

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Жақсатова Айдана Жақыпбекқызы

Адымдаушы шағын робот жасау дипломдық жобасына
ТҮСІНДІРМЕ ЖАЗБАСЫ

5B71600 – «Аспап жасау» мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

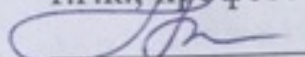
Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

РТЖАТҚ кафедрасының меңгерушісі

т.ғ.к., профессор

 Қ.А. Ожикенов

« ____ » _____ 2019 ж.

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: Адымдаушы шағын робот жасау

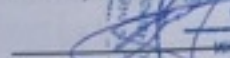
5B071600 – «Аспап жасау» мамандығы

Орындаған

Жақсатова А.Ж.

Пікір беруші

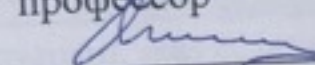
PhD, доцент

 Балбаев Г.К.

« ____ » _____ 2019 ж.

Ғылыми жетекші

ф.-м.ғ.к., қауымдастырылған
профессор

 Бактыбаев М.К.

« ____ » _____ 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты

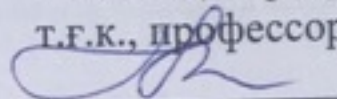
«Роботтық техника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

5B071600 – Аспап жасау

БЕКІТЕМІН

РТЖАТҚ кафедрасының меңгерушісі

т.ғ.к., профессор

 Қ.А. Ожикенов

«___» _____ 2019 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Жаксатова Айдана Жақыпбекқызы

Жобаның тақырыбы: Адымдаушы шағын робот жасау

Институттың № ___ «___» _____ 2019 жылғы Ғылыми кеңесінің шешімімен бекітілген.

Орындалған жобаны өткізу мерзімі «___» _____ 2019 жыл

Дипломдық жобаның бастапқы мәліметтері: Адымдаушы робот туралы жалпы түсінік. Адымдаушы роботтың қозғалысын жобалау.

Есеп-түсініктеме жазбаның талқылауға берілген сұрақтарының тізімі мен қысқаша дипломдық жобаның мазмұны:

а) Адымдаушы робот платформасының атқарушы механизмдерінің құрылымын әзірлеу;

б) Адамның атқарушы және тапсырушы механизмдерінің динамикасын, жетектері мен басқару қасиеттерін ескере отырып, жетектерді іске келтіру;

в) А Қосымшасы. Бағдарлама мәтіні;

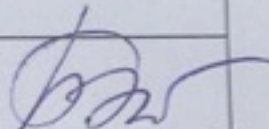
Графикалық материалдардың тізімі (міндетті түрде қажет сызбалар көрсетілген) 15 слайд

Ұсынылған негізгі әдебиеттер 26 әдебиеттер тізімі

**Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескертулер
Негізгі бөлім	15.01 – 05.03.2019 ж.	
Технологиялық бөлім.	06.03 – 10.04.2019ж.	
Конструкторлық бөлімі	15.04 – 10.05.2019 ж.	

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

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтанба қойылған мерзімі	Қолы
Қалып бақылаушы	Ж.С.Бигалиева, техника ғылымдары магистрі, лектор	14.05.2019ж	

Ғылыми жетекшісі _____ М.К.Бактыбаев
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ А.Ж.Жақсатова
(қолы)

Күні «_____» _____ 2019 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жобады көп еркіндік дәрежесі бар адымдаушы робот қарастырылған. Жұмыстың негізгі мақсаты қарапайым адымдаушы роботты жобалау. Жұмыс барысында талдау, есептеу және қолайлы басқару әдісін таңдау орындалды. Басқару жүйесін модельдеу жүргізілді, алынған нәтижелерге талдау жүргізілді. Бұл дипломдық жұмыс үш бөлімнен тұрады. Дипломдық жұмыста қазіргі кезде қолданысқа ие адымдаушы роботтар туралы жалпы түсінік, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері, роботтың қозғалысына және оны жобалауға анализ жасалынған. Сондай-ақ өзгеретін бұрыштары бар беттермен жүру қиындығы анықталады. Адымдаушы роботты дайындау мүмкіндіктері, кинематикалық және функционалдық схеманы әзірлеу қарастырылады. Сондай-ақ сервожетекті басқарушы контроллермен басқару сипаттамасы, сервожетекті басқару кезінде импульсті қалыптастыру көрсетілген. Қолданылатын материалдар тізімі, сондай-ақ Ардуино микроконтроллері мен Tower Pro сервожетегі туралы ақпараттар келтірілген. Роботтың құрастырылуы, құрастырылған роботты бағдарламалық тілдің көмегімен жұмысқа келтіру көрсетілген.

АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте предусмотрен шагающий робот, имеющий большую степень свободы. Основной целью работы является проектирование простого шагающего робота. В процессе работы выполнялся анализ, расчет и выбор оптимального метода управления. Проведено моделирование системы управления, проведен анализ полученных результатов. Эта дипломная работа состоит из трех разделов. В дипломной работе проанализировано общее представление об умеющих роботах, их преимущества и недостатки, анализ движения робота и его проектирования. Также определяется сложность движения по поверхностям с изменяющимися углами. Предусматривается возможность подготовки шагающего робота, разработка кинематической и функциональной схемы. Также показана характеристика управления сервером управления контроллером управления, формирование импульса при управлении сервером. Список используемых материалов, а также информация о микроконтроллере Ардуино и сервоприводе Tower Pro. Показано конструирование робота, приведение разработанного робота в работу с помощью программного языка.

ABSTRACT

The diploma project provides a walking robot with a large degree of freedom. The main purpose of the work is to design a simple walking robot. In the course of work the analysis, calculation and selection of the optimal control method were performed. The simulation of the control system, the analysis of the results. This thesis consists of three sections. The thesis analyzes the General idea of able robots, their advantages and disadvantages, analysis of the robot motion and its design. The complexity of movement on surfaces with changing angles is also determined. It is possible to prepare a walking robot, the development of kinematic and functional scheme. Is also shown characteristics of management management server management controller, the pulse shaping in the management server. List of materials used, as well as information about the Arduino microcontroller and Tower Pro server. The design of the robot, bringing the developed robot to work with the help of a software language is shown.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	9
1	Негізгі бөлім	10
1.1	Адымдаушы роботтар туралы жалпы түсінік	10
1.2	Адымдаушы роботтың бейімделуі	11
1.3	Адымдаушы робот қозғалысын жобалау	12
2	Технологиялық бөлім	20
2.1	Адымдаушы роботтың кинематикалық моделі	20
2.2	Функционалдық схеманы әзірлеу	21
2.3	Сервожетекті басқарушы контроллермен басқару сипаттамасы	22
2.4	Сервожетекті басқару кезінде импульсті қалыптастыру	23
3	Конструкторлық бөлім	26
3.1	Ардуино UNO микроконтроллері	26
3.2	Tower Pro SG90 сервожетегі	28
3.3	HC-SR04 ультрадыбысты қашықтық өлшеуіші	31
3.4	Адымдаушы роботты құрастыру	33
	Қорытынды	37
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	38
	Қосымша А	

КІРІСПЕ

Бұл дипломдық жұмыс адымдаушы роботты жобалап, құрастыруға негізделген. Қазіргі уақытта іс жүзінде барлық өнеркәсіптік дамыған елдерде адымдайтын роботтарды құру және зерттеу бойынша жұмыстар қарқынды жүргізілуде. Бұл дәстүрлі дөңгелекті және шынжыр табанды машиналармен салыстырғанда, жүріп келе жатқан машиналардың дәстүрлі көлік құралдарының алдында баспалдақтар, үйінді жер мен тар дәліздер, шахталар бойынша қозғалу қажет ғимараттар мен құрылыстардың ішінде күрделі рельефпен қозғалу кезінде бірқатар артықшылықтары бар. Адымдайтын роботтар - жануарлар мен жәндіктердің қозғалысына ұқсас роботтардың класы. Әдетте, роботтар механикалық аяқтарын жылжыту үшін пайдаланады. Адымдаушы роботтар жәндіктердің, шаян тәрізділердің және кейде адамның қозғалысына ұқсас жасалады. Екі аяқты роботтардың конструкциялары сирек кездеседі, себебі олар күрделі инженерлік шешімдерді талап етеді.

Басқару жүйелерінің бағдарламалық қамтамасыз етуі адымдаушы роботтардың қасиеттері мен сипаттамаларын анықтайды. Қоршаған жағдайдың жоғары белгісіздігі аяқ-қолдарды басқарудың қатаң алгоритмдерін пайдалану мүмкіндігін шектейді. Басқару жүйесінің құрамына роботтың корпусы мен оның аяқ-қолдарының кеңістікте орналасуын анықтау, тірек бетін бақылау, қозғалыс бағытын бағалау және таңдау құрылғылары, роботтың функционалдығын кеңейтуге, қандай да бір сервистік функцияларды орындауға арналған құрылғылар кіруі тиіс екені анық. Ең перспективалы шешім тірі табиғат өкілдерінен (жәндіктер, сүтқоректілер, буынаяқтылар) аяқ-қолдардың жылжу алгоритмдерін алу болып табылады.

Жұмыстың мақсаты адаптивті адымдаушы робототехникалық құрылғылар саласында зерттеулер жүргізу үшін бағдарламалық-аппараттық кешенді әзірлеу болып табылады.

Қойылған мақсатқа жету үшін жұмыста келесі міндеттер қойылған:

а) адымдаушы робот платформасының атқарушы механизмдерінің құрылымын әзірлеу;

б) адамның атқарушы және тапсырушы механизмдерінің динамикасын, жетектері мен басқару қасиеттерін ескере отырып, жетектерді іске келтіру, сондай-ақ супервизорлық және автоматты басқаруды іске асыратын басқару алгоритмдерін әзірлеу;

в) роботтың бейімделмеген және бейімделген қозғалу алгоритмдерін әзірлеу;

г) адымдаушы роботты мейлінше қарапайым етіп жобалау, ардуино бағдарламалық тілін қолдану.

1 Негізгі бөлім

1.1 Адымдаушы роботтар туралы жалпы түсінік

Біздің қарқынды техникалық ілгерілеу заманымызда адамзат өндірістің толық автоматтандырылуына тез көшуде. Роботтар өндірісте барған сайын маңызды болып келеді. Бүгінде белгілі бір технологиялық операцияларды орындайтын роботсыз кез-келген ірі өндірісті елестету мүмкін емес. Бірақ роботтар тек фабрикалар мен зауыттарда ғана емес – бүгін роботты көшелерде де, тіпті үй тұрмысында да кездестіруге болады.

Роботтар бұл адамның механикалық көмекшілері, олар орнатылған бағдарлама бойынша операцияларды орындауға және айналасына жауап беруге қабілетті.

Робот (чеш. robot, robota — еріксіз еңбек, rob- құл), қоршаған ортамен өзара іс-қимыл жасау кезінде адамның (кейде жануардың) функцияларын ішінара немесе толық орындайтын антропоморфты (адамға ұқсас) машина.

Пайда болған сәтінен бастап жарты ғасыр бұрын роботтар адамның өз мүмкіндіктері бойынша айтарлықтай басым бола отырып, қарапайым механизмдерден күрделі тиімді құрылғыларға дейінгі жолдан өтті. Алдағы онжылдықта неғұрлым дамыған роботтар адамдардың таптырмайтын көмекшілеріне айналады және өркениет қажеттілігінің көп бөлігін қамтамасыз етуді өзіне алады.

Әртүрлі роботтардың көптеген саны бар, тиісінше, роботтарды жіктеу нұсқаларының: көлемі мен нысаны бойынша, функционалдық мақсаты бойынша, бағдарламалық логика түрі және т. б. бойынша үлкен саны бар. Жіктеудің барлық типтерінің арасында ең маңыздысы қозғалыс мүмкіндігі бойынша жіктеу болып табылады, оған сәйкес барлық роботтарды қозғалмайтын және қозғалатындарға бөлуге болады. Бұл жобада қозғалатын роботтар және олардың адымдаушы түрлері қарастырылады.

Адымдаушы роботтар – қозғалатын роботтардың екінші кең тараған түрі. Роботтардың осы түрінің ерекше өзгешелігі конструкцияны жобалау кезінде биологиялық тәсіл қолданылады. Жүріс конструкциясы және алгоритмі тірі жануарларды бақылау материалдары негізінде құрылады. Конструкциялардың нұсқаларының ерекшелігі тірі табиғаттағы қолданылатын мысалдардың әртүрлілігімен негізделген, бірақ бұл ретте жалпы ерекшеліктерді, соның ішінде артықшылықтары мен кемшіліктерін атап өтуге болады[1].

Артықшылықтары:

- Биіктік күрт алмасатын кедергілерден (шұңқыр) өту;
- Аяқ-қолды бекіту деңгейіне дейін биіктіктегі кедергілерден (ойық) өту мүмкіндігі;
- Орнында тұрып бұрылу;
- Орнынан кез келген бағытта қозғалысты жүзеге асыру мүмкіндігі;
- Әр түрлі биіктік деңгейлі бетте корпустың көлденең бағдарын ұстап тұру мүмкіндігі.

Кемшіліктері:

- Шағын қозғалыс жылдамдығы;
- Қозғалыстың біркелкі болмауы мүмкін;
- Конструкциясын іске асыру қиындығы (әсіресе екі аяқты роботтар үшін).

1.2 Адымдаушы роботтың бейімделуі

Адымдаушы роботтардың (немесе жалпы мағынада адымдаушы механизмдердің) көптеген анықтамалары бар. Массачусетс технологиялық институтының зертханасында ең қарапайым анықтама беріледі:

Адымдаушы робот - бұл дөңгелектің емес, аяқтың көмегімен қозғалатын. Егер адымдаушы механизмнің механикалық конструкциясын қарастыратын болса, онда адымдаушы механизм көптеген денелер жүйесін, яғни топсалармен және күштік элементтермен жалғанған қатты денелер жүйесін қарастырады.

Ресей ғылыми ортасында қозғалыс процесінде механизм қалдырған ізді қарастыратын анықтама кең таралған. Адымдаушы механизм ұғымы қозғалу барысында үзілмелі із қалдыратын механизмді білдіреді. Егер адымдаушы роботтың негізгі міндеті күрделі бедерлі беттермен қозғалу екендігіне сүйенетін болсақ, онда адымдаушы робот – бұл өзінің қозғалуы кезінде беттің өзгертін пішініне бейімделетін робот. Осы анықтамадан кез келген адымдаушы механизм үшін осы немесе басқа түрдегі бейімділіктің болуына қойылатын талап тікелей туындайды. Жалпы жағдайда бейімделуге қабілетті жүйені, яғни ішкі және сыртқы жағдайлардың өзгеруіне бейімделуі мүмкін жүйені бейімделген деп санайды. Бейімделу ұғымы бейімделудің жалпы ұғымымен байланысты. Бейімделу дегеніміз жүйенің жағдайды өзгертуге ыңғайландыру[2].

Адымдаушы роботтың бейімделу қозғалысы дегеніміз қозғалу болып табылады, робот өзінің қозғалуы барысында өзі қозғалатын бет бедерлерінің өзгермелі нысанын ескереді және осыны ескере отырып, қозғалыс кезінде тұрақтылыққа қол жеткізу үшін өзінің қалпын түзетеді.

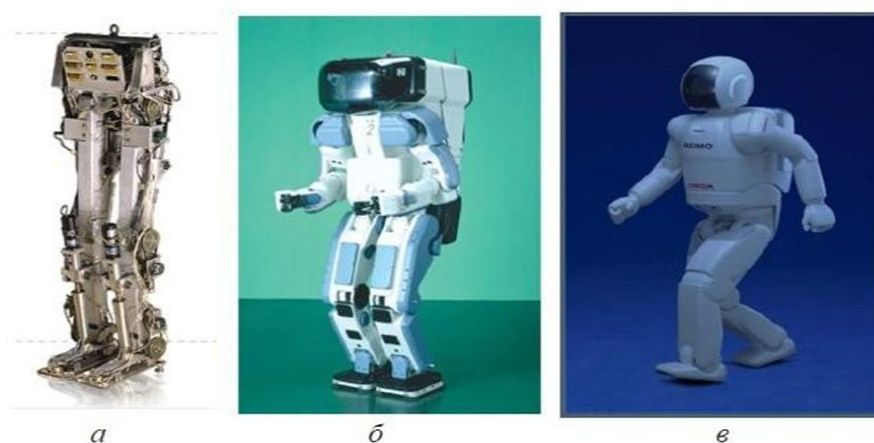
Екі аяқты андроид құрылымының адам ортасында қосымша рөлдерде жұмыс істейтін робот үшін белгілі бір артықшылықтары бар. Адамға ұқсайтын екі аяқты адымдаушы робот аяқтарындағы локомация (қозғалыс) арқылы тосқауылдардан өте алады, және тағы басқа да артықшылықтары бар. Дегенмен, екі аяқты қозғалысты бақылау күрделі болып табылады. Бұл байланыс дәрежелері мен сызықты емес динамикамен көптеген бостандық дәрежелерін басқару қажеттігіне байланысты. Соңғы төрт онжылдықта робот-андроидтың жүрісін басқару бойынша қарқынды зерттеулер жүргізілуде.

Бұл саладағы ең күрделі проблемалардың бірі тегіс еденде ғана емес, сонымен қатар тегіс емес және еңіс беттерде де жүрістің сенімді теңгерімі болып табылады. Көлбеу беттер адамның күнделікті өмірінде өте жиі кездеседі. Бұл жұмыста көлбеу жазықтықтар бойынша жүруді басқару үшін анық емес

логика параметрлерін бейімдеу жүйесі ұсынылған. Қозғалыстың бірқалыпты траекториясы нөлдік сәттің нүктесі (ZMP) тұрақтылығының критерийі және сызықтық инверттелген маятник моделінің (LIPM) негізінде құрылады. Тәуелсіз бірлескен тепе-тең интегралды саралаушы реттегіштер нөлдік сәттің нүктесі (ZMP) және табан тіреуіші негізінде декарттық салмақ жүйесі орталығынан кері кинематика көмегімен алынған күй координаталарына берілген сілтемелерді қадағалау үшін пайдаланылады.

Тік оське қатысты дене бұрышы «дененің көлбеу бұрышы» деп аталады. Адамның денесіне қатысты табан бұрышы «аяқтың көлбеу бұрышы» деп аталады. Тарих бойынша іріктеудің соңғы санымен есептелген дене қадамының орташа бұрышы нақты уақыт режимінде аяқтың көлбеу бұрышын есептейтін анық емес логика жүйесіне кіру ретінде пайдаланылады, ол көп қолданылатын тірек ретінде қолданылады. Ережелердің қарапайым негізі сезімсіздік аймағын енгізу үшін салынған.

Бұл өлі аймақ роботтың динамикасына қажетсіз кедергі жасамау үшін дене түзу болу үшін жақын орналасқан кезде табанның тіреулік көлбеу бұрышын өзгертуге кедергі жасайды. Қосымша контроллер табан қадамының осі үшін тірек модификациясын бірлескен деңгейде есептейді. Бұл контроллер тірек беттерімен тиісті байланыс орнату мақсатында табан қадамын барынша азайтуға тырысады. 12 DOF робот моделімен 3D-модельдеу ұсынылған анық емес параметрлерді бейімдеу жүйесін тексеру үшін жүргізіледі. 1.1-суретте тегіс және көлбеу жазықтықта қозғалатын қарапайым екі аяқты робот бейнеленген[3-4].



1.1 Сурет – HONDA фирманың E0 (1986) (а), P2 (1996) (б) модельді роботтары

1.3 Адымдаушы робот қозғалысын жобалау

Роботтың қозғалысын координата жүйесінде түсіндіретін болсақ. Роботтың қозғалысының бағыты координаталар жүйесіндегі Х осіне сәйкес келеді. Басқа корпус роботтың корпусына бекітілген. Денені «орталық» буын

ретінде қарастыруға болады, себебі аяқтары сонымен жалғанған. Бастапқыда корпусының осьтері кадр осьтеріне параллель болып біріктіріледі. Бірақ қазғалыс кезінде бұл параллель туралау гравитациялық күштерді қоса алғанда, аяқтардың жермен өзара әрекеттесуі, көлбеулердің өзгеруі және сызықтар арасындағы байланыс әсерлері секілді әр түрлі әсерлерге байланысты жүру кезінде өзгереді. Тік сызықпен координаталардың жүйесінің z осінің бұрышы болып табылатын дененің көлбеу бұрышы жүріс балансының индикаторы болып табылады. Бұл бұрыш β ретінде белгіленген 1.2-суретте оң жақта көрсетілген. Дененің нөлдік көлбеу бұрышымен жүру эталондық буынға жоспарланған деп болжай отырып, бұл бұрышты өлшеу робот осы сілтемеден кейін жүретінін көрсететін кері байланысты қамтамасыз ете алады. Ол сондай-ақ алға немесе артқа құлауын анықтай алады.

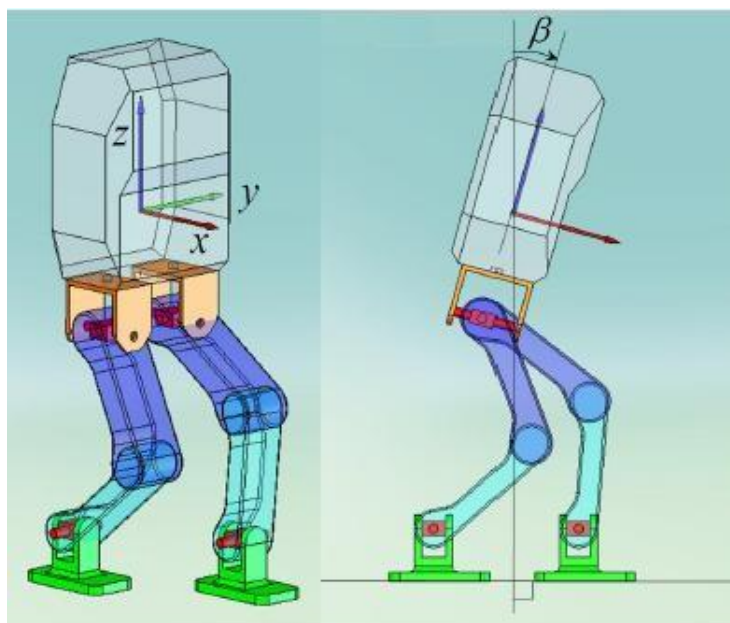
Жүру кезінде дененің көлбеу бұрышына әсер ету арқылы тұрақтылықты арттыра алатын көптеген басқару әрекеттері бар. Дененің төменгі бөлігіне және дененің жоғарғы бөлігіне (тиісінше табаға және магистральды буынға) бөлетін тәуелсіз топсалы қосылыстары бар роботтар үшін, бұл буындардың қозғалысы тұрақтылықты арттыру үшін тікелей пайдаланылуы мүмкін. "Виртуалды жамбас көлбеу бұрышын" енгізеді және дененің қадамын тәуелсіз қосылыссыз роботтар үшін басқару әсері ретінде қолдану мүмкін екенін көрсетеді.

«Виртуалды жамбастың көлбеу бұрышын» енгізеді және дене қадамының қозғалысы дене қадамын тәуелсіз қоспайтын роботтар үшін басқарушы әсер ретінде қолданылуы мүмкін екенін көрсетеді.



1.2 Сурет – Бір аяқты секіретін робот (а), желе жортып жүгіретін төрт аяқты робот (б), және екі аяқты «Серпімді фламинго» роботы (Spring Flamingo) (в)

Кейбір тәсілдерде 1.2-суреттегі β дененің көлбеу бұрышы әлемдік қаңқаның тік осінің айналасындағы роботтың инерция моментінің ұлғаюымен белсенді модификацияланады. Бұл фактіні пайдалана отырып, іздеу сәтін өтеу әдістері Фудзимото мен Кавамурамен зерттеледі[20].

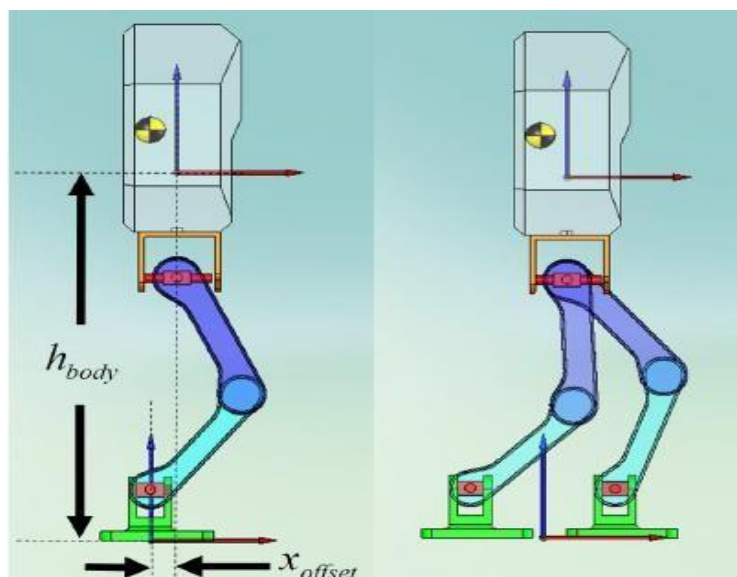


1.3 Сурет – Дене координаталары жүйесі және дене бұрышы

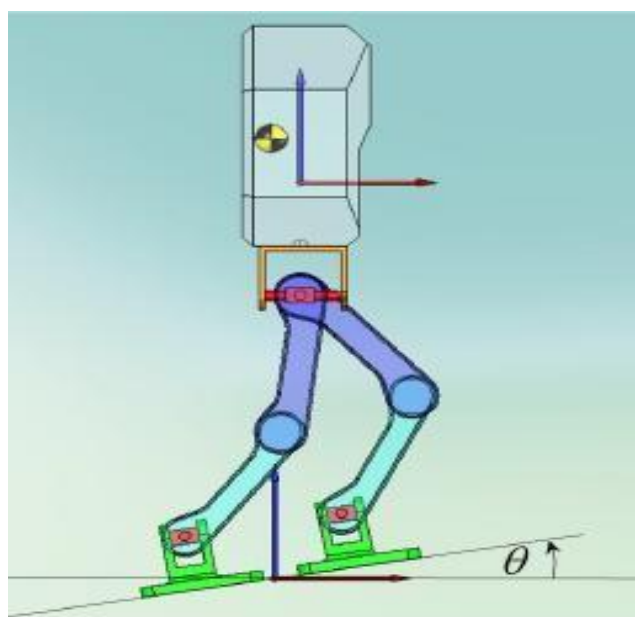
Белгілі бір бақылау мәніндегі дененің көлбеу бұрышын сақтау көптеген қосымшаларда, әсіресе объектілер, манипуляциялар және адам мен роботтың өзара іс-қимылы үшін кең таралған болып табылады. ($\beta = 0$). Тік позиция беткейлерде өз артықшылықтарына ие. Жоғарғы дененің ең аз қозғалысы (шамамен ауыр) ілінісудің тізбекаралық сәттерінің аз мөлшерін ғана тудырады, демек, жүруді басқару міндетін жеңілдетеді.

Бұл жұмыста біз жер деңгейінде тірек осінің айналасындағы тіректерінің айналуымен қадамдайтын жазықтықты түрлендіруді ұсынамыз. Бұл осьтің дене координаталарының кадрында орналасуы параметрмен және 1.3-суреттегі параметрлердің жылжуымен анықталады. Нөлдік сәттің нүктесі (ZMP) және сызықтық инвертирленген маятник (LIPM) негізіндегі тірек сигналын генерациялау әдістерінде қолданылатын дене биіктігінің тұрақты тірек параметрі. Бұл жұмыста біркелкі эталондық салыстырудың бірдей әдісі қолданылады. Ығысу - бұл фрейм табаны табанының оң және сол тіректерінің орталық нүктесінің бағытталған координаты, дене координатасының кадрында көрсетілген. Бұл жылжу параметрінің рөлі тірек полигоны орталығын суретте шеңбер түрінде көрсетілген Робот массасының ортасынан тікелей төмен орналастыру болып табылады.

Ығысу - бұл фрейм табанының оң және сол тіректерінің орталық нүктесінің бағытталған координаты, дене координатасының кадрында көрсетілген. Бұл ығысу параметрінің негізгі қызметі тірек полигоны орталығын, суретте шеңбер түрінде көрсетілген, робот массасының ортасынан тікелей төмен орналастыру болып табылады. 1.4 - суреттегі сол жақ сызбада робот қозғалыссыз тұрған орынды көрсетеді, ал суреттегі оң жақта түзу жазықтықта жүргенде робот бейнеленген.



1.4 Сурет – Координаттар жүйесі жер деңгейінде табан тіректерінің орталық нүктесіне бекітілген. Бұл координаттар жүйесі адымдайтын жазықтықты өзгерту үшін табан тіректерінің айналуын анықтау үшін қызмет етеді



1.5 Сурет – Негізгі механизмнің θ -ге бұрылуы қозғалыстың траекториясын жаңа жазықтықта анықтайды.

Координаттар жүйесін дененің координаттарының жақтауына ұқсас бағдармен жаяу траекторияның орталық нүктесінде орналастыра отырып, 1.5-суреттегі θ бұрышты осы кадрдағы у теріс осі айналасында бұрылыс бұрышы ретінде анықтаймыз. (Біз бұл бұрышты «аяқтың көлбеу бұрышы» деп атаймыз.) Осы кадрда көрсетілген тірек аяғының координаттары (кез келген уақыт үшін) жаңа сілтемелерге бұрылады[5].

Бұл айнарудың нәтижесі дененің бағдарын өзгертпей жүру жазықтығын өзгерту болып табылады. Табан тірегінің айналымды түрленуі бұл аяқтың бағытын өзгертуден артықкөкөнін айта кету керек. Бұл түрлендіру табанның қозғалысының бағытын өзгертеді. Табанның қозғалуы түрленгеннен кейін, бастапқыда анықталған еденге параллель жұп θ жарық жазықтығының көлбеу бұрышына параллель болады. Келесі бөлімде біз анық емес логика жүйесін әзірлейміз, ол дененің β көлбеу бұрышын есептей отырып, нақты уақыт режимінде θ реттейді. Бұл табан буынының кіріс моменті кезінде көлбеу бұрышының қосымша компенсаторымен толықтырылған анық емес жүйе көлбеулерді өзгерткен кезде жүретін контроллер ретінде пайдаланылады.

Симуляция және эксперименттік нәтижелерден дененің көлбеу бұрышы жүру кезінде ауытқиды деп болжаланды. Тұрақты және қалыпты жүріс кезінде де дененің көлбеу бұрышының траекториясы бірнеше градустан жоғары мәндермен периодтық сигнал түрінде өзгеруі мүмкін. Сондықтан бұрыштың өлшемі роботтың тепе-теңдігін анықтау кезінде қателіктердің туындауына әкелуі мүмкін. Робот тұрақты қозғалыста болуы үшін жамбас бұрышының жылдам мәні емес, орташа мән арқылы есептеу ең дұрыс шешім болып табылады. Орташаландыру әртүрлі жолдармен жасалуы мүмкін. Жауап беру керек бір сұрақ орташаландыру терезесінің ұзындығына байланысты. Басқа мәселе деректерді орташалау үшін таңдау кезеңі болып табылады. Әдетте робототехникалық қолдануларда бір-бірінен он миллисекундқа дейінгі ғарыштық бақылаушыны таңдау уақыты қолданылады. Іріктеудің бірлескен бақылау кезеңі тәртібінде іріктеудің төмен кезеңімен іріктеудің ағымдағы сәтінен бастап орташалаудың ұзын терезесін пайдалану жадтың үлкен көлемін және нақты уақыт режимінде есептеу ресурстарын пайдалануды талап етеді. Орташалауды есептеу дәлдігі мен есептеу қуатын тиімді пайдалану арасында компромисс бар. Жауап беру керек бір сұрақ орташаландыру терезесінің ұзындығына байланысты.

Деректерді орташаландыру үшін таңдау кезеңі тағы бір мәселе болып табылады. Әдетте робототехникалық қолдануларда бірден он миллисекундқа дейін ғарыш бақылаушысын таңдау уақыты қолданылады. Іріктеудің бірлескен бақылау кезеңі тәртібінде іріктеудің төмен кезеңімен іріктеудің ағымдағы сәтінен бастап орташаландырудың ұзын терезесін пайдалану жадтың үлкен көлемін және нақты уақыт режимінде есептеу ресурстарын пайдалануды талап етеді. Орташаландыруды есептеу дәлдігі мен есептеу қуатын тиімді пайдалану арасында компромисс бар. Орташа есептеулерде пайдаланылатын N іріктемелерінің санын және конструкция параметрлері ретінде дененің көлбеу бұрышының көлбеу бұрышын таңдау T_p кезеңін пайдалана отырып, 1.4-суреттегі дененің β көлбеу бұрышының β орташа мәні келесі түрде есептеледі:

$$\beta(kT_p) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} \beta((K-1)T_p) \quad (1)$$

Бұл формулада (1) берілген k – іріктеу көрсеткіші. Келесі ұсыныстар осы

жұмыста қолданылатын дененің көлбеу бұрышын реттеудегі β рөлін сипаттайды.

Жоғарыда берілген нұсқаулар θ үшін түзету еханизмін құру үшін әртүрлі тәсілдермен қолданылуы мүмкін. β және θ арасындағы аналитикалық қатынас нұсқалардың бірі болуы мүмкін. Осы жұмыста ұсынылған әдіс осы бақылау үшін анық емес жүйелерді пайдаланады. (Екі аяқпен жүрісті бақылау тұрғысында датчикпен кері байланыспен жүру траекториясын түрлендіру тұйық контурдың ең көп тараған басқарушы әрекеті болып табылады, сондықтан да біз «басқару» реттеуін тудырамыз). Анық емес жүйелер – бұл бақылау механизмдерін немесе бейімделуді алу үшін проблемалардың сөздік сипаттамаларын пайдалану үшін табиғи таңдау. 1-кесте және 1.6-сурет θ есептеу кезінде пайдаланылатын анық емес үш ережені сипаттайды. 1-кестеде $\Delta\theta_p$ ереже күшінің «Р» индексі оң мәнді бегілейді. «Z» индексі «нөлді», ал «N» индексі «теріс» мәнді белгілейді. 1.6-суретте трапецеидальдық мүшеліктің ережелері мен бұрыштық функцияларының сандық мәндері модельдеу нәтижелерінің бөлімінде 1-кестеде келтірілген. Бұл мәндер сынамалар және қателер әдісімен алынған. Ереже 1-кестеге енгізілген. Ереже мысалы: «1 ереже: Егер β теріс болса, онда $\Delta\theta_p$ өсімшесімен θ ұлғайтыңыз. Ережелер негізін және керек-жарақтар функцияларын таңдау жоғарыдағы шарттарды қанағаттандырады. Анық емес логика өрнекпен жүзеге асырылады:

$$\Delta\theta = \frac{\mu_{negative} \beta^{\Delta\theta_p} + \mu_{zero} \beta^{\Delta\theta_z} + \mu_{positive} \beta^{\Delta\theta_n}}{\mu_{negative} \beta + \mu_{zero} \beta + \mu_{positive} \beta} \quad (2)$$

Әрбір есептеу циклінде (Тр кезеңмен) θ параметрі жаңартылады

$$\theta_{k-1} = +\Delta\theta_p \quad (3)$$

Бұл кері кинематиканы есептеу үшін кіріс ретінде қолданылатын команда (сілтемелер) мәні. «Интегралдау формуласы» (3) беймәлім еңістіктері бар көлбеу жазықтықтарға бейімделу үшін өте пайдалы.

$\Delta\theta_p$ күш ережесі нөлге тең болып таңдалған, демек, 1.7-суреттегі орталық трапецеидальдық функция дененің нөлдік бұрышының айналасындағы өлі аймақ болып табылады. Бұл өлі аймақ тұрақты күйдегі басқару белсенділігінсіз (θ өзгеруі) табанның көлбеу бұрышының жинақталуына көмектеседі.

Алайда жоғарыда сипатталған басқару стратегиясы «тіректі» қадамдайтын пойыздың біртіндеп және бірқалыпты өзгеруінде өте сәтті болғанымен робот ұшақтарды ауыстыру кезінде соққыдан аман қалу үшін ілеспе контроллер қажет. Кері кинематикалық кіші бағдарлама үшін кіріс болып табылатын θ айырмашылығы қосымша ауыспалы басқарушы табан буыны тірегінің қосылуының жағдайына сілтеме жасалған қосу деңгейінде әрекет етеді. Оң және сол тобық үшін тәуелсіз табан буынының адымын өзгерту осы жалпы ережелерді өзгерту үшін қолданылады. Бұл әрекет төменде

сипатталған. Табан буындарына арналған отырғызуды бағдарлайтын контроллерлер ұсынылған. Бұл тәсіл бір-біріне перпендикуляр, сәйкес келетін осьтермен екі буын тобықта орналасқанын болжайды. Бұл схемада эталондық бұрыштардың түзетулері табан жермен байланыста болған кезде олар жерге параллель тегістелетіндей есептеледі. Эталонның өзгеру заңы табанның түйіскен моменттеріне қолданылатын бірінші ретті сүзгі нысаны болып табылады. Біз сондай-ақ осы әдісті біздің басқару жүйесі үшін қолдандық. Табан буыны тірегінің осі үшін біз Лаплас облысында келесі сілтемелік модификация заңын пайдаланамыз:

$$\theta_{ankle}(S) = \theta_{ankle}(S) + \left(\frac{K_{ankle}}{S} + \lambda_{ankle} \right) T_{ankle} S \quad (4)$$

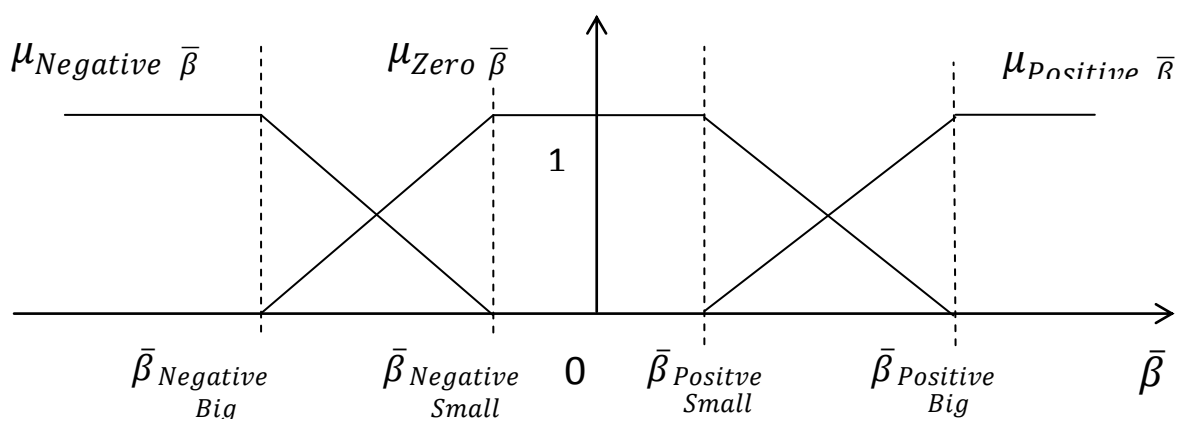
Бұл формулада берілген s - Лаплас айнымалысы. θ_{ankle} табан буыны кері кинематика бойынша есептелген табан буыны тірегінің тіреулік қосылыс бұрышын ұсынады. θ_{roll} эталонды модификациядан кейін табан буынының эталонды көлбеу бұрышы болып табылады. T_{ankle} - бұл аяқтың жермен өзара әрекеттесуіне байланысты қисаю осінің айналасындағы айналу моменті. Осы айналу моменті эксперименталдық жұмыста тобықта орналасқан айналу моментінің датчиктерімен өлшенеді және біздің модельдеу есептеулерінде оңай қол жетімді [8-10].

1.1 Кесте – Анық емес логика ережесі

Negative β	$\Delta\theta_z$ 1 ереже
Zero β	$\Delta\theta_z$ 2 ереже
Positive β	$\Delta\theta_z$ 3 ереже

K_{ankle} және λ_{ankle} біздің тәсілдедегі сынамалар мен қателер әдісімен анықталатын төменгі жиіліктердің сүзгілері болып табылады. Цифрлық іске асыруда Лаплас облысын (4) ауыстыру функциясы айырымдық теңдеумен аппроксимацияланады. Біз айырымдық теңдеуді алу үшін Тастинді аппроксимациялау техникасын қолдандық. Аяғы жермен тек бұрыш немесе шеті арқылы байланысқан кезде айналу моменті дамиды және (4) қолдана отырып, қосылыс бұрышына сілтемелер табанның жерге параллель бағдарын қамтамасыз ету үшін тобықты бұратындай етіп түзетілген. Көлбеу жазықтыққа тек аяқтың башпайлары тиген кезде бұл теңдеудің әсері аяқтың бастапқы және бағана көлбеу жазықтыққа тиген екі жазықтықпен жанасқанға дейін табан буыны тірегінің қосылысын бұру болып табылады. (1-3) анық емес контроллермен бірге қолданған кезде бұл қозғалыс жазықтықтың құламай жазықтыққа өтуіне мүмкіндік беретін табиғаттың сіңіретін күшіне ие болады.

Келесі бөлімде жоғарыда қарастырылған контроллерлермен модельдеу нәтижелері ұсынылған[11].

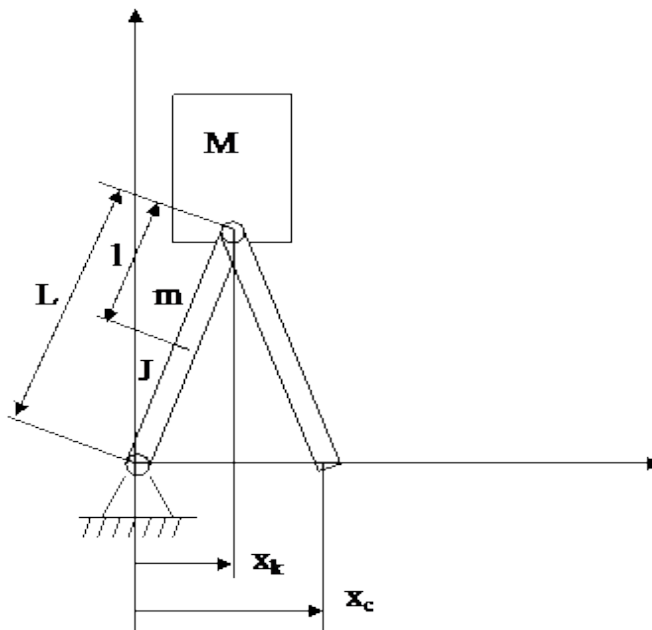


1.6 Сурет – Бұйым функциялары

2 Технологиялық бөлім

2.1 Адымдаушы роботтың кинематикалық моделі

Роботтың жүрісі роботтың жамбасы (негізгі, бірақ тәуелді қозғалыс) және табанының (қосымша, бірақ мәжбүрлі) траекторияларымен анықталады. Негізгі қозғалыс роботтың аяқтарының қозғалуының қосалқы қозғалыстары арқылы жүзеге асырылады. Екі аяқты адымдаушы роботтың тірек-қимыл механизмінің құрылыс сызбасы (2.1-сурет) қатты денелер жүйесін қамтиды және кинематикалық тізбектердің корпусымен, айналмалы және үдемелі кинематикалық жұптармен біріктірілген түрде. Суретте буындардың салыстырмалы қозғалысы жетектердің көмегімен жүзеге асырылатын кинематикалық жұптар қосымша екі жақты меңзерлермен жабдықталған. Аяқ және қозғалыс фазасын есепке ала отырып, құрылыс схемасы бір жетектер бірнеше функцияларды орындайтындай етіп таңдалған. 2.1-суретке сәкес m_1 , m_2 - тірек және тасымалданатын аяқтардың салмағы, J_1 , J_2 - тірек және тасымалданатын аяқтардың олардың салмақ орталықтарына қатысты инерция моменттері (оларды сағитталды да, фронтальды да жазықтықта да тең деп қабылдаймыз), M - корпусының салмағы, x_k - корпусының көлденең координаттары, x_c - тасымалданатын табанның көлденең координаттары.

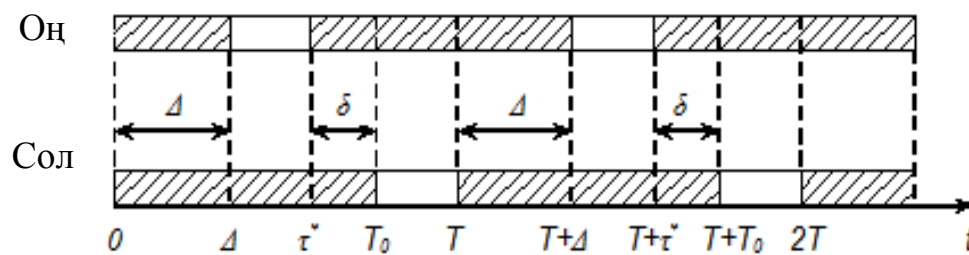


2.1 Сурет – Адымдаушы роботтың кинематикалық схемасы

Қарапайым ырғақты қозғалыстар үш уақыт параметрлерімен сипатталады:

T - қозғалыс кезеңі (ол арқылы құрылғы конфигурациясы мезгілді қайталады), T_0 - әрбір аяққа тіреудің уақыты, τ^* - кешігу (бірінші аяққа

тіреудің басталуы мен басқасына тіреудің басталуы арасындағы уақыт).



2.2 Сурет – Қозғалыс циклограммасы

Әрбір аяққа тіреудің уақытын көрсететін айырмашылықтарды құрамыз:

$$\Delta = T - (T - T_0) - (T - \tau^*) = T_0 + \tau^* - T \quad (5)$$

$$\delta = T_0 - \tau^* \quad (6)$$

Егер $\delta < 0$ немесе $\Delta < 0$ болса, онда тірексіз қозғалыс аумақтары бар, ал $\delta > 0$ және $\Delta > 0$ болса, онда тірексіз қозғалыс аумақтары жоқ.

2.2 Функционалдық схеманы әзірлеу

Көптеген еркіндік дәрежесі бар адымдаушы роботты басқарудың функционалдық сұлбасы мыналарды қамтиды: басқарушы контроллер, датчиктер және сервожетек.

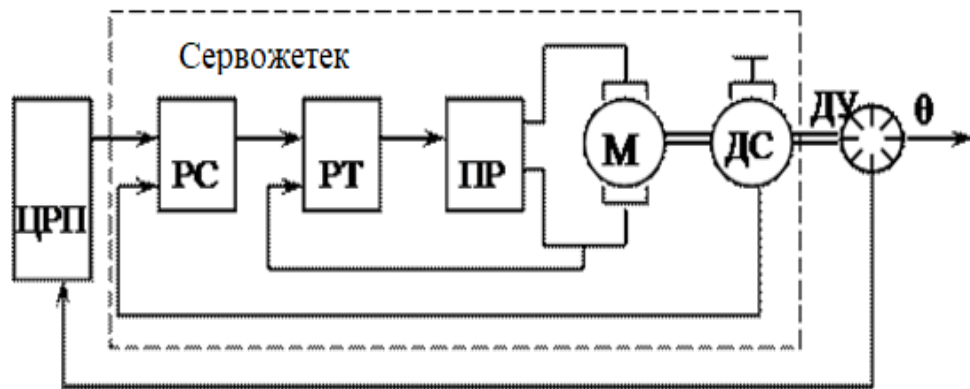


2.3 Сурет – Функционалды басқару схемасы

Енді көптеген еркіндік дәрежесі бар роботты басқарудың функционалдық схемасының әрбір блогын егжей-тегжейлі қарастыру қажет. Бұл жүйеде негізгі компонент микроконтроллер болып табылады.

2.3 Сервожетекті басқарушы контроллермен басқару сипаттамасы

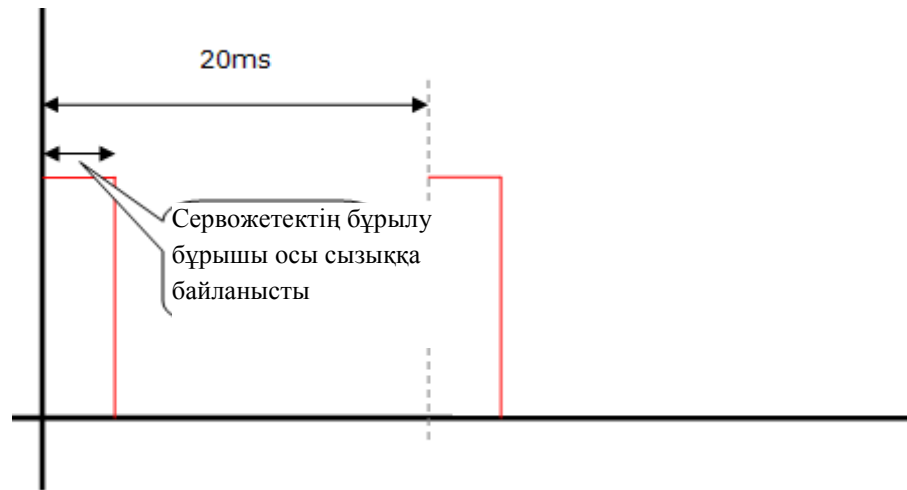
Микроконтроллерлердің көмегімен сервоқозғалтқышты басқару. Сервоқозғалтқыштар - бұл DC/AC немесе қадамдық қозғалтқыштар сияқты тұрақты айналмайтын, белгілі бір қалыпқа қозғалатын және оны сақтайтын электрмеханикалық жетектердің түрі. Олар үздіксіз айналу қажет емес жерде қолданылады. Сервожетектер нақты позицияға өту, содан кейін тоқтау және қалпын сақтау қажет жерде қолданылады. 2.4 - суретте функционал схема көрсетілген. Сервожетек: түрлендіргіш (ПР) қозғалтқышынан (М), ток реттегішінен (РТ), жылдамдық датчигінен (ДС), жылдамдық реттішінен (РС), бұрыш датчигінен (ДУ) және қалпын сандық реттегіштен (ЦРУ) тұрады[12].



2.4 Сурет – Сервожетектің функционалды схемасы

Сервожетектерде кері байланыс механизмі қолданылады, сондықтан ол қателерді өңдеуі және орналастыру кезінде оларды түзетуі мүмкін. Мұндай жүйе қадағалаушы жүйе деп аталады. Егер сыртқы күштер жетекке әсер етсе және оны қабылдаса, онда сервожетек қарама-қарсы бағытта күш қолданады және қатені түзетуге тырысады. Сервожетектер РС- автомобильдердің рульдерін, робототехниканы және т.б. бақылау үшін қолданылады.

Сервожетекті микроконтроллердің көмегімен басқару оңай, сыртқы драйверлердің қажеті жоқ. 2.5 - суретте көрсетілгендей, басқару сигналын беру арқылы сервожетек кез келген берілген бұрышқа орналастырылады. Басқару сигналының жиілігі әдетте 50 герц (яғни, кезеңі 20 мс), импульстің ұзақтығы бұрыштың шамасын көрсетеді.

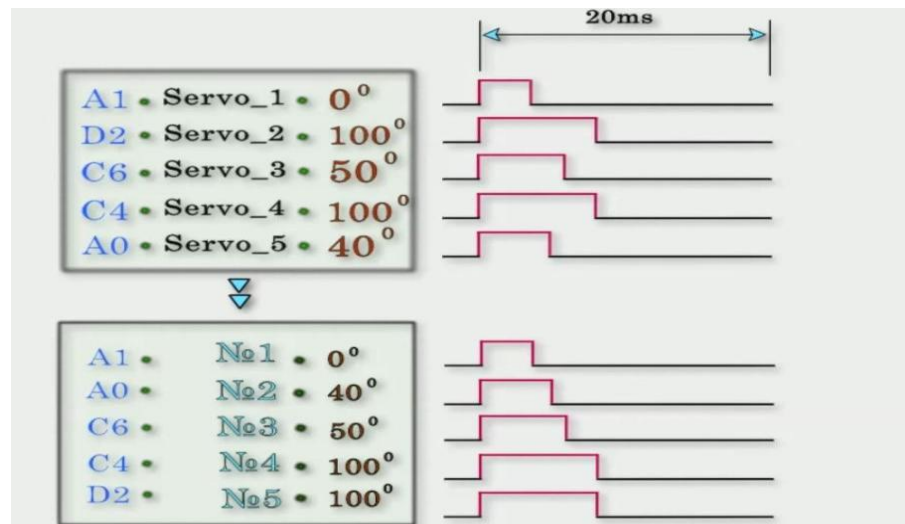


2.5 Сурет – ЕИМ (ендік-импульстік модуляция) көмегімен сервожетекті басқару

Сервожетек шамамен 50 Гц жиілікпен, кемінде 3.3 В (көбінесе кемінде 4.8 В) амплитудамен, ені стандартты 1000-нан 2000 мкс-қа дейін сигнал желісі бойынша оған тікбұрышты импульстер беруді басқарады, бұл стандартты соңғы ережелерге сәйкес келеді. Әдетте нақты диапазон сәл кең болуы мүмкін (мысалы, 900-2100мкс), бірақ бұл сервожетектерді нақты өндірушісінің қалауы бойынша жасалады. Ағытпаны кері тастау. Үш сым қара (қоңыр), қызыл, ақ (сары) – сәйкесінше жер, қуат көзі және басқарушы сигнал (ендік-импульстік модуляция) [13].

2.4 Сервожетекті басқару кезінде импульсті қалыптастыру

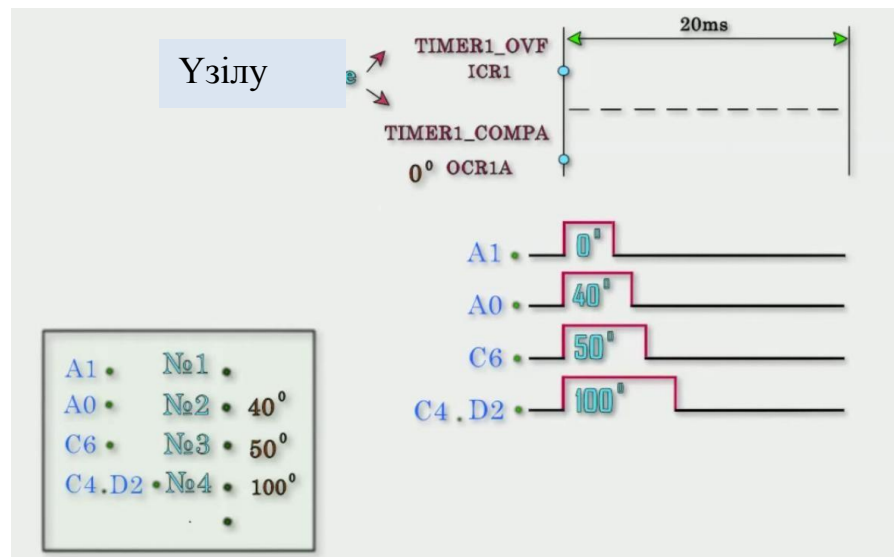
Бағдарламаның жұмысын түсіну үшін бес сервожетекті аламын. Сервожетектерді басқару үшін біз 16 биттік T1 таймерін пайдаланамын. Есеп тіркелімінде 50 Гц қалыптастырылды, А арнасының көмегімен сервожетектер үшін OCR1A импульстері қалыптасады. 2.6 – суретте сервожетектердің көп санын қалай басқаруға болатыны көрнекі көрсетілген, әрбір сервожетектің жылжыту бұрыштарын уақытша диаграммада ұсынамыз.



2.6 Сурет – Импульсті қалыптастырудың уақытша жүйелілігі

Диаграммаға сәйкес, біз әрбір сервомотор үшін импульс қалыптастырудың басталуы бірдей екенін. Ұзақтығы сервожетек қай бұрышқа қарай қозғалуына байланысты әртүрлі болуы мүмкін. Сервожетектердің деректеріне порттардың бірден жоғары күйге қоя аламыз. Осылайша, сервожетек үшін импульстің басталуын қалыптастырамыз. Импульстің өзгеру уақыты аз уақыттан көп уақытқа қарай орын алатындықтан, сервожетекті жылжыту бұрыштары бойынша деректерді біз кішіден үлкенге дейін өсу бойынша сұрыптауымыз керек.

Сұрыптаудан кейін, біз әрбір сервожетек үшін импульсті қалыптастырудың уақыт реттілігін көреміз. Бағдарламада бірдей бұрыштары бар жетектерді біріктіруге тура келеді. Ауытқу бұрыштары бірдей, ал порттар әртүрлі болуы мүмкін. Енді тек 3 жетек үшін деректер. 2.7 - суретте көрсетілгендей импульсті алу үшін осы бұрыштарды ретімен А салыстыру арнасына жүктеу керек. Бағдарламаның жұмыс алгоритмін қарастырайық: Есептік тіркелімдерде тоқтау іске қосылғаннан кейін барлық электр қозғалтқыштары үшін «импульстің басталуын» ұсынамыз, қарапайым сөзбен айтқанда сервожетектерге қатысты порттарда жоғары деңгейді көрсетеміз. А салыстыру арнасына импульсті арттырудың бірінші мәнін жазамыз, таймер санай бастайды, А арнасының сәйкес келуі бойынша тоқтату іске қосылады, қай портты өшіретінін оқимыз, осы арқылы біз осы жылжыту бұрышындағы сервожетектер үшін импульстерді қалыптастырамыз[14].



2.7 Сурет – Импульстерді қалыптастыру

Ал салыстыру арнасына жаңа деректерді жүктейміз, есептеу келесі сәйкес келуге дейін жалғасады, сондықтан барлық деректерді реті бойынша есептейміз, содан кейін бүкіл процесс қайта басталады. Бұл процесті бағдарлама түрінде іске асыру әлдеқайда қиын, себебі талап етілетін бағдарлама басқа міндеттерді орындауы тиіс.

Ең басында жобада пайдаланылатын сервожетектердің ең көп санын белгілейміз, менің жағдайда бұл 4. Электржетектердің ең көп санын көрсете отырып, әрбір электржетекті қай портқа орналастырғанын көрсетеміз. Сервожетектердің нөмірленуі 0-ден 3-ке дейін жүргізіледі. Сервожетектерді 4 портқа орналастыруға болады, атап айтқанда В, С, D, А порттары. Оңай тағайындау және порттың пинасы үшін қажетті ақпаратты алтылық есептеумен береміз. Бағдарламада кез келген сервожетек үшін деректерді береміз, бұрыш емес, 40-тан 240-қа дейінгі санды белгілеу керек. 40 саны 0 градусқа, сәйкесінше 240 саны 180 градусқа жылжуына баламалы.

Бағдарламада 2 функцияны пайдалану керек. Онда не болатынын қарастырайық. Функциялардың бірінде бастапқы орнату орын алады. Сервожетектер микроконтроллер портына орналасқандықтан, әрине, қалыпты жұмыс үшін осы порттарды теңшеу қажет. Сервожетекке жататын әрбір порттың бағытын қайта анықтаудың қажеті жоқ. Бағдарламада кіре берісте сервопривод үшін портты және пинді анықтау іске асырылды және осы порттарды өз бетінше шығаруға қайта айқындайды. Қарапайым сөзбен айтқанда бағдарлама порттар бойынша бастапқы орнатуды жасайды. Микроконтроллер тактасының жиілігіне байланысты бағдарламада санды белгілейміз. LCP2138 үшін бұл сан 250. Осы сервожетектермен жұмыс істейтін негізгі функцияны қарастырайық. Функцияны өңдеу әрбір 50 Гц сайын бір рет жүреді. Бағдарлама сервожетектерді жылжыту бұрыштарының өсуі бойынша сұрыптауды орындайды[15-19].

3 Конструкторлық бөлім

3.1 Ардуино UNO микроконтроллері



3.1 Сурет – Arduino UNO

Жалпы мәлімет. Arduino Uno контроллері ATmega328 негізінде жасалынған. Платформада 14 сандық кіріс/шығыс бар (оның 6 ендік-импульстік модуляция шығу ретінде пайдаланылуы мүмкін), 6 аналогтық кіріс, 16 МГц кварц генераторы, USB қосқышы, күш қосқышы, ICSP қосқышы және қайта жүктеу түймесі бар. Жұмыс істеу үшін платформаны компьютерге USB кабелі арқылы қосу немесе AC/DC адаптерінің немесе батареяның көмегімен қорек беру қажет.

3.1 Кесте – Техникалық сипаттамасы

Микроконтроллер	ATmega328
Жұмыс кернеуі	5 В
Кіріс кернеуі (ұсынылатын)	7-12 В
Кіріс кернеуі (шекті)	6-20 В
Кіріс/шығыс (сандық)	14 (оның 6-ы ЕИМ ретінде қолданылуы мүмкін)
Аналогты крістер	6
Кіріс/шығыс арқылы тұрақты ток	40 мА
3.3 В шығуға арналған тұрақты ток	50 мА
Флеш-жады	32 Кб (ATmega328) оның 0.5 Кб жүктемеге жұмсалады
ОЗУ	2 Кб (ATmega328)
EEPROM	1 Кб (ATmega328)
Тактілі жиілік	16 МГц

Қорек көзі. Arduino Uno USB байланысы немесе сыртқы қуат көзі арқылы қуат ала алады. Қуат көзі автоматты түрде таңдалады.

Сыртқы қуат (USB емес) AC/DC кернеу түрлендіргіші (қуат блогы)

немесе аккумуляторлық батарея арқылы берілуі мүмкін. Кернеу түрлендіргіш орталық оң полюсті 2.1 мм коннекторы арқылы қосылады. Батареядан сымдар GND және Vin қуат қосқышы шығыстарына қосылады.

Платформа 6 В-дан 20 В-ға дейін сыртқы қоректендіру кезінде жұмыс істей алады. Қорек кернеуі 7 В-тан төмен болғанда 5V шығару 5 В-тан кем бере алады, бұл ретте платформа тұрақсыз жұмыс істейді. 12 В жоғары кернеуді пайдалану кезінде кернеу реттегіші қызып, платаға зақым келтіруі мүмкін. Ұсынылған диапазон 7 В бастап 12 В дейін.

Қорек көзі пиндері:

- VIN. Кіріс сыртқы көзден қуат беру үшін пайдаланылады (USB қосқышынан немесе басқа реттелетін қуат көзінен 5 В болмаса). Қуат кернеуін беру осы пин арқылы жүзеге асырылады;

- 5V. Микроконтроллерді және платадағы компоненттерді қоректендіру үшін қолданылатын реттелетін кернеу көзі. Қуат VIN шығысынан кернеу реттегіші арқылы, немесе USB қосқышынан, немесе басқа реттелетін 5 В кернеу көзінен берілуі мүмкін;

- 3V3. 3.3 В шығысындағы кернеу платада кіріктірілген реттеуішпен генерацияланады. Максималды ток тұтыну 50 мА;

- GND. Жерге тұйықтау пині.

Жады. ATmega328 микроконтроллерінде 32 кБ флэш жады бар, оның ішінде 0.5 кБ жүктеушіні сақтау үшін қолданылады, сондай-ақ 2 кБ ОЗУ (SRAM) және 1 Кб EEPROM.

Кірістер мен шығыстар. Uno-дағы 14 сандық пиндерді pinMode (), digitalWrite (), және digitalRead () функцияларын пайдалана отырып, кіріс немесе шығыс ретінде қолдануға болады. Пиндер 5 В кернеуінде жұмыс істейді. Әрбір пинде жүктеме резисторы бар (әдепкі бойынша ажыратылған) 20-50 кОм және 40 мА дейін өткізе алады. Кейбір пиндер ерекше функцияларға ие:

- Тізбекті шина: 0 (RX) және 1 (TX). Пиндер TTL деректерін алу (RX) және беру (TX) үшін қолданылады. Бұл пиндер ATmega8U2 USB-to-TTL тізбекті шинасының микросхемасына сәйкес қосылған;

- Сыртқы үзіліс: 2 және 3. Бұл пиндер кіші мәнде, не алдыңғы немесе артқы фронтта немесе мән өзгергенде теңшеуге болады. Толық ақпарат attachInterrupt () функциясының сипаттамасында;

- ЕИМ: 3, 5, 6, 9, 10, және 11. Кез келген пиндер analogWrite () функциясының көмегімен 8 бит ЕИМ-ді қамтамасыз етеді;

- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Бұл пиндер арқылы SPI байланысы жүзеге асырылады, ол үшін SPI кітапханасы қолданылады;

- LED: 13. 13 сандық шығысқа қосылған кіріктірілген жарық диоды. Егер шығыста жоғары әлеуетке ие болса, онда LED жанып тұрады;

- I2C: 4 (SDA) және 5 (SCL). Пин арқылы I2C (TWI) байланысы жүзеге асырылады, оны жасау үшін Wire кітапханасы қолданылады.

Uno платформасында 6 аналогтық кіріс орнатылған (A0 ретінде белгіленген .. A5), әрбір 10 бит (яғни, 1024 түрлі мәндерді қабылдай алады). Стандартты қорытындылар жерге қатысты өлшеу диапазоны 5 В дейін болады,

дегенмен AREF шығару және analogReference () функциясы арқылы жоғарғы шегін өзгерту мүмкіндігі бар[21-22].

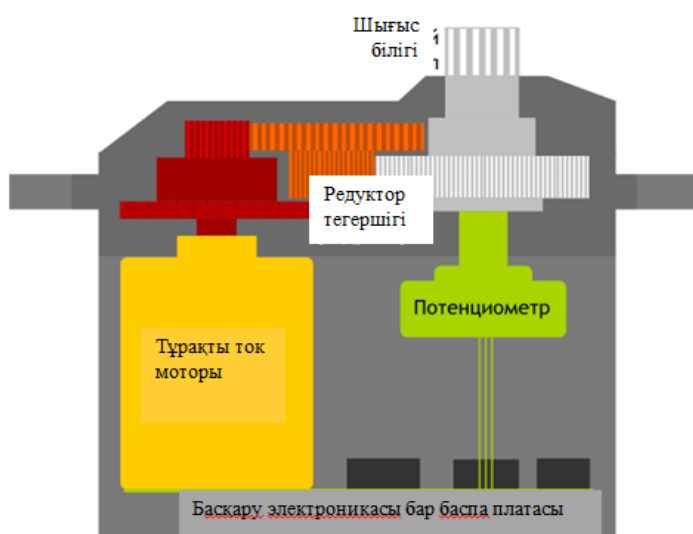
3.2 Tower Pro MG90S сервожетегі

Сервожетек деп электр қозғалтқышы бар механизмді жиі түсінеді, ол берілген бұрышқа бұрылады және осы жағдайды ұстап тұра алады. Егер толық айтсақ, сервожетек - бұл қозғалыс параметрлерін дәл басқаруға мүмкіндік беретін теріс кері байланыс арқылы басқарылатын жетек. Сервожетектің кез келген түрі механикалық жетегі, құрамында датчигі бар (жылдамдық, күш және т. б.).

Жетек —редукторы бар электромотор. Электрді механикалық бұрылысқа айналдыру үшін электр моторы қажет. Алайда, көбінесе мотордың айналу жылдамдығы практикалық пайдалану үшін тым үлкен. Жылдамдықты төмендету үшін редуктор қолданылады: тісті доңғалақ механизмі, беріліс және түрлендіргіш моменті.

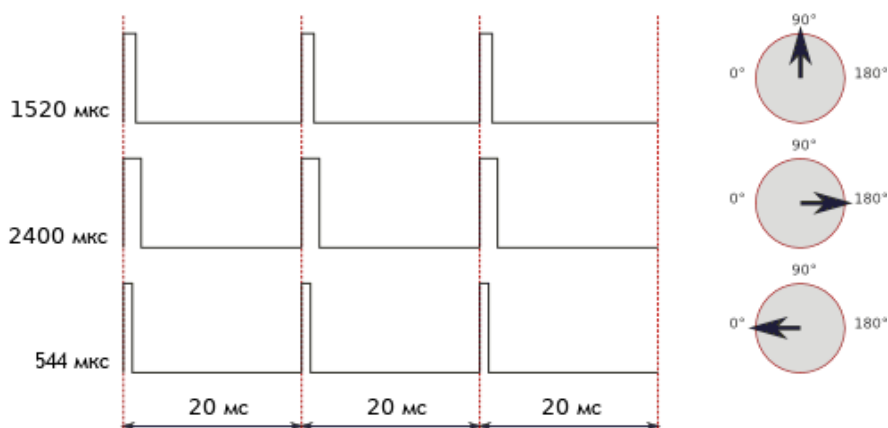
Электр моторын қоса алғанда, шығыс білігін — сервожетектің соңғы тегершігін айналдыруға болады. Алайда, құрылғыны бақылау үшін кері байланыс датчигі қажет — электр сигналына бұрылу бұрышын кері түрлендіретін энкодер. Бұл үшін потенциометр жиі қолданылады. Потенциометр жүгіргішті бұрған кезде бұрылу бұрышына пропорционалды оның кедергісін өзгерту болады. Осылайша, оның көмегімен механизмнің ағымдағы жағдайын орнатуға болады.

Электр мотордан, редуктордан және потенциометрден басқа сервожетекте сыртқы параметрді қабылдауға, потенциометрден мәндерді оқуға, оларды салыстыру және моторды қосу/өшіру үшін жауап беретін электрондық толтыру бар. Ол теріс кері байланысты қолдау үшін жауап береді.



3.2 Сурет – Сервожетек құрылысы

Сервожетекті басқару. Басқару сигналдарының интерфейсі. Сервоприводты қалаған жағдайды көрсету үшін, осы сымға арналған басқару сигналын жіберу қажет. Басқару сигнал-тұрақты жиіліктің және ауыспалы еңнің импульстері.



3.3 Сурет – Ендік импульстер

Сервожетек қандай жағдайда болуы, импульстің ұзындығына байланысты. Сигнал басқарушы схемаға келіп түскенде, онда бар импульс генераторы өзінің импульсын шығарады, оның ұзақтығы потенциометр арқылы анықталады. Схеманың басқа бөлігі екі импульстің ұзақтығын салыстырады. Егер ұзақтығы әртүрлі болса, электр моторы қосылады. Айналу бағыты импульстердің қайсысы қысқа болады. Егер импульстің ұзындығы тең болса, электр моторы тоқтатылады.

Көбінесе импульстер 50 Гц жиілігімен өндіріледі. Әдетте 1520 мкс импульстің ұзақтығы сервожетек орташа жағдайға ие болуы тиіс дегенді білдіреді. Импульс ұзындығын ұлғайту немесе азайту сервожетекті сағат тіліне немесе сағат тіліне қарсы бұруға мәжбүр етеді. Бұл ретте импульс ұзақтығының жоғарғы және төменгі шектері бар. Arduino үшін Servo кітапханасында әдепкі бойынша импульс ұзындығының келесі мәндері берілген: 544 мкс — 0° үшін және 2400 мкс — 180° үшін.

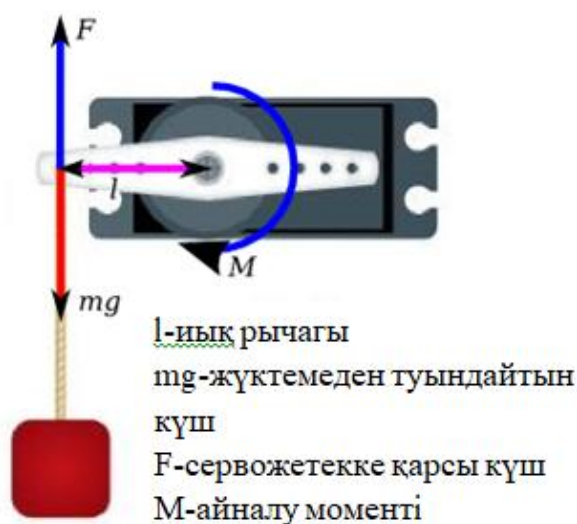
Нақты құрылғыда зауыттық параметрлер стандартты параметрлерден өзгеше болуы мүмкін. Кейбір сервоприводтар 760 мкс импульс енін пайдаланады. Бұл ретте орташа жағдай 760 мкс-қа сәйкес келеді, кәдімгі сервожетектерде орташа жағдайға 1520 мкс-қа сәйкес келеді.

Сондай-ақ, бұл жалпы қабылданған ұзындықтар ғана. Тіпті сервожетектің бір моделі шеңберінде де өндіріс кезінде рұқсат етілетін қателік болуы мүмкін, ол импульстің жұмыс диапазоны сәл өзгеше. Нақты жұмыс үшін әрбір нақты сервожетек калибрленуі тиіс: эксперимент арқылы оған тән дұрыс диапазонды таңдау қажет.

Сервожетектерде басқару әдісі жиі PWM/ЕИМ (ендік-импульстік модуляция) деп аталады. Бұл олай емес, және бұл жолдарды пайдалану жетекке зақым келтіруі мүмкін. Онда импульстердің ұзындығы өте маңызды және

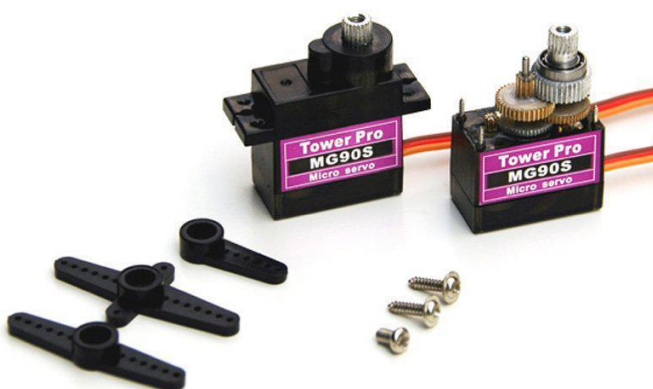
олардың пайда болу жиілігі соншалықты маңызды емес. 50 Гц-бұл норма, бірақ сервопривод 40 және 60 Гц кезінде дұрыс жұмыс істей алады.

Күш моменті, немесе айналмалы момент-айналу осінен күш салу нүктесіне, осы күш векторына жүргізілген радиус-вектордың туындысына тең векторлық физикалық шама. Күштің қатты денеге айналмалы әсерін сипаттайды.



3.4 Сурет – Сервожетек жұмыс принципі

Қарапайым хобби-сервожетек жұмыс кезінде 100 мА-дан астам ток тұтынады. Arduino 500 мА дейін бере алады. Arduino кітапханасы Серво, ең көп дегенде 12 сервожетекті басқаруды қолдайды, Arduino Mega-да бұл сан 48 мәніне дейін өседі.



3.5 Сурет – Tower Pro MG90S сервожетегі

Tower Pro MG90S micro Server 14g-жеңіл және сапалы микросервожетек, бұрылу бұрышы 0-ден 180 градусқа дейінгі диапазонмен шектелген. Tower Pro SG90-дан айырмашылығы толық металл редукторынан жабдықталған. Arduino,

AVR, PIC, ARM және басқа микроконтроллерлердің көмегімен қарапайым басқару. Қоңыр сым - жер (Ground, Arduino платасында GND шинасына қосылады). Қызыл сым - қуат + 5 V (Arduino платасында 5V шинасына қосылады). Сары сым - басқару сигналы (Arduino сандық пин-на қосылады). [23]

3.2 Кесте – MG90S (Micro Servo) сервожетегінің техникалық сипаттамалары

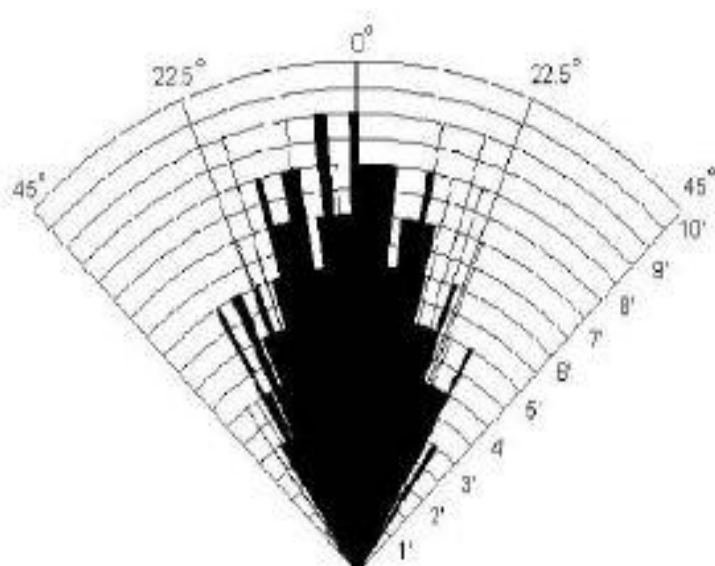
Редуктор материалы	жез-алюминий қорытпасы
Жұмыс кернеуі	4.8 - 6 В
Құрылғы өлшемдер	23 mm x 12 mm x 29 mm
Салмағы	14 грамм
Айналу бұрышы	180°
Айналу жылдамдығы	0.12 с (жүктемесіз)
Пайдалану температурасы	-30-дан +60 градус Цельсий
Баптаудың өлі диапазоны	5 мкс
Білікке түсетін күш	2 кг

3.3 HC-SR04 ультрадыбысты қашықтық өлшеуіші

Ультрадыбыстық қашықтық өлшегіштің жұмыс істеу принципі ультрадыбысты шығаруға және оның алда тұрған заттардан шағылысуына негізделген. Дыбыс қайтару уақытын ескере отырып, қарапайым формула бойынша объектіге дейінгі қашықтықты есептеуге болады. HC-SR04 қашықтағы өлшегіш - пайдалану үшін ең арзан қашықтық өлшегіш. Бағасы арзан, әрі жақсы сипаттамаларға ие, 2-ден 400см-ге дейінгі диапазонда қашықтықты өлшеуге қабілетті.



3.6 Сурет – HC-SR04 ультрадыбысты қашықтық өлшеуіші



3.7 Сурет – Бағыт диаграммасы

Бұл өлшеуіш екі маңызды құрылымдық ерекшелікке ие. Біріншіден, дыбыс кедергілерден жақсы шағылуы үшін датчик 40 кГц жиілігімен ультрадыбысты шығарады. Бұл үшін датчикте жоғары жиілікті дыбысты жасай алатын пьезокерамикалық сәуле шығарғыш бар. Екіншіден, сәуле шығарғыш дыбыс барлық жаққа емес, тар бағытта таратылатындай етіп жасалған. 20 - суретте қашықтық өлшеуіштің бағытталу диаграммасы көрсетілген. Диаграммада көрсетілгендей, көру бұрышы шамамен 50-60 градус. Датчик алдында кедергілерді анықтағанда, пайдаланудың типтік нұсқасы үшін мұндай көру бұрышы әбден жарамды. Ультрадыбысты өлшеуіш тіпті орындықтың аяғын да анықтай алады, ал лазерлік қашықтық өлшегіш, мысалы, оны байқамауы мүмкін. Егер біз қоршаған кеңістікті радиар сияқты шеңбер бойынша қашықтықты айналдыра отырып сканерлеуді шешсек, ультрадыбысты қашықтықты өлшеуіш бізге өте дәл емес және шулы суретті береді. Мұндай мақсаттар үшін лазерлік қашықтықты қолдану жақсы. Сондай-ақ, ультрадыбысты қашықтықты өлшеуіштің екі елеулі кемшілігін атап өткен жөн. Біріншісі – ұсақ тесікті құрылымы бар беттер ультрадыбысты жақсы сіңіреді және датчик оларға дейінгі қашықтықты өлшей алмайды. Мысалы, егер біз мультикоптерден биік шөбі бар өріс бетіне дейінгі қашықтықты өлшеуді ойласақ, онда анық деректерді ала алмаймыз. Екінші кемшілік дыбыс толқынының жылдамдығымен байланысты. Бұл жылдамдық өлшеу процесін жиі жасау үшін жеткіліксіз. Мысалы, робот алдында 4 метр қашықтықта кедергі бар. Дыбыс сол жерге және кері ұшып кету үшін 24 мс қажет. Ұшып келе жатқан роботтарға дальномерді орнатпас бұрын 7 рет өлшеу керек[24-26].

3.3 Кесте – HC-SR04 ультрадыбысты қашықтық өлшеуішінің техникалық сипаттамалары

Жұмыс кернеуі	5 В
Тыныштық режимінде тұтыну	2 мА
Жұмыс кезінде тұтыну:	15 мА
Қашықтық ауқымы	2 - 400 см
Тиімді бақылау бұрышы	15°
Жұмыс бұрышы	30°
Өлшеу дәлдігі	± 1 см (максималды қашықтығы ± 3 см)
Ультрадыбыстық жұмыс диапазоны жиілікте	40 кГц
Жұмыс температурасының диапазоны	0 ° С дейін 60 ° С (±10%).

3.4 Адымдаушы роботты құрастыру

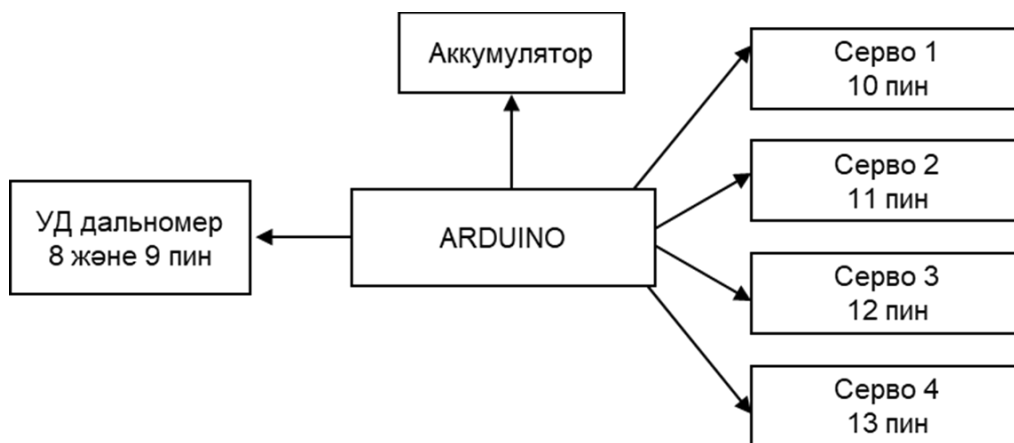
Барлық есептеулер жүргізілгеннен соң, керекті бөлшектердің жұмыс принципін анықтағаннан кейін ендігі кезекте роботты құрастыруға тоқталамыз. Роботты құрастыру өте күрделі емес, бірақ құрастыру барысында аса нақтылықты, дәлдікті талап ететін процесс болып табылады. Қолдан жасалған роботты құрастыру тек қызықты ғана емес, сонымен қатар электроника, механика, бағдарламалау сияқты көптеген салаларды таным процесі. Микроконтроллерлер - қосымша бөлшектер саны аз болған кезде, өте күрделі механизмдер - конвейерлерді, автоматиканы және басқа да модульдерді басқаруға мүмкіндік береді. Бірақ бұл жағдайда қарапайым адымдаушы роботты құрастыру болып табылады, онда барлық бақылау блогы шағын корпусқа орналастырылған.

Екі аяқты адымдаушы роботты құрастыру үшін керекті негізгі материалдар тізімі:

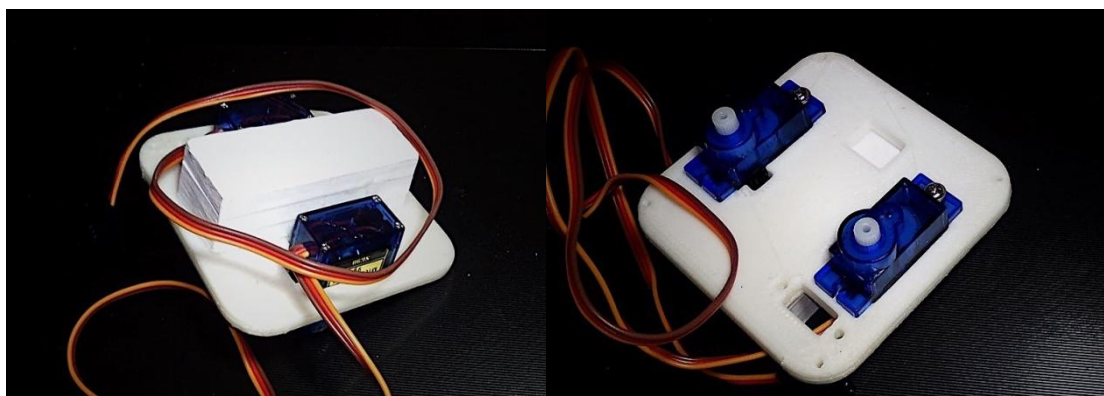
- ATmega328 микроконтроллері негізінде Arduino Uno платформасы;
- Tower Pro MG90S сервожетегі;
- HC-SR04 ультрадыбысты қашықтық өлшеуіші;
- Сымдар;
- Батареялар;
- Батырма;
- Клей;
- Құрал-жабдықтар.

Осы материалдардан екі аяқты адымдаушы роботтың классикалық платформасын жинауға болады. Платформа орташа өлшемдері бар, бұл оны пайдалануға мүмкіндік береді. Мұның бәрі платформада штаттық тесіктерге ыңғайлы бекітіледі және дрель мен егеуішке жүгінбей, мобильді роботтың

көптеген базалық функцияларын жүзеге асыруға көмектеседі. Қорек көзі ретінде кернеуі 9 В-қа 4 батареялар қолданылады. Бұл робот қосымша модульдер мен блоктарды талап етпейтін, барынша қарапайым және бюджеттік робот болып табылады. Бұл адымдаушы робот 4 сервожетектен тұрады. Олардың екеуі табандарына орналастырылған, ал қалған екеуі аяқтарын жалғасқан корпусқа бекітілген.



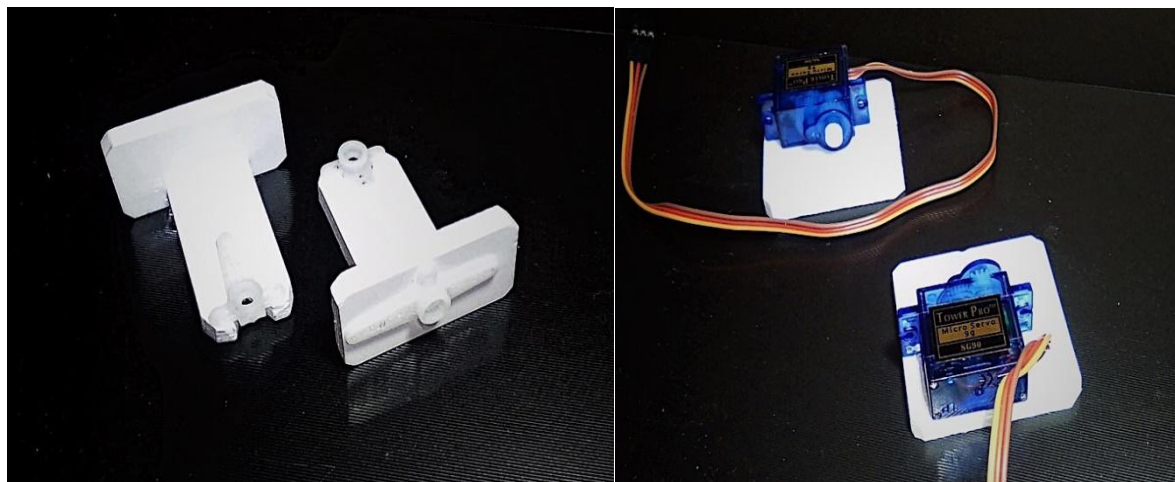
3.8 Сурет – Роботтың құрылымдық сұлбасы



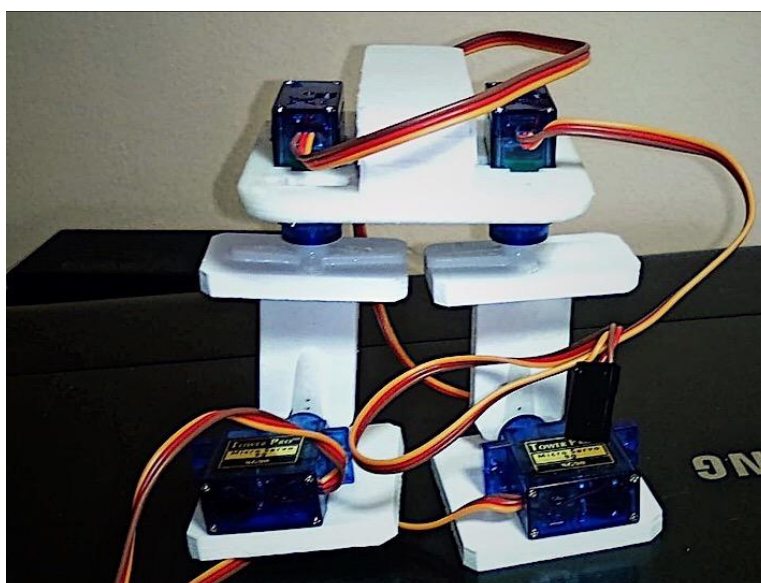
3.9 Сурет – Роботтың корпусы

Сервожетектерді корпуспен біріктіру кезінде негізгі фактор симметрия болып табылады. Алдымен роботтың ортасында ауырлық орталығын бекіту керек, өйткені роботтың жүрісі тікелей соған байланысты. Аяқтар, сервожетектер қозғалған кезде, бір-біріне тірек жасай отырып, робот адымдайды. Сонымен қатар орнатылған ультрадыбысты қашықтық өлшеуіші егер робот бөгетке тап болған жағдайда, робот бөгеттен өту үшін тек оңға бұрылады. Осы алгоритм бойынша бөгет болған жағдайда робот осы операцияны қайталап отырады. Бұл роботтың жұмыс істеу, жүру принципі болып табылады. Екі аяқты адымдаушы роботты құрастыру кезінде керекті материалдарды корпусқа дұрыс және қауіпсіз орнату үлкен рольді атқарады. Себебі, роботтың екі аяғы бірдей деңгейде орналастырылуы қажет. Роботты

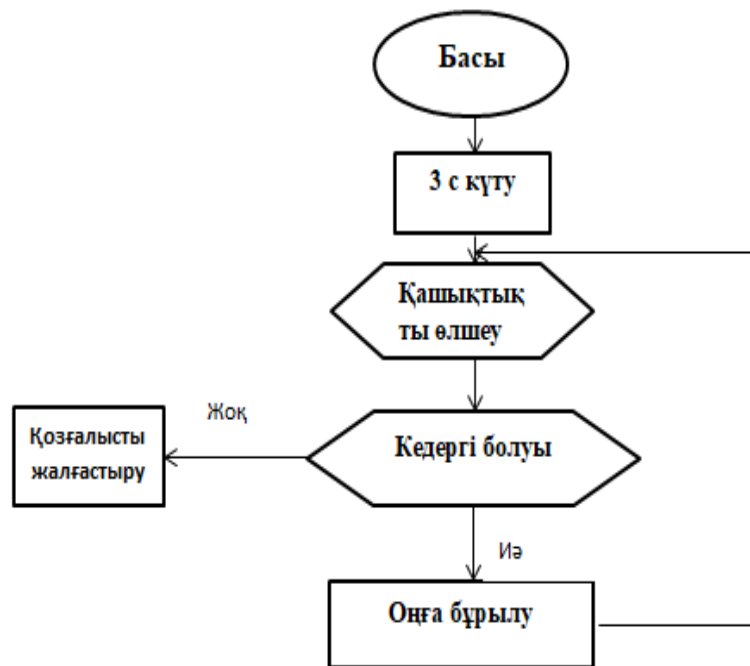
жасау барысында сервожетектер және Ардуино микроконтроллері ауыстырылды. Орын ауыстыру барысында қиыншылықтар мен кедергілер болмас үшін адымдаушы роботты жасау барысында оның материалдарын берік орнатып, әрі максималды түрде ыңғайлы орналастыру керек. Бөлшектерді роботтан оңай ажырату үшін құрастыру схемасын икемді жасау керек.



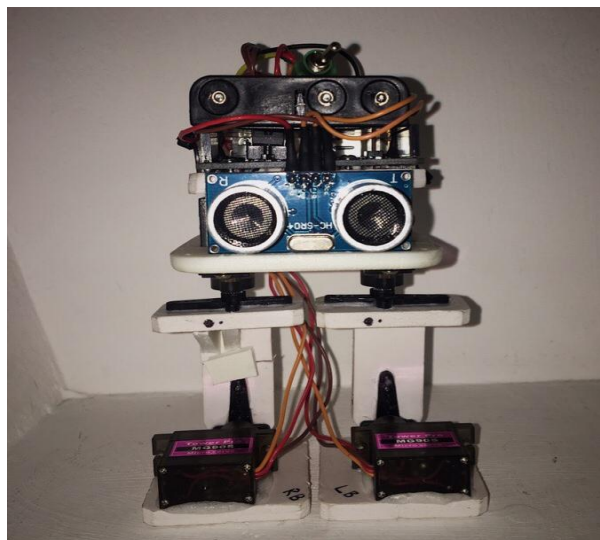
3.10 Сурет – Роботтың табандары



3.11 Сурет – Сервожетекпен біріктірілген негізгі корпус



3.13 Сурет – Адымдаушы роботтың қозғалысының басқару сұлбасы



3.12 Сурет – Адымдаушы роботтың жинақталған түрі

Робот толықтай құрастырылғаннан кейін оны қозғалысқа келтіру үшін программалық код қажет етіледі. Жиналған роботтың жұмысқа қабілеттілігін тексеру үшін оған қозғалыстардың белгілі бір реттілігі бар қарапайым бағдарламаны жазу қажет. Құрастырылған адымдаушы роботқа арналып жасалған бағдарламалық код А Қосымшасында көрсетілген.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста қазіргі кезде қолданыста бар адымдаушы роботтарға анализ жасалынды. Сонымен қатар адымдаушы робот құрастырылып, оның артықшылықтары мен кемшіліктері нақтылап көрсетілді. Көптеген еркіндік дәрежесі бар адымдаушы роботтар туралы жалпы ережелер зерттелді. Микроконтроллердің көмегімен сервожетекті басқару үшін басқарудың бірнеше тәсілдері зерттелді. Роботтың қозғалысын басқару жүйесін әзірлеу кезінде қойылған тапсырманы орындауда көптеген қиындықтар туындады. Адымдаушы робот микроконтроллер және сервожетектің көмегімен құрастырылды.

Адымдаушы робот – бұл өзінің қозғалуы кезінде беттің өзгертін пішініне бейімделетін робот. Осы анықтамадан кез келген адымдаушы механизм үшін осы немесе басқа түрдегі бейімділіктің болуына қойылатын талап тікелей туындайды. Жалпы жағдайда бейімделуге қабілетті жүйені, яғни ішкі және сыртқы жағдайлардың өзгеруіне бейімделуі мүмкін жүйені бейімделген деп санайды. Бейімделу ұғымы бейімделудің жалпы ұғымымен байланысты.

Адымдаушы роботтың бейімделу қозғалысы дегеніміз қалыпты қозғалу болып табылады, робот өзінің қозғалуы барысында өзі қозғалатын бет бедерлерінің өзгермелі нысанын ескереді және осыны ескере отырып, қозғалыс кезінде тұрақтылыққа қол жеткізу үшін өзінің қалпын түзетеді. Екі аяқты андроид құрылымының адам ортасында қосымша рөлдерде жұмыс істейтін робот үшін белгілі бір артықшылықтары бар. Адамға ұқсайтын екі аяқты адымдаушы робот аяқтарындағы локомация (қозғалыс) арқылы тосқауылдардан өте алады, және тағы басқа да артықшылықтары бар. Дегенмен, екі аяқты қозғалысты бақылау күрделі болып табылады. Бұл байланыс дәрежелері мен сызықты емес динамикамен көптеген бостандық дәрежелерін басқару қажеттігіне байланысты.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Афанасьев О.А., Гендель В.С., Зимин А.В. Шагающие машины // Теория Механизмов и Машин, 2005, №1, С. 88-91.
- 2 Фокин В.Г., Шаныгин С.В. Обзор и перспективы развития мобильных шагающих робототехнических систем // Молодой ученый 18(98) ч.2, 2015, С. 207-215.
- 3 Лапшин В.В. Механика и управление движением шагающих машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 199 с.
- 4 Santos P.G., Garcia E., Estremera J. Quadrupedal locomotion: an introduction to the control of four-legged robots. Springer, London, 2006. p. 268.
- 5 Лапшин В.В. Об устойчивости движения шагающих машин // Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. Наука и образование. 2014. №6. С. 319-335.
- 6 Боровин Г.К., Буданов В.М., Девянин Е.А., Лапшин В.В., Мирный В.М., Охочимский Д.Е., Платонов А.К. Основные проблемы и особенности проектирования многоцелевого гидравлического шагающего шасси. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 1995. 28 с.
- 7 Брискин Е.С., Леонард А.В. Устойчивость поступательного движения шагающей машины с цикловыми движителями // Известия РАН. Теория и системы управления. 2013. №6. С. 131-138.
- 8 Павловский В.Е. О разработках шагающих машин. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2013. 32 с. (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; № 101). Режим доступа: http://keldysh.ru/papers/2013/prep2013_101.pdf (дата обращения 08.05.2016).
- 9 Лапшин В.В. Механика и управление движением шагающих машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 199 с.
- 10 Nonami K. et al. Hydraulically Actuated Hexapod Robots: Design, Implementation and Control, Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering 66, Springer Japan 2014. p. 277.
- 11 Naika K, Bardenc J. Design, development and control of a hopping machine – an exercise in biomechatronics. Appl Bionics Biomech 7(1), 2010. pp. 83–94.
- 12 Защелкин К.В. Калиниченко В.В., Ульченко Н.О. Реализация комбинированного способа навигации автономного мобильного робота // Электротехнические и компьютерные системы 2013, №9 (85), С. 102-109.
- 13 Pfeiffer F., Eltze J. WHJ Six-legged technical walking considering biological principles. Robot Autonom Syst 14 (2–3). 1995. pp. 223–232.
- 14 Жога В.В., Брискин Е.С., Фролова Н.Е., Смотров В.М. Концепция системы управления шагающим роботом для разминирования // Искусственный интеллект. 2003. №2. С. 140-147.
- 15 Zielinska T. Development of walking machines: historical perspective. In: Proceedings of the international symposium on history of machines and mechanisms. Kluwer Academic Publisher, 2004, pp. 357–370.
- 16 Hodoshima R. et al Development of quadruped walking robot TITAN XI for steep slope operation. J Robotic Soc Japan 23(7), 2005, pp. 847–857.

17 Bullo F., Cortes J., Martinez S. Distributed Control of Robotic Networks: A Mathematical Approach to Motion Coordination Algorithms, 2009, p. 314.

18 Beer R., Quinn R.D., Ciel H.J., Ritzmann R.E. Biologically inspired approaches in robotics: what we can learn from insects. Commun ACM 40(3). 1997. pp. 30–38.

19 M. Raibert, Legged Robots that Balance. Cambridge, MA: MIT Press, 1986

20 E. Neo, K. Yokoi, S. Kajita, and K. Tanie, “Whole-body motion generation integrating operator’s intention and robot’s autonomy in controlling humanoid robots,” IEEE Trans. Robot., vol. 23, no. 4, pp. 763–775,

21 <http://robotday.ru>

22 <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>

23 <https://autohome.org.ua>

24 <http://wiki.amperka.ru>

25 <http://robotclass.ru>

26 <https://arduinomaster.ru>

КОСЫМША А

```
#include "VarSpeedServo.h"

int trigPin = 9;
int echoPin = 8;

VarSpeedServo LTop, LBot, RTop, RBot;

String REZH = "PAR"; int COUNT = 0;

void setup() {
  LTop.attach(13); LBot.attach(10);
  RTop.attach(11); RBot.attach(12);

  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  if (REZH == "PAR") {
    RTop.write(95, 30, false); LTop.write(86, 30, false);
    RBot.write(92, 30, false); LBot.write(89, 30, false);
    delay(3500);
    REZH = "NEXT";
  }

  if (REZH == "NEXT") {
    RTop.write(77, 20, false); LTop.write(66, 20, false);
    RBot.write(78, 30, false); LBot.write(65, 30, false);
    delay(1700);

    RTop.write(77, 20, false); LTop.write(66, 20, false);
    RBot.write(102, 30, false); LBot.write(99, 30, false);
    delay(1700);

    RTop.write(115, 20, false); LTop.write(106, 20, false);
    RBot.write(102, 30, false); LBot.write(99, 30, false);
    delay(1700);

    RTop.write(115, 20, false); LTop.write(106, 20, false);
    RBot.write(92, 30, false); LBot.write(89, 30, false);
    delay(1700);
  }
}
```

```

int duration, distance;

digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance = duration / 58;
delay(200);
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance = duration / 58;
delay(200);
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance = duration / 58;
delay(200);
if ((distance > 5) and (distance < 20)) { REZH = "RIGHT"; }
}

if (REZH == "RIGHT") {

    RTop.write(115, 20, false); LTop.write(106, 20, false);
    RBot.write(92, 20, false); LBot.write(89, 20, false);
    delay(1700);

    RTop.write(115, 20, false); LTop.write(106, 20, false);
    RBot.write(92, 20, false); LBot.write(99, 20, false);
    delay(1700);

    RTop.write(115, 20, false); LTop.write(78, 20, false);
    RBot.write(92, 20, false); LBot.write(99, 20, false);
    delay(1700);
    RTop.write(115, 20, false); LTop.write(78, 20, false);

```

```
RBot.write(92, 20, false); LBot.write(89, 20, false);  
delay(1700);
```

```
RTop.write(115, 20, false); LTop.write(78, 20, false);  
RBot.write(82, 20, false); LBot.write(69, 20, false);  
delay(1700);
```

```
RTop.write(89, 20, false); LTop.write(78, 20, false);  
RBot.write(82, 20, false); LBot.write(69, 20, false);  
delay(1700);
```

```
if (COUNT == 3) {  
    int duration, distance;  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    delayMicroseconds(2);  
    digitalWrite(trigPin, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
    distance = duration / 58;  
    delay(200);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    delayMicroseconds(2);  
    digitalWrite(trigPin, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
    distance = duration / 58;  
    delay(200);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    delayMicroseconds(2);  
    digitalWrite(trigPin, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
    distance = duration / 58;  
    delay(200);  
    if ((distance > 5) and (distance < 20)) { COUNT = 0; } else { COUNT = 0;  
REZH = "NEXT";}  
    } else {  
        COUNT = COUNT + 1;  
    }  
}  
}
```