осін қисайтады, нәтижесінде корпусының рулы пайда болады.



Сурет 1.7- Гироскопиялық әсерін қолданатын диск тәрізді жылжымалы робот. (Tsai et al., 1999)

Көбісі роботтарды ұрыс алаңында белсенді қолдану қақтығыстарды адам шығынынсыз шешудің тамаша мүмкіндігі екеніне сенімді. Мамандар алдағы он жылда қазақстандық армия кәсіби әскери және жауынгерлік роботтармен толығыады деп мәлімдейді.

1.7 Қазіргі заманда сфералық роботтарды қолданылуы

Мишо (2000) балаларға өте тартымды сфералық ойыншық роботын ойлап тапты, өйткені олар резеңке, пластик немесе шарлар сияқты доп тәрізді заттармен ойнауға дағдыланған. Сонымен қатар, дөңгелек пішінде балаларға зиян келтіретін немесе оңай сындыратын ештеңе жоқ. Бұл робот Roball деп аталады және маятникті жылжыту жүйесін қолданады. (Мишо мен Карон, 2000)

Доптың қозғалысы мінез-құлыққа негізделген, қозғалыстың төрт түрін ұсынады: оқиғаларға байланысты іске қосуға немесе өшіруге болатын "эмергенция", "айналу", "түзу" және "круиз". Бұл қарапайым қозғалыстар ойыншықтарға жеткілікті болар еді.

Балалармен тәжірибелер де жүргізілді. Тесттер балалардың Roball-ға қызығушылық танытып, онымен ойнай бастағанын көрсетті. Балалармен ойнау сонымен қатар роботтың сенімділігі өте маңызды екенін көрсетті, өйткені балалар ойыншықтарды еденге жиі лақтырады.

Сфералық роботтарға арналған тағы бір қосымша-байқау. Шведтік Rotundus компаниясы 2004 жылы құрылған, маятникті жетегі бар сфералық бақылау роботын ойлап тапты. Бақылау роботтары балшық пен қар сияқты рельефтің барлық түрлерін шарлай алуы керек. Сфералық роботтар рельефтің осы түрлері үшін үлкен артықшылықтарға ие. Робот радармен, сондай-ақ

шабуылдаушыларды анықтауға арналған басқа сенсорлармен және хабарлама сигналымен жабдықталған.

Suclops - бұл қалалық жерлерде қашықтықтан бақылау мен барлауға арналған миниатюралық сфералық мобильді робот. Сфералық миниатюралық құрылымды құруға түрткі қалалық жерлерде полиция немесе әскери миссияларға үлкен сұраныс болды. Шағын өлшем жабық аймақта жасырын бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қашықтан бақылау адамдарға қауіпті жағдайды алыстан байқауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, ол кішкентай және салмағы жеңіл, оны қолмен киюге болады.

Қозғалыс жүйесі тік және көлденең осьтерде екі қозғалтқышы бар екі еркіндік дәрежесіне ие. Тік ось бойымен бір қозғалтқыш роботтың бағытын өзгертуге арналған. Қозғалтқыш роботқа салынған массаны айналдырған кезде, сфералық дененің өзі реактивті моменттің әсерінен қарама-қарсы бағытта айналады. Көлденең ось бойындағы басқа қозғалтқыш алға-артқа қозғалуға арналған. Сфералық денеді бірдей массаны алдыңғы немесе артқы жағында айналдыру арқылы робот ауырлық күшімен пайда болған моменттің арқасында алға немесе артқа бұрыла алады.

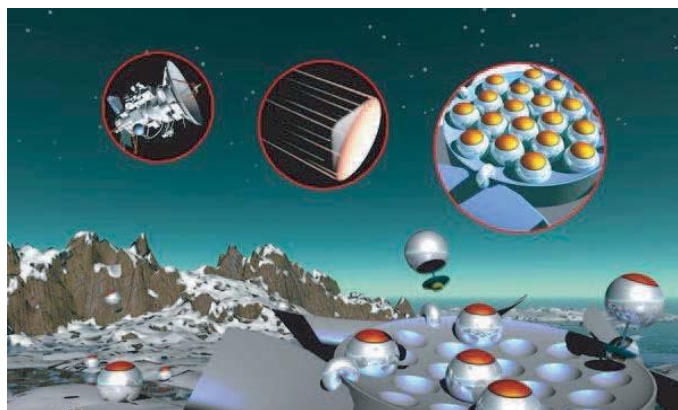
Басқару және қуат жүйесі микроконтроллерлерден, миниатюралық трансиверден және қуат жүйесінен тұрады. Микроконтроллерлер гироскоп, компас және қуат жүйесі сияқты перифериялық компоненттерді басқарады. Трансивер роботты адам басқаратын жердегі станциямен байланыстырады. Батареяларды қамтитын қуат жүйесі роботтың сфералық денесінде толығымен автономды, бұл оның еркін жүруіне мүмкіндік береді.

Осы контекстегі сенсорлық жүйе бақылау және қозғалыс үшін кез-келген сенсорларды қоспағанда, бақылау сенсорларын білдіреді. Suclops негізгі сенсоры-субминиатюралық қара және ақ камера. Камерадан алынған сурет жердегі станцияға жіберіледі, бұл операторға роботты басқаруға мүмкіндік береді.

Алайда, робот әлі де прототип болып табылады және болашақта жақсартулар жасалуы мүмкін. Мысалы, қазіргі уақытта жоғары ажыратымдылықтағы тағы бір миниатюралық әмбебап камера әзірленуде. Сондай-ақ қуатты бейне таратқыш әзірленуде. Сонымен қатар, қазіргі уақытта бүкіл роботты өлшемі, қуаты және сенімділігі бойынша жақсарту жоспарлануда.

АҚШ-тағы Массачусетс технологиялық институты (MIT) серпіліп, домаланып жүре алатын сфералық роботтарды дамытады. Бұл роботтарды жұмыртқа қорабына ұқсас контейнерде орналасқан басқа планеталарға жіберуге болады.

Ондаған микро-роботтарды қолданудың артықшылығы-олар ұжымдық мақсатқа жету үшін бірлесіп жұмыс істей алады. Мысалы, дұрыс орналастырылған кезде олар хабарламаларды үңгірдің тереңдігінен де орталық блокқа жібере алады.



Сурет 1.8- Марсқа сфералық микророботтар жіберілді

2. Зерттеу бөлімі

2.1 Роботтың құрылымы

Өзендер, көлдер мен батпақтар сияқты су объектілерімен қоршалған орманды жерлер мен батпақты жерлерді, әсіресе жасанды автоматты жүйелер мен роботтар үшін маневр жасау қиын. Сенімді роботты платформалардың болмауы көбінесе іздеу-құтқару жұмыстары, бақылау және осы аумақтарда жүргізілген зерттеулер сияқты операцияларды қиындатады. Көптеген әзірлемелер құрлықта да, суда да маневрлікті жақсартуға бағытталған болса да, амфибиялық мүмкіндіктері бар роботты платформаларды дамытуда аз жұмыс жасалды. Бұл мәселені шешу үшін сфералық жылжымалы амфибиялық роботтың дизайны ұсынылады. Сфералық жылжымалы робот қоршаған ортаға аз зиян келтіру қабілеті тұрғысынан пайдалы. Ұсынылған дизайнда роботтың қуат блогы үшін батареямен жұмыс істейтін тұрақты екі осьті маятник бар.

Жердегі және су бақылау роботының негізгі қажеттіліктерін келесідей қорытындылауға болады:

- a) ол портативті және сенімді болуы керек
- b) су өткізбейтін және
- c) амфибия (суда және жерде қозғалуға қабілетті).
- d) датчиктер мен бөлшектерді жылдам қосу немесе өшу үшін модульдік ішкі механизмі бар

Төменде көрсетілген ұсынылған модель үш негізгі блоктан тұрады, атап айтқанда:

- 1) сыртқы қабық
- 2) ішкі жетек
- 3) маятниктің орналасуы.

Механикалық құрылымды қарапайым және қуатты сақтау үшін редуктор қолданылды. Көлденең ось мен тік осьте айналатын қарсы салмақты басқаратын екі негізгі қозғалтқыш бар.

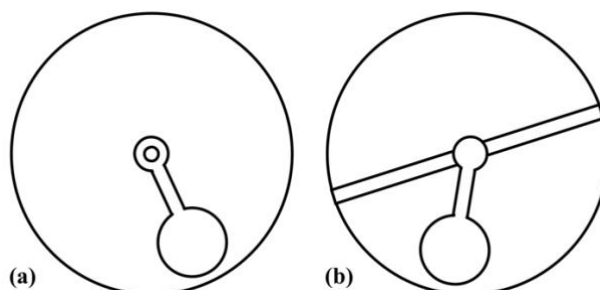
Маятниктің айналуы массаның ортасын орталықтан сыртқа қарай жылжытады, ал қабық айнала бастайды. Маятникті экватор бойымен солға немесе оңға жылжыту масса центрін солға немесе оңға жылжытады, ал робот тиісті бағытта бұрыла бастайды.



Сурет 2.1- Роботтың жұмыс істеу принципі

Робот шар тәрізді қатты қабықтан, диагональды біліктен, сызықты және айналмалы жетектен тұрады. Білік сфераның көлденең осі бойымен орналасқан және қабыққа бекітілген. Жылжымалы қозғалысты қамтамасыз ету үшін маятник көлденең осьтің айналасындағы білікке айналу моментін қолдана алады. Бұл момент сфераны көлденең және көлденең оське перпендикуляр бойлық ось бойымен алға-артқа айналдырады. Осылайша, ұсынылған сфералық робот бойлық ось бағытында да, сол осьтің айналасында да иілу қабілетіне ие, бұл оған айналмалы қозғалысқа мүмкіндік береді.

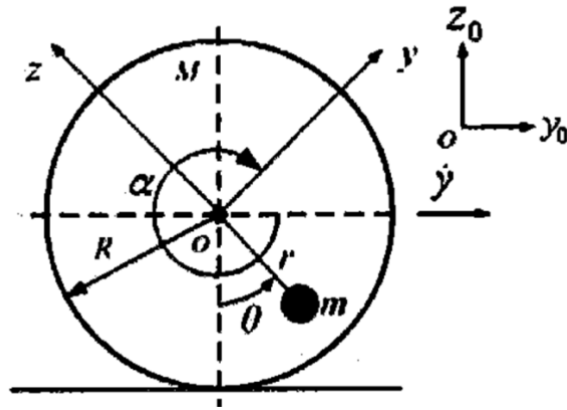
Маятникті жетек механизмі бар сферада әдетте бекітілген негізгі жетек білігі болады сфералық қабықта және жетек білігінен ілулі жылжытылған масса (маятник). Сфераны алға жылжыту үшін момент маятник пен жетек білігінің арасында қолданылады.



Сурет 2.2- а) роботтың жанынан қарағандағы қозғалу көрінісі
 б) роботтың алдынан қарағандағы қозғалу көрінісі

2.2 Роботтың сызықтық қозғалыстың динамикалық моделі

Сызықтық қозғалыс кезінде робот суретте көрсетілгендей сфераның қабығына қосылмаған қатты сфера ішіндегі маятник ретінде модельденетін бүйірлік көрініске жобалануы мүмкін.



Сурет 2.3- СЫЗЫҚТЫҚ ҚОЗҒАЛЫС МОДЕЛІ

Роботтың динамикасы келесі болжамдармен анықталады: (i) корпус пен еден арасында сырғанау жоқ. (ii) Екі маятник бұрыштардың айырмашылығы жоқ синхронды түрде айналады. Суретте көрсетілгендей y_0, z_0 координаты жерге бекітілген тірек координаттары болып саналады, ал y, z координаты роботқа бекітілген. Екі маятник орталық орнын өзгерту үшін қозғалтқыштарды θ бұрышқа бұрады.

Сонымен қатар, маятниктерге перпендикуляр y, z жазықтығында Инерция күштері пайда болады. Сфера x осінің айналасында екі маятниктерінің эксцентрілік моменті мен Инерция моментімен қозғалады, сондықтан сфера центрі y_0 ось бойымен қозғалады. Лагранж теңдеулері сызықтық қозғалыстың динамикалық теңдеулерін алу үшін қолданылады. Екінші тік маятниктерден пайда болған бұрыш θ келбеу бұрышы деп аталады. Тірек координаталарына қатысты сфераның бұрылу бұрышы мен кедір-бұдырлығы-дененің бұрышы α . Осылайша, қозғалтқыш біліктерінің айналу бұрышы $\theta + \alpha$. Келбеу бұрышы және сфераның центріне дейінгі қашықтық Лагранж теңдеулерінде жалпыланған координаттар болып саналады, ал t қозғалтқыштарының моменті жалпыланған күш болып табылады.

Жерге қатысты маятниктерден басқа сфераның кинетикалық энергиясын келесідей білдіруге болады

$$T_1 = \frac{1}{2} M \dot{y}^2 + \frac{1}{2} J \dot{\alpha}^2 \quad (1)$$

мұндағы M -сфераның массасы, $J = MR^2$ -сфераның инерция моменті, R -сфераның радиусы, $y = \alpha R$ -сфера центрінің алға жылжу жылдамдығы. Маятниктердің кинетикалық энергиясын келесі түрде білдіруге болады:

$$T_2 = \frac{1}{2} m (\dot{y} + r \dot{\theta} \sin \theta)^2 + \frac{1}{2} m (r \dot{\theta} \cos \theta)^2 \quad (2)$$

мұндағы m -екі маятниктің массасы, r -маятниктердің радиусы. Нөлдік потенциал нүктесі деп саналатын шардың центріне қатысты, жүйенің потенциалдық энергиясы:

$$V = -mgr \cos \theta \quad (3)$$

Лагранж функциясы келесі түрде болады:

$$L = T_1 + T_2 - V \quad (4)$$

Лагранж теңдеулеріне сәйкес:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_j} = Q_j \quad (5)$$

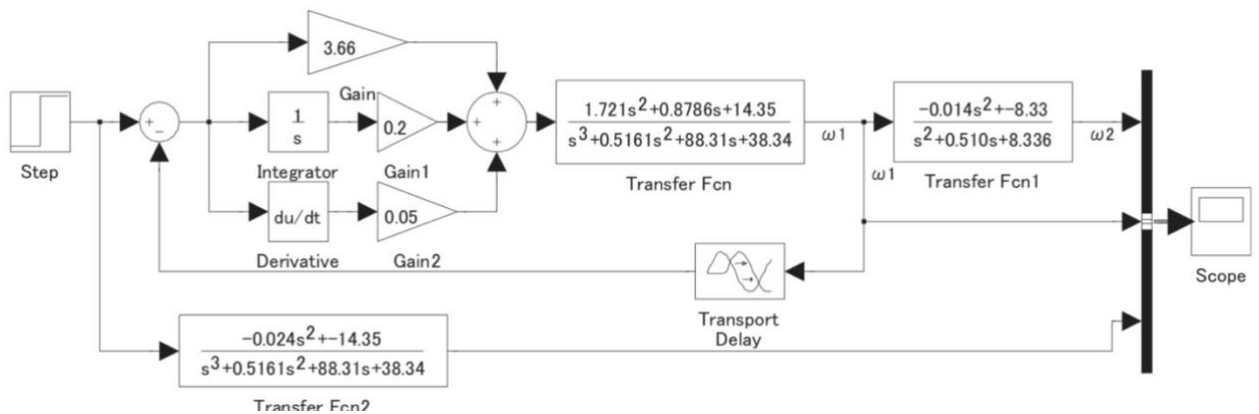
Сызықтық қозғалыс динамикасын келесідей жазуға болады:

$$\begin{cases} (m + 2M)\ddot{y} + mr\ddot{\theta} \cos \theta - mr\dot{\theta}^2 \sin \theta = \frac{\tau}{R} \\ m\ddot{y}r \cos \theta + mr^2\ddot{\theta} + mgr \sin \theta = \tau \end{cases} \quad (6)$$

Бұл динамикалық функция интеграцияланбайды, бірақ траекторияны жоспарлау үшін негіз береді, бұл жүйені бастапқы конфигурациядан бастап қажетті конфигурацияға дейін басқаруға мүмкіндік береді.

Сызықтық қозғалыс траекториясын келесідей белгіленеді:

$$y = f(\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}) = \frac{mg \sin \theta + mr \sin \theta R \dot{\theta}^2 + (mr^2 - mr \cos \theta R) \ddot{\theta}}{(m + 2M)R - mr \cos \theta} \quad (7)$$



Сурет 2.4- Қозғалысты тұрақтандырудың құрылымдық схемасы

3. Практикалық бөлім

3.1 Роботтың электрондық компоненттері



Сурет 3.1- Arduino UNO

Arduino Uno контроллері ATmega328-де салынған. Платформада 14 сандық кіріс / шығыс (6-ны PWM шығысы ретінде пайдалануға болады), 6 аналогтық кіріс, 16 МГц кварц генераторы, USB қосқышы, қуат қосқышы, ICSP қосқышы және қайта жүктеу түймесі бар. Жұмыс істеу үшін платформаны компьютерге USB кабелі арқылы қосу керек немесе AC/DC адаптері немесе батарея арқылы қуат беру керек.

Платформа сыртқы кернеумен 6 В-тан 20 В-қа дейін жұмыс істей алады, қуат кернеуі 7 В-тан төмен болса, 5 В шығысы 5 В-тан аз болуы мүмкін, ал платформа тұрақсыз жұмыс істей алады. 12 В-тан жоғары кернеуді қолданған кезде кернеу реттегіші қызып кетуі және тақтаны зақымдауы мүмкін. Ұсынылатын диапазон 7 В-ден 12 В-ға дейін.

Arduino UNO платформасында компьютермен, басқа Arduino құрылғыларымен немесе микроконтроллерлермен байланыс орнатуға арналған бірнеше құрылғы бар. ATmega328 UART TTL (5 В) сериялық интерфейсінің 0 (RX) және 1 (TX) түйреуіштерімен қолдайды. Тақтаға орнатылған ATmega8U2 чипі бұл интерфейсті USB арқылы басқарады, компьютер жағындағы бағдарламалар виртуалды COM порты арқылы тақтамен байланысады". Atmega8u2 микробағдарламасы стандартты USB com драйверлерін пайдаланады, бүйірлік драйверлер қажет емес, бірақ Windows-қа қосылу үшін ArduinoUNO файлы қажет болады.inf. Arduino бағдарламасының сериялық шинасын бақылау (Serial Monitor) платформаға қосылған кезде мәтіндік деректерді жіберуге және алуға мүмкіндік береді. Платформадағы Rx және Tx жарық диодтары FTDI чипі немесе USB қосылымы арқылы деректерді беру кезінде жыпылықтайды (бірақ 0 және 1 түйреуіштері арқылы сериялық берілісті пайдалану кезінде емес).

SoftwareSerial кітапханасы кез-келген Uno сандық шығысы арқылы дәйекті деректер беруді жасай алады.

ATmega328 I2C (TWI) және SPI интерфейстерін қолдайды. Arduino-да I2C шинасын пайдалану үшін Wire кітапханасы бар.

Сипаттамалары:

- Микроконтроллер: ATmega328
- Жұмыс кернеуі: 5 В
- Кіріс кернеуі (ұсынылған): 7-12 В
- Кіріс кернеуі (шекті): 6-20 В
- Цифрлық Кіру/Шығу: 14
- Аналогтық кірістер: 6
- Кіріс / шығыс арқылы тұрақты ток: 40 мА
- 3.3 в шығаруға арналған тұрақты ток: 50 мА
- Жад: 32 Кб (ATmega328), оның 0.5 Кб жүктеуші үшін қолданылады
- ОЗУ: 2 Кб (ATmega328)
- EEPROM: 1 Кб (ATmega328)
- Тактілік жиілігі: 16 МГц



Сурет 3.2- HC-05 Bluetooth

Көбінесе жобаларда телефоннан немесе басқа құрылғыдан деректерді қашықтан басқару немесе беру қажеттілігі туындайды. Ең танымал және ыңғайлы тәсілдердің бірі-Bluetooth арқылы деректерді бөлісу. Arduino тақтасы мен компьютерді байланыстыру үшін UART (Serial) интерфейсі қолданылады. Кез-келген Ардуино тақтасында кем дегенде 1 UART сериялық порты болғандықтан, Bluetooth модулін қосу үшін арнайы кітапханалар мен тізбектер қажет емес.

- Жұмыс жиілігі: 2,4 – 2,48 ГГц Тарату қуаты: 0,25-2,5 мВт
- Қашықтығы: 10 м
- Деректер алмасудың максималды жылдамдығы: 115200 бод
- Кернеу: 3,3 В
- Ток: 30-40 мА
- Жұмыс температурасы: 25С-тен 75С-ке дейін.



Сурет 3.3- SG-90 сервожетегі

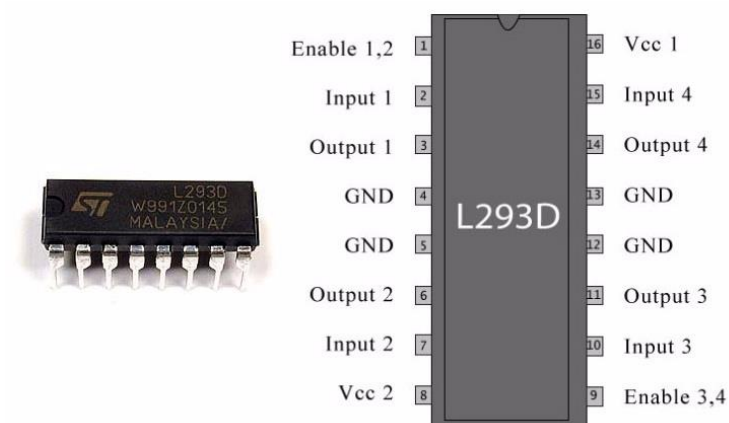
SG90 серво жетегі-бұл қозғалыс параметрлерін дәл басқара алатын жетек түрі. Басқаша айтқанда, бұл білігін белгілі бір бұрышқа бұра алатын немесе дәл кезеңмен үздіксіз айналуы қолдайтын қозғалтқыш. Серво жетегінің жұмыс схемасы кері байланысты пайдалануға негізделген (кіріс және шығыс сигнал келісілмеген жабық тізбегі). Датчикте орнатылған барлық параметрлерді автоматты түрде қолдайтын сенсор мен басқару блогы бар механикалық жетектің кез-келген түрі серво жетегі ретінде әрекет ете алады. Серво конструкциясы қозғалтқыштан, орналасу сенсорынан және басқару жүйесінен тұрады. Мұндай құрылғылардың негізгі міндеті-сервомеханизмдерді жүзеге асыру. Сондай-ақ, серво-дискілер көбінесе материалдарды өңдеу, көлік жабдықтарын өндіру, ағаш өңдеу, металл табақтар жасау, құрылыс материалдарын өндіру және т.б. салаларда қолданылады.



Сурет 3.4- Жетек қозғалтқышы

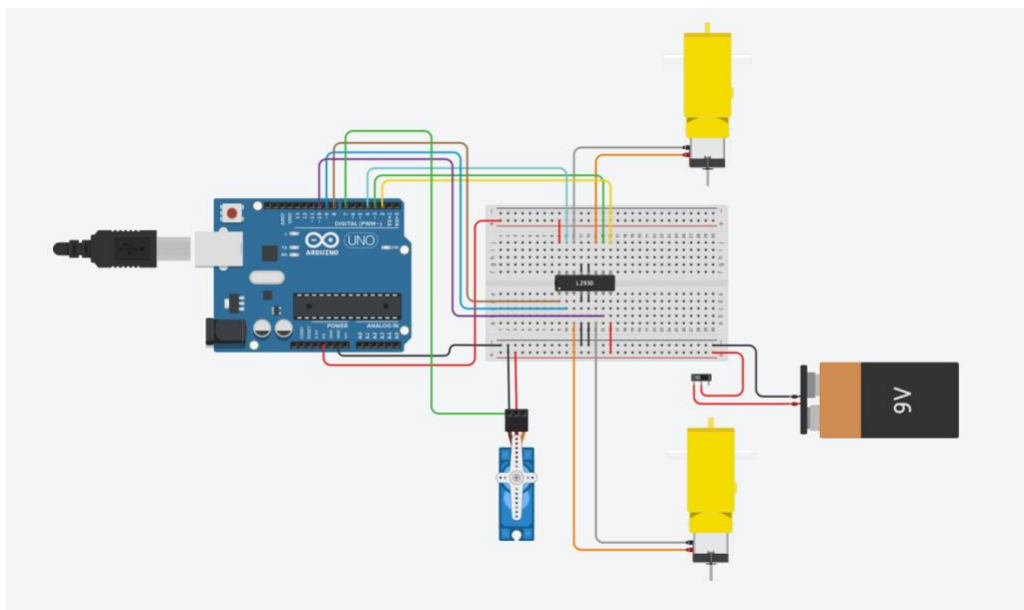
Жетек қозғалтқышы

- Жұмыс кернеуі: 3-тен 12 В-қа дейін
- Ток (жүктемесіз): 40-180ма,
- Айн / мин: 20-180 айн / мин
- Шығыс моменті: 0,8-5 кгсм
- Салмағы: 30 г



Сурет 3.5- L293D қозғалтқыш драйвері

L293D қозғалтқыш драйвері-электр қозғалтқыштарын басқаруға арналған ең көп таралған чиптердің бірі. Шын мәнінде, L293D чипінде аз қуатты электр қозғалтқыштарын басқаруға арналған екі драйвер бар (екі жұпқа біріктірілген төрт тәуелсіз канал). Басқару сигналдары үшін екі жұп кіріс және электр қозғалтқыштарын қосу үшін екі жұп шығыс бар. Сонымен қатар, L293D-де әр драйверді қосу үшін екі кіріс бар. Бұл кірістер электр қозғалтқыштарының айналу жылдамдығын ендік модуляцияланған сигнал (ШИМ) арқылы басқару үшін қолданылады.

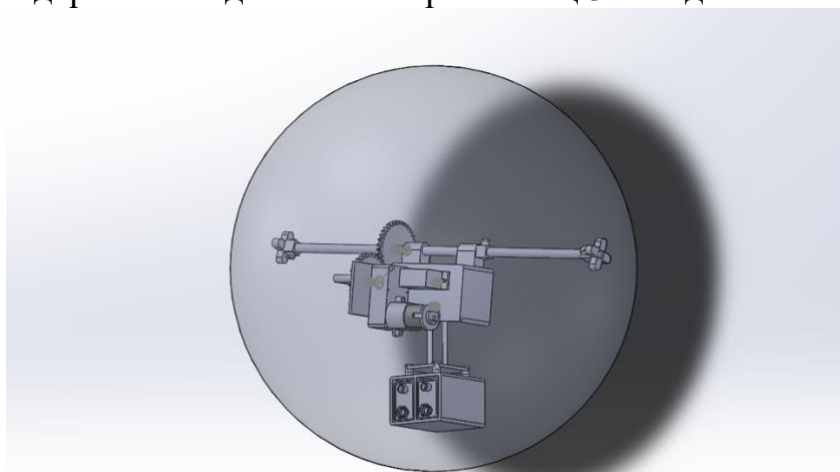


Сурет 3.6- Электрондық компоненттерінің қосылуы.

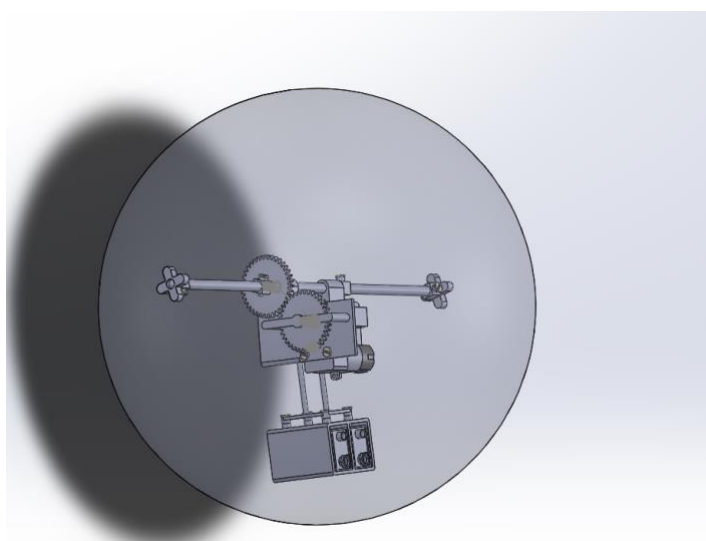


Сурет 3.7- Роботтың корпусы

3.2 SolidWorks бағдарламасында жасалған роботтың 3D моделі



Сурет 3.8- Роботтың 3D моделі



Сурет 3.9- Роботтың 3D моделі

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жобада маятникті қозғалтқышы бар сфералық роботтың жүйесі қарастырылып, практикалық іске асырудың жаңа идеясы көрсетілді.

Маятниктің айналуын қолданатын сызықтық қозғалыс теңдеуі Лагранж әдісін қолдана отырып, математикалық түрде алынды. Алынған динамикалық қозғалыс теңдеуіне негізделген маятниктің айналуын қолдана отырып, роботтың 3D дизайны және макеті жасаланды.

Жобаның мақсаты - құрлықта да, суда да бірдей қозғала алатын сенімді роботты ұсыну. Бұл робот маневр жасау қиын, су қоршаған объектілерде іздеу-құтқару жұмыстарын, бақылау және зерттеу операцияларын орындауға арналған.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Halme, A.; Schonberg, T.; Wang, Y. Motion Control of a Spherical Mobile Robot. In Proceedings of the 4th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC'96-MIE), Tsu-City, Japan, March 1996; 1, pp. 259–264.
2. N. MacMillan, R. Allen, D. Marinakis and S. Whitesides, "Range-based Navigation System for a Mobile Robot," *2011 Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, St. Johns, NL, 2011, pp. 16-23. doi: 10.1109/CRV.2011.10
3. Seeman, M.; Broxvall, M.; Saffiotti, A.; Wide, P. An Autonomous Spherical Robot for Security Tasks. In Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety, Orlando, FL, USA, April 2006; pp. 51–55.
4. Zhan, Q.; Cai, Y.; Yan, C. Design, Analysis and Experiments of an Omnidirectional Spherical Robot. In Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Shanghai, China, May 2011; pp. 4921–4926.
5. Li, B.; Deng, Q.; Liu, Z. A Spherical Hopping Robot for Exploration in Complex Environments. In Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Guilin, China, December 2009; pp. 402–407.
6. Schroll, G. Dynamic Model of a Spherical Robot from First Principles. M.S. Thesis, Colorado State University, Fort Collins, CO, USA, 2010.
7. Daliang Liu, Hanxv Sun, Qingxuan Jia and Liangqing Wang, "Motion control of a spherical mobile robot by feedback linearization," *2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Chongqing, 2008, pp. 965-970.
8. Brown, H., Jr.; Xu, Y. A Single-Wheel, Gyroscopically Stabilized Robot. In Proceedings of 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minneapolis, MN, USA, April 1996; 4, pp. 3658–3663.
9. Yamanaka, T.; Nakaura, S.; Sampei, M. Hopping Motion Analysis of "Superball"-Like Spherical Robot Based on Feedback Control. In Proceedings of 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003), Las Vegas, NV, USA, October 2003; 4, pp. 3805–3810.
10. Carpenter, M. Power-Optimal Steering of a Space Robotic System Driven by Control-Moment Gyroscopes. In Proceedings of 2008

- AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Honolulu, HI, USA, 18–21 August 2008.
11. Shu, G.; Zhan, Q.; Cai, Y. Motion Control of Spherical Robot Based on Conservation of Angular Momentum. In Proceedings of International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2009), Changchun, China, August 2009; pp. 599–604.
 12. Chadil, N.; Phadoongsidhi, M.; Suwannasit, K.; Manoonpong, P.; Laksanacharoen, P. A Reconfigurable Spherical Robot. In Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Shanghai, China, May 2011; pp. 2380–2385.
 13. A. Bicchi, A. Balluchi, D. Prattichizzo and A. Gorelli, "Introducing the "SPHERICLE": an experimental testbed for research and teaching in nonholonomy," *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, Albuquerque, NM, USA, 1997, pp. 2620-2625 vol.3.
 14. Sang, S., Zhao, J., Wu, H., An, Q.: Fuzzy Logic Control for Wheeled Mobile Robots. In: 6th Int. Conf. on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp. 237–241. IEEE Press, Los Alamitos (2009)
 15. Javadi, A., Mojabi, P.: Introducing august: a novel strategy for an omnidirectional spherical Rolling Robot. In: Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation. IEEE Press, Los Alamitos (2002)
 16. Ferriere, L., Raucant, B., Campion, G.: Design of Omnimobile Robot Wheels. In: Proc. of Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3664–3670. IEEE Press, Los Alamitos (1996)
 17. Mukherjee, R., Minor, M.A., Pukrushpan, J.T.: Simple Motion Planning Strategies for Spherobot: A Spherical Mobile Robot. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Decision and Control, pp. 2132–2137. IEEE Press, Los Alamitos (1999)
 18. Reina, G., Foglia, M., Milella, A., Gentile, A.: Rough-terrain traversability for a cylindrical shaped mobile robot. In: Int. Conf. on Mechatronics, pp. 148–155. IEEE Press, Los Alamitos (2004)
 19. Wait, K.; Jackson, P.; Smoot, L. Self Locomotion of a Spherical Rolling Robot Using a Novel Deformable Pneumatic Method. In Proceedings of 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Anchorage, AK, USA, May 2010; pp. 3757–3762.
 20. Michaud, F.; Laplante, J.; Larouche, H.; Duquette, A.; Caron, S.; Létourneau, D.; Masson, P. Autonomous spherical mobile robot for child-development studies. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. A* **2005**, *35*, 471–48

ҚОСЫМША А

Arduino коды:

```
spherical_robot §
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>

int in1 = 8;
int in2 = 9;
int in3 = 3;
int in4 = 4;
int ena = 7;
int enb = 2;

SoftwareSerial Bluetooth(0, 1);
Servo servoTurn;
Servo servoMove;

#define MAX_UARTCMDLEN 128
byte uartCmdBuff[MAX_UARTCMDLEN];
int uartCmdLen = 0;
char val;

void setup()
{
    pinMode(ena, OUTPUT);
    pinMode(in1, OUTPUT);
    pinMode(in2, OUTPUT);
    pinMode(in3, OUTPUT);
    pinMode(in4, OUTPUT);
    myservo.attach(10);
    servoTurn.attach(8);
    servoMove.write(90);
    servoTurn.write(90);

    pinMode(9, OUTPUT);
    digitalWrite(9, HIGH);

    Serial.begin(9600);
    Serial.println("AT Command:");

    Bluetooth.begin(9600);
}

void loop()
{
    if ( Bluetooth.available() ) {
        Serial.write(Bluetooth.read());
    }
}
```

ҚОСЫМША А ЖАЛҒАСЫ

```
spherical_robot §
if ( listenSerialCmd(>0 ) {
    executeSerialCmd();
}
}

int listenSerialCmd() {
    char tmp;
    uartCmdLen = 0;
    memset(uartCmdBuff,0,MAX_UARTCMDLEN);
    while( Bluetooth.available(>0 ) {
        if( tmp=Bluetooth.read()=='0' ){
            uartCmdLen = 0;
        }

        Serial.write(tmp);
        uartCmdBuff[(uartCmdLen++)%MAX_UARTCMDLEN] = tmp;
        delay(5); // wait RX signal
    }
    return uartCmdLen;
}

void executeSerialCmd() {
    char cmd[MAX_UARTCMDLEN];
    char* p;
    int value = 0;

    int value = 0;

    sprintf(cmd,"%s",uartCmdBuff);
    if ( (p=strchr(cmd,','))==NULL )
        return;
    *p = '\0';

    value = atoi(p+1);
    Serial.print("Dir:"); Serial.print(cmd);
    Serial.print(", Value:"); Serial.println(value);

    switch ( cmd[0] ) {
        case 'm':
            servoMove.attach(12);
            servoMove.write(value);
            break;
        case 't':
            servoTurn.write(value);
            break;
        case 's':
            servoMove.detach();
            break;
    }
    delay(20);
}
```