

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

Хусаинов Аят Бекболатович

«MatLab қолданып төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы
роботтын қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу»

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және аппараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ

АжБ кафедрасының меңгерушісі,
физ-мат. ғыл. канд.,

қауымдастырылған профессор

Н.У. Алдияров

« 19 » 2022 ж.

«MatLab қолданып төрт айналу кимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу» тақырыбына

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы

Орындаған:

Хусаинов А.Б.

Пікір беруші

Ғылыми жетекші

Ғ. Даукеев атындағы АЭЖБ АжБ

АжБ кафедрасының

кафедрасының доценті, PhD докторы

қауымдастырылған профессоры, техн.
ғыл. канд.

Безіл Г.Д.

Бейсембаев А.А.

« 05 » 2022 ж.

« 19 » 05 2022 ж.

Қол қойғаны растаймын

Подпись заверяю

Алматы 2022

« 05 » 2022 ж.

аты-жөні

2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Автоматтандыру және басқару» кафедрасы

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы



БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

Физ-мат.ғыл.канд.

Қауымдастырылған профессор

Н.У. Алдияров

« 24 » 2022 ж.

Дипломдық жобаны дайындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы Хусаинов Аят Бекболатович

Жобаның тақырыбы: «MatLab қолданып төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтын қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу.»

Университет ректорының бұйрығымен бекітілген № «489-П/Ө»
"24" желтоқсан 2021ж.

Орындалған жұмыстың өткізу мерзім «11» мамыр 2022 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы мәліметтері: дипломды практикасындағы жиналған мәліметтер.

- Роботтар мен манипуляторлар қолдану негіздері;
- Төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы робот;
- Денавит – Хартенбергтің параметрлер кестесін құру.

Ұсынылған негізгі әдебиеттер тізімі:

[1] К.Фу, Р.Гонсалес, К.Ли Робототехника: Пер.с англ.-М.:Мир-1989.-624б.

[2] Қ.Ж.Тлеубердин Қолданбалы механика: Оқу құралы.
2-басылым. Семей, 2012-192 б.

[3] А.Г.Лесков, И.В.Бажинова, Е.В.Селиверстова Кинематика и динамика исполнительных механизмов манипуляционных роботов: учеб.пособие, 2017

**Дипломдық жобаны даярлау
КЕСТЕСІ**

Бөлім атаулары, дайындалатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Технологиялық бөлім		
Негізгі бөлім		

Аяқталған дипломдық жобаның және оларға
қатысты диплом жобасы бөлімдерінің кеңесшілері мен нормалық
бақылаушының қолтаңбалары

Бөлімдердің атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Технологиялық бөлім	Бейсембаев А.А. АжБ кафедрасының қауымдастырылған профессоры, т.ғ.к.	18.05.2022	
Негізгі бөлім	Бейсембаев А.А. АжБ кафедрасының қауымдастырылған профессоры, т.ғ.к.	18.05.2022	
Нормалық бақылаушы	Н.С.Сарсенбаев АжБ кафедрасының ассистент-профессоры, т.ғ.к.	18.05.22	

Ғылыми жетекшісі  Бейсембаев А.А.

Тапсырманы орындауға қабылдаған білім алушы  Хусаинов А.Б.

Күні «25» қаңтар 2022 ж.

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ

ПІКІРІ

диплом жұмысына

(жұмыс түрінің аталуы)

Хусаинов Аят Бекболатович

(білім алушының аты жөні)

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару»

(мамандықтың аталуы және шифрі)

MatLab қолданып төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу тақырыбына орындалған

Дипломдық жұмыста MatLab қолданып үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазулары жасалынған.

Манипуляторлы роботтардың кинематикасы Денавит-Хартенберг көрінісі арқылы қолданып жасалынған. Төрт қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың әрі бір қимыл дәрежеге сәйкес координат жүйелері қосылып, жазу матрицасы құрастырылған. Ары қарай табылған матрицалар нәтижесінде манипуляторлы роботтың кинематика матрицасы құрастырылады. MATLAB Sim Multibody ортасында модельдеу есебі қарастырылады. Әрі бір қимыл дәрежесінің параметрлеріне сәйкес модельдеу схемасы құрастырылған. Осының нәтижесінде манипуляторлы роботтың визуалды модельдеу өткізілген. Манипуляторлы роботтың тура және кері кинематика есептері шығарылады.

Дипломдық жұмысын орындау кезінде Хусаинов Аят Бекболатович өзін жақсы жағынан көрсетті. Берілген тапсырмаларды уақытында орындап, тәртіпті, білікті студент екенің дәлелдеді. Жалпы өзінің теориялық және практикалық жағынан дайындығын көрсетті. Жақсы инженерлік деңгейде жұмыс істей алатындығын дәлелдеді.

Диплом жұмысы барлық талаптарына сәйкес келеді. Диплом жұмысы 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша құрылған Мемлекеттік аттестаттау комиссиясында қорғауын ұсынамын.

Ғылыми жетекші

АжБ кафедрасының қауымдастырылған профессоры, т.ғ.к., доцент
(қызметі, ғыл. дәрежесі, атауы)



(қолы)

Бейсембаев А.А.

«13»

05

2022 ж.

Хусаинов Аят Бекболатович

(білім алушының аты жөні)

ДИПЛОМ ЖҰМЫСЫНА

(жұмыс түрінің атауы)

СЫН-ПІКІР

5B070200 – «Автоматтандыру және басқару»

(мамандықтың атауы және шифрі)

MatLab қолданып төрт айналу кимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу тақырыбына орындалған

Выполнено:

а) графикалық бөлімі 20 бетте

б) түсініктеме жазбасы 32 бетте

жасалынған

ЖҰМЫС ТУРАЛЫ ЕСКЕРТУЛЕР

Дипломдық жұмыста MatLab қолданып төрт айналу кимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазулары жасалынған.

Манипуляторлы роботтардың кинематикасы Денавит-Хартенберг көрінісі арқылы қолданып жасалынған. Төрт кимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың әрі бір кимыл дәрежеге сәйкес координат жүйелері қосылып, жазу матрицасы құрастырылған. Ары қарай табылған матрицалар нәтижесінде манипуляторлы роботтың кинематика матрицасы құрастырылады. MATLAB Sim Multibody ортасында модельдеу есебі қарастырылады. Әрі бір кимыл дәрежесінің параметрлеріне сәйкес модельдеу схемасы құрастырылған. Осының нәтижесінде манипуляторлы роботтың визуалды модельдеу өткізілген. Манипуляторлы роботтың тура және кері кинематика есептері шығарылады.

Дипломдық жұмысына келесі ескертулер бар:

- модельдеу кезінде манипуляторлы роботтың динамикасы ескертілмеген;

- манипуляторлы роботтың буын параметрлері өзгергенде модельдеу схемасы қалай өзгертілгені көрсетілмеген.

Айтылған ескертулерге қарамай, диплом жұмысы жоғары деңгейде жасалып, практика жағынан жақсы нәтижелер табылды.

Диплом жұмысы 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша барлық талаптарына сәйкес келеді. Жалпы 90%, А- (өте жақсы) бағасына бағаланып, ал Хусаинов Аят Бекболатович 5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша бақлавр лауазымына лайық деп есептеймін.

Сын-пікір беруші

Г. Дәукеев атындағы АЭЖБ АЖБ кафедрасының доценті, PhD докторы

(қызметі, ғыл. дәрежесі, атауы)

(колы)

Базил Г.

Қолтаңбаны растаймын

Подпись заверяю

«24»

05

2022 ж.

Қызметі

Аты-жөні

«24» 05 2022 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық басты мақсаты — MatLab инженерлік бағдарламалау ортасында робототехника мен мехатрониканың кең тараған мәселесін, кинематикалық моделін құрудың артықшылықтарын зерттеу. Тура және кері кинематикалық есептерді шешу әрекетін қолмен де етуге болады, бірақ Электронды Есептеуіш Машиналарды қолдану бұл есептерді шешуді едәуір жеңілдетеді. Манипуляторлық роботтың математикалық моделін құрудың орнына, мысалы Денавит-Хартенберг параметрлерін есептеу әдісімен, немесе Эйлер бұрыштарының көмегімен, MatLab инженерлік программалау ортасының арнайы Simulink визуалды модельдеу ортасын қолданып, оны функционалды блок-схема түрінде келтіруге болады.

Мысал ретінде төрт айналу қимыл дәрежесі бар, яғни құрамында төрт айналмалы кинематикалық жұп болатын манипуляторлы роботты Simscape Multibody кітапханасымен моделденеді.

АННОТАЦИЯ

Основной целью данной дипломной работы является изучение способов решения распространенной проблемы робототехники и мехатроники в среде инженерного программирования MatLab, и преимущества построения в ней кинематической модели. Решение прямой и обратной кинематической задачи, может выполняться вручную, но использование электронно-вычислительных машин решает эти задачи. Вместо создания математической модели робота-манипулятора, например, методом вычисления параметров Денавита-Хартенберга или, например, с помощью расчета углов Эйлера, модель робота может быть создана в среде MatLab в виде функциональной блок-схемы с использованием специальной среды визуального моделирования Simulink.

Например, роботы-манипуляторы с вращательным движением, то есть четыре вращающимися кинематическими парами, моделируются блоками библиотеки Simscape Multibody.

ANNOTATION

The main goal of this work is to study one of the most common problems of robotics and mechatronics in the MatLab engineering programming environment, and the benefits of building a kinematic model of robotic manipulator there. It solves forward and inverse kinematic problems, which can be solved manually, but the use of electronic computing devices allows to solve these problems a lot more easily. Instead of creating a mathematical model of a robotic arm by hand, such as the Denavit-Hartenberg computational method or using Euler angles, mathematical model can be created in MatLab, in the form of a functional block diagram by using a special visual engineering modeling software environment — Simulink.

We use a robotic arm with circular motion, i.e. four rotating kinematic knobs as an example, which is modeled by the Simscape Multibody library

МАЗМҰНЫ

1	КІРІСПЕ	1
1	Роботтар мен манипуляторлар қолдану негіздері	1
1.1	Роботтық манипуляторлар және олардың адам өмірінде қолданылуы мен пайдасы	2
1.2	Робот манипуляторлардың түрлері	3
1.3	Өнеркәсіптік роботтардың кинематикалық сипаттамасы	5
2	Төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың кинематикасы	10
2.1	Simscape Multibody ортасында модельдеу	10
2.2	Simulink-те Simscape Multibody блоктарынан роботты модельдеу	10
2.3	Манипулятордың кері кинематикасы	15
2.4	Манипулятордың кері кинематикасы	19
2.5	Манипуляторды Matlab программалау ортасында модельдеу	22
3	Денавит – Хартенбергтің көрінісінің негіздері	25
3.1	Денавит-Хартенберг параметрлерін көрсету мысалы	25
3.2	Төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың кинематикалық есебі	29
4	ҚОРЫТЫНДЫ	32
5	ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	33

1 КІРІСПЕ

Жобаның мақсаты. Манипуляторлы роботтардың тура және кері кинематика есептерін шығару мәселері қарастырылған. Төрт айналу қимыл дәрежелі манипулятордың қозғалуы MatLab SimMultibody кітапханасында визуалды модельдеуі өткізілген. Осы тапсырманы орындау үшін айтылған роботтын кинематикалық моделі жасалынған. Нәтижесінде манипуляторлы роботтын қозғалу дәлдігін жоғарлату мәселесі қарастырылды.

Тақырыптың өзектілігі. Манипулятор — адам қолы тәрізді қимыл жасауға арналған техникалық құрылғы. Адам қолы өте икемді, ал механизмды оған ұқсастырамын десеңіз оған көп күш пен уақыт. Бұл тапсырманы мүмкіндігінше жеңілдету үшін адамзат арнайы программалық жабдықтамаларды ойлап тапты, есептеуіш машиналарды толығымен қолдануға үйренді. Сондай құралдардың бірі — MatLab инженерлік программалау ортасын қолданудың көмегімен тапсырманы тиімді тәсілмен шешу қолайлы.

Жоба тапсырмасы мен міндеті. Бұл зерттеудің тапсырмасы— төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын MatLab, Simscape Multibody көмегімен визуалды модельдеу.

Жоба жоспары. Бірінші бөлімде манипуляторлы роботтарды өнеркәсіпте және өмірдің басқа да салаларында пайдаланылуы мен олардың кинематикасы тиімділікке тікелей байланысы туралы айтылады. Манипулятордың абсолютті анықтамалық жүйеге қатысты айналуы және қозғалуы мүмкін болғандықтан, әрбір буын үшін осьтері буындар қосылу жеріне параллель болатын координаталар жүйелері беріледі. Кинематиканың міндеті — абсолютті және байланысқан координаталар жүйелері арасындағы байланысты орнататын беріліс матрицаларын анықтау. Манипуляциялық роботтың берілген кинематикалық құрылымына сәйкес мыналар қажет:

1) Біртекті координаталар көмегімен манипулятордың кинематикасының сипаттамасын қарастыру;

2) Элементар айналымдардың біртекті матрицаларын пайдаланып манипулятордың кинематикасын сипаттау әдістерін қарастыру.

Робот манипулятордың адам өмірін жеңілдетуі және пайдасы туралы айтылады. Көптеген кәсіпорындардағы операциялық шығындарды азайту қажеттілігі әлемдік робототехника нарығында сұранысқа ие болып табылады. Өндіріс процесінде кететін қателіктер, шикізаттың жоғалуы және жазатайым жайттардың санын азайту, кәсіпорынның технологиялық икемділігін және өнімділігін арттыру, еңбек жағдайлары мен қызметкерлердің қауіпсіздігін жақсарту арқылы шығындарды үнемдеуге болады. Тіпті қауіпті жағдайларда да күрделі тапсырмаларды жоғары дәлдікпен орындау қабілетіне байланысты көптеген салаларда қолданылатын роботтар бұл істе барлығына көмектеседі.

Екінші бөлімде, үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу қарастырылды. Ең

алдымен манипуляторға кинематикалық параметрлер берілді және сол параметрлерді пайдалана отырып матрицалар алынды. Алынған матрицаларды бір-біріне көбейтіп, кинематикасы табылды. Шыққан мәндерді пайдалана отырып, MatLab қолданып үш айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуы визуальды модельделінді және математикалық мәні табылды.

Үшінші бөлімде, Деневит-Хартенберг параметрлері сипатталды. Буындар арасындағы айналмалы және ілгерілмелі байланыстарды сипаттау үшін Деневит-Хартенберг кинематикалық тізбектің әрбір буынымен байланысты координаталық жүйелерді тұрғызу үшін матрицалық әдісі қарастырылады.

Роботтық манипуляторларды қолдануға болатын барлық салаларды тізімдеп шығу мүмкінге соқпайды. Бірақ бүгінгі күні бір затты айтуға болады: біздің өмірімізде робот манипуляторларды пайдалану мүмкін болмайтын салалар жоқ.

1 Роботтар мен манипуляторлар қолдану негіздері

Робототехника — роботтық жүйелерді құру және қолданумен байланысты ғылым мен технологияның жаңа саласы. Бұл ғылымның негізгі зерттеу объектілерінің бірі болып табылатын робот — адамның моторлық және интеллектуалдық функцияларын жаңғыртуға арналған автоматты машина. Роботтардың әртүрлі кластары бар, олардың ішінде ең маңыздысы автоматты манипуляциялық роботтар. Бұл роботтардың ерекше түрі - өнеркәсіптік роботтар.

Бүгінгі күні өнеркәсіптік роботтар мен ұқсас жабдықтар іс жүзінде шағын өндірісті автоматтандырудың жалғыз құралы болып табылады. Өнеркәсіптік роботтардың маңызды ерекшелігі — олар бір циклде көлікті де, негізгі технологиялық операцияларды да қарапайым біріктіруге мүмкіндік береді, бұл әмбебап жабдық негізінде икемді автоматтандырылған өндірісті құруға мүмкіндік береді.

Өнеркәсіптік роботтың барлық бөліктерінің ішінде атқарушы механизм — жұмыс органының қозғалысын қамтамасыз ететін механизм ең маңызды мәнге ие. Осы құрылғыға роботтың жылдамдық, маневрлік, орналасу дәлдігі және шектеулі кеңістікте жұмыс істеу қабілеті сияқты маңызды сипаттамалары байланысты.

Механика тарихы адамның тіршілік иелеріне ұқсас механизмдер мен құрылғыларды жасауға үнемі ұмтылысын көрсететін мысалдарға бай. Бұл тілек көптеген себептерге байланысты, олардың арасында қиын және зиянды жұмыстарды орындауда адамды ауыстыруға деген ұмтылыс бар. 1940-жылдары атомдық технологияның қажеттілігіне байланысты негізгі мақсаты радиоактивті заттармен әртүрлі технологиялық операцияларды орындау болып табылатын манипуляторлар пайда болды. Мұндай құрылғыларды пайдалану адамды қауіпті аймақтан шығаруға мүмкіндік берді, оған тек қашықтан басқару функциялары қалды.

Біздің уақытымызда бұрынғы тиімсіз құрылғылардың орнын тиімдірек автоматты түрде жұмыс істейтін роботтық құрылғылар басты. Заманауи роботтық құрылғыларды жасау XX ғасырдың екінші жартысында ғана жасалған жаңа технологияларға негізделген: олар — компьютерлік технологиялар мен информатика. Роботтық құрылғылар өнеркәсіптік өндірісті кешенді автоматтандырудың маңызды құралына айналды, олар бір циклде тиеу-түсіру және негізгі технологиялық операцияларды оңай біріктіруге мүмкіндік береді. Автоматты роботтардың ең маңызды қолданбалары автоматтандырылған бөлімдерді, цехтарды және зауыттарды әзірлеумен және құрумен байланысты.

Бұл жұмыста манипуляциялық роботтар қарастырылады. Манипуляциялық робот — әмбебап жұмыстарды орындауға арналған техникалық құрылғы (машина), оның жетектері манипуляторлар (механикалық қолдар).

1.1 Роботты манипуляторлардың қолданылуы мен пайдасы

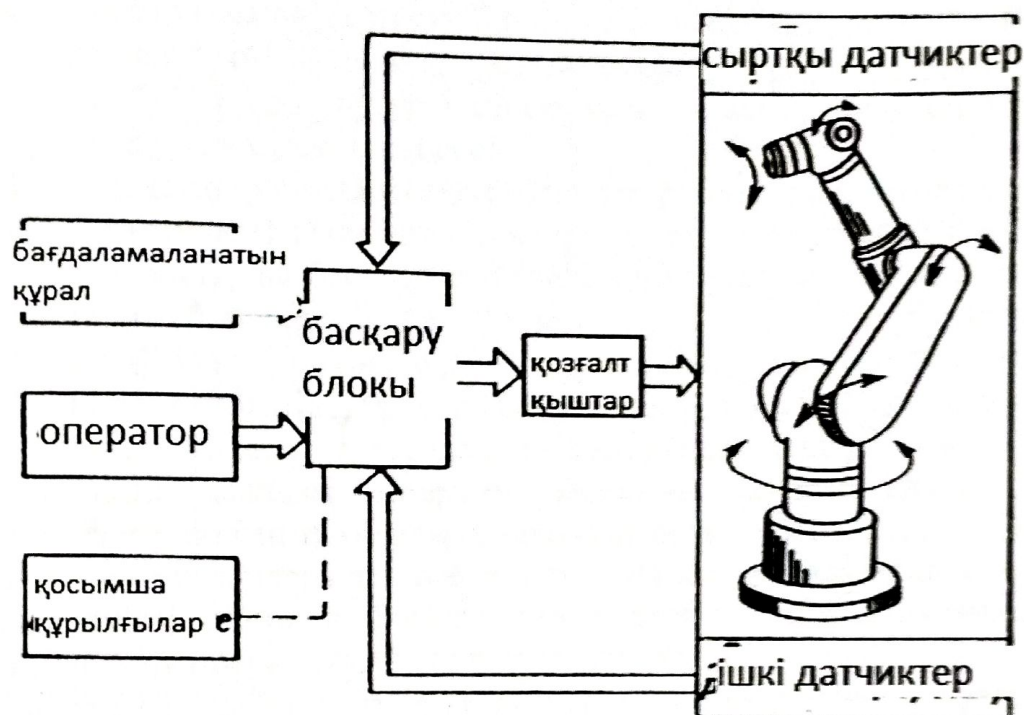
Соңғы бірнеше онжылдықта өнеркәсіптік роботтарды қолдануды бүкіл әлемде көруге болады және бар жылдам өсу үрдісімен айтарлықтай өсті. Көбінесе бұлар материалды өңдеу, дәнекерлеу, бояу, бөлшектерді құрастыру, орау, өңдеу қауіпті материалдар, су астындағы операциялар және т.б. қауіпті жұмыстарды атқаруда қолданылады. Робот манипуляторы — әртүрлі жұмыстарды орындау үшін адам ептілігін қажет ететін электромеханикалық құрылғы. Кейбір манипуляторлар антропоморфты және гуманоидты формаға ие болғанымен, бұл роботтардың көпшілігін құрылымы жағынан электромеханикалық құрылғылар ретінде қарастыруға болады. Екінші жағынан, кең ауқымға ие автономды және жартылай автономды роботтар планеталық ғарышты зерттеу, хирургиялық робототехника, оңалту және т.б. тұрмыстық қолданыстарда қолданылады.

Айтылған қолданбалардың маңызды сипаттамасы роботтың өнеркәсіптік жұмыс ұяшықтарынан гөрі құрылымсыз орталарда жұмыс істеуі қажет. Құрылымсыз орталардағы роботтар үшін қозғалысты басқару және траекторияны жоспарлау, қоршаған ортаны модельдеу, сезу және роботты іске қосудағы белгісіздікке байланысты маңызды қиындықтар пайда болады. Қазіргі күйде робот қолданбаларының кең аймағы құрылымдық және құрылымсыз ортада жұмыс істейтін өнеркәсіптік робот қаруларымен айналысады.

Роботтар сонымен қатар кәсіби және жеке өмірде көмектесу, сондай-ақ адамдарды қауіп-қатер, ыңғайсыздық, қайталану және т.б. байланысты жағдайдан оқшаулау арқылы адам өмірінің бір бөлігіне еніп жатыр, бірақ бұл үдеріс баяу өтеді. Әртүрлі технологияның дамуымен, роботтар орындайтын міндеттер кеңейді, сондықтан машиналар адамның мүмкіндіктерін кеңейтіп, оларды қиын және қауіпті жұмыстарды орындауда роботтармен алмастырған жөн. Тапсырмаларды адамға ұқсайтын тәсілдермен орындау және адамдар мен роботтар арасындағы дұрыс және қауіпсіз ынтымақтастықты жүзеге асыру үшін болашақ роботтары құрылымы, интеллектісі, ақылдылығы және реакциялары бойынша адамдық шеберлікке ие болуы керек. Демек, белгілі бір дәрежеде автономды жұмыс істейтін робот аналитикалық сипаттамасы жетілдірілген әдістерді қажет ететін өте күрделі электромеханикалық жүйелер болуы мүмкін. Мұндай құрылғыларды жобалау және әзірлеу көптеген күрделі және қызықты зерттеу мәселелерін ұсынады. Ең бастысы - роботтың кері кинематикасын есептеу. Бұл роботқа оның пайдалылығы мен бейімделуін беретін компьютермен басқарылады. Робототехника революциясы деп аталатын нәрсе шын мәнінде үлкен компьютерлік революцияның бөлігі болып табылады. Робот-манипуляторларға әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін көптеген өрістер бар. Олардың кейбіреулері: автомобильдер, тұрмыстық бұйымдар, таңдау, су асты және планеталарды барлау, спутниктерді іздеу және жөндеу, жарылғыш заттар мен радиоактивті өрісті залалсыздандыру. Медицина саласында робототехника кинематикалық, динамикалық және бақылау

операцияларын қамтитын реабилитация мен хирургияда қосымшаларды табады.

1.2 Манипуляторлы роботтар және олардың түрлері



1.1 Сурет – Робот манипуляторларының жалпы жұмыс бөліктері

Адамның басқаруға қатысу дәрежесіне қарай манипуляциялық роботтар автоматты, биотехникалық және интерактивті болып үш түрге бөлінеді.

Автоматты манипуляциялық роботтар машинаны басқару жүйелерінен пайда болды және дамыды. Олардың іс-әрекетін басқару процесі адамның тікелей қатысуымен немесе қатысуынсыз жүзеге асуы мүмкін. Автоматты манипуляциялық роботтың функционалдық диаграммасы 1.1 суретте көрсетілген. Манипуляциялық робот манипулятордан, жетектерден, сезгіш құрылғылардан, оператормен және компьютермен байланыс құрылғыларынан тұрады. Манипулятор адам қолының қимылдарына еліктейді және жылжымалы айналмалы және ілгерілмелі кинематикалық жұптары бар көп буынды ашық механизм болып табылады. Манипуляторлардың бостандық дәрежелерінің саны 3-тен 10-ға дейін өзгереді. Манипулятордағы қолдың қызметін конструкциясы манипуляциялық объектілердің белгілі бір түрімен операцияларды қарастыратын тұтқыш деп аталатын құрылғымен орындалады. Ақпараттық жүйе сыртқы ортаның жағдайы туралы ақпаратты жинауға арналған. Оның элементтері ретінде теледидар, ультрадыбыстық, тактильді және басқа да сенсорлар қолданылады. Басқару жүйесі құрылған алгоритмдер

зандарын әзірлеуге қызмет етеді.

Бағдарламалық жасақтама роботтары жад құрылғысына енгізілген қатаң бағдарлама бойынша жұмыс істейді, бірақ оларды басқа қатаң әрекеттер бағдарламасымен жұмыс істеу үшін қайта конфигурациялауға болады. Оларды автоматты бағдарлама манипуляторлары немесе өнеркәсіптік роботтар деп те атайды. Бағдарламаны өзгертудің қарапайымдылығы, яғни өнеркәсіптік роботтарды жаңа операцияларға қайта даярлау мүмкіндігі бұл роботтарды жеткілікті әмбебап және әртүрлі тапсырмалар класы үшін икемді түрде қайта конфигурациялауға мүмкіндік береді.

Бейімделетін роботтар бағдарламалық роботтардан сыртқы (оптикалық, теледидар, тактильді) және ішкі сенсорлардың үлкен санымен ерекшеленеді. Осы типті роботтарды басқару жүйелері күрделірек, олар тек қатаң қозғалыс бағдарламасы бойынша жұмыс істеумен шектелмейді және сыртқы жағдайларға байланысты оны біршама түзете алады. Әдетте, оларды іске асыру үшін басқару компьютері қажет. Бейімделетін роботтардың маңызды бөлігі сыртқы және ішкі сенсорлардан ақпаратты өңдеуге және қозғалыс бағдарламасын жылдам өзгертуге арналған кеңейтілген бағдарламалық қамтамасыз ету болып табылады. Сыртқы ортадағы өзгерістерді қабылдау және бар жұмыс жағдайларына бейімделу қабілетінің арқасында бейімделгіш роботтар ерікті пішіннің бағдарланбаған бөліктерін манипуляциялай алады және құрастыру операцияларын орындай алады.

Зияткерлік роботтарға тән қасиет олардың адаммен диалог жүргізу, күрделі жағдайларды тану және талдау, манипулятордың қозғалысын жоспарлау және сыртқы орта туралы шектеулі ақпарат жағдайында оларды жүзеге асыру қабілеті болып табылады. Мұның барлығы жасанды интеллект элементтерін қамтитын басқару жүйелерінің жетілдірілуімен, оқу және жұмыс процесінде бейімделу қабілетімен қамтамасыз етіледі.

Биотехникалық манипуляциялық роботтар көшіру және басқару механикалық жүйелерден туындайды. Бұл түрдегі роботтар орындай алатын операциялар автоматты роботтар орындайтын технологиялық операцияларға қарағанда сенімді емес. Олар радиоактивті материалдармен жұмыс істегенде кеңінен қолданылады. Бұл түрдегі роботтардың манипуляторларын оператор басқарады, ал компьютер оның жұмысын жеңілдету үшін қолданылады.

Биотехникалық манипуляциялық роботтарды басқарудың үш түрі бар: көшіру, командалық және жартылай автоматты. Көшіруді басқару роботтың атқарушы қолына кинематикалық жағынан ұқсас негізгі құрылғы арқылы жүзеге асырылады. Мұндай жүйелер көшіру манипуляторлары деп аталады. Адам операторы баптау құрылғысын жылжытады, ал манипулятор бұл қозғалыстарды барлық еркіндік дәрежесінде бір уақытта қайталайды. Командалық басқару жағдайында командалық құрылғыдан оператор сәйкес жетектерді бір-бірден қосу арқылы манипулятор буындарының қозғалысын қашықтан орнатады. Жартылай автоматты басқару кезінде оператор бірнеше еркіндік дәрежесі бар басқару тұтқасын басқару арқылы манипулятордың

қысқышының қозғалысын орнатады. Компьютер басқару тұтқасының сигналы бойынша манипулятордың барлық бөліктерінің жетектеріне басқару сигналдарын жасайды. Сондай-ақ, манипуляторды адам қолының сәйкес бұлшықеттерінің биоимпульстары басқаратын биотехникалық жүйелер бар.

Интерактивті манипуляциялық роботтар адамның компьютермен өзара әрекеттесуінің әртүрлі нысандарында көрінетін басқару процесіне белсенді қатысуымен ерекшеленеді. Сондай-ақ басқарудың үш түрі бар: автоматтандырылған, бақылаушы және интерактивті.

Автоматтандырылған басқарумен робот қарапайым операцияларды оператордың бақылау әрекетінсіз орындайды, ал қалғандары – биотехникалық режимде оператордың қатысуымен. Бақылау бақылаушының ерекшелігі, операциялардың барлық циклі автоматты түрде манипуляциялық роботпен орындалатын бөліктерге бөлінеді, бірақ бір бөліктен екінші бөлікке өтуін оператор сәйкес командалар беру арқылы жүзеге асырады. Интерактивті басқару арқылы оператор мен компьютер қиын жағдайларда бірлесіп шешім қабылдауға және манипуляторды басқаруға мүмкіндік алады.

1.3 Өнеркәсіпте қолданылатын манипуляторлардың кинематикалық сипаттамасын құру маңызы

Манипулятор – топсалар немесе призматикалық қосылыстар арқылы бір-бірімен тізбектей жалғанған қатты денелерден тұратын ашық механикалық тізбек. Манипуляторды құрайтын қатты денелердің әрқайсысы буын деп аталады. Мұндай шынжырдың екі ұшы бар, оның бірі негіз, екіншісі – манипулятордың ұстағышы. Кинематикалық жұптар мен буындар нәтижесінде берілетін негізден бастап ұстағышқа дейін нөмірленеді.

Жұптық байланыстарды құрайтын және салыстырмалы қозғалысқа мүмкіндік беретін буындар кинематикалық жұптар деп аталады. Қатты дене ретінде қарастырылатын әрбір буынның алты еркіндік дәрежесі бар.

Егер кинематикалық жұпта буындардың салыстырмалы қозғалысы S байланыстың шартымен белгіленсе (S саны кинематикалық жұптың классын анықтайды), онда кинематикалық жұптың еркіндік дәрежелерінің саны

$$h = 6 - S \quad (1.1)$$

$S = 0$ болғанда буындар өзара еркін, ал $S = 6$ болғанда олар өзара бекітілген, яғни $1 \leq S \leq 6$. Сонда сфералық қосылыс үшін $S = 3$, $h = 3$; цилиндрлік жұп үшін $S = 4$, $h = 2$; қарапайым цилиндрлік топса және ілгерілемелі қозғалыстың призмалық жұбы үшін $S = 5$, $h = 1$.

Кинематикалық жұптарды құрайтын буындар жүйесі кинематикалық тізбек деп аталады. Егер тізбекте тек бір кинематикалық жұпқа кіретін буындар болса, онда тізбек ашық (ашық) деп аталады; егер олардың біреуі қозғалмайтын

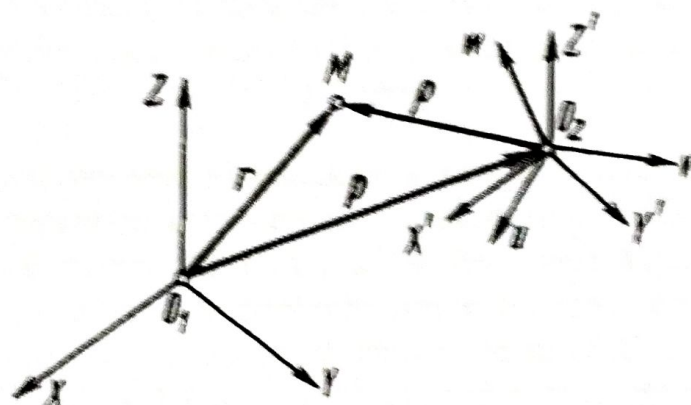
Кинематикалық тізбектің еркіндік дәрежелерінің саны тең,

мұндағы n - қозғалатын буындар саны; i - i -ші кластың кинематикалық жұптарының саны.

Манипуляторды құрушы адамның алдында тұрған бірінші мәселе оның кинематикалық схемасын, оның қаңқасының құрылымын таңдау болып табылады. Манипуляция объектілерімен операцияларды орындау процесінде көп жағдайда манипуляторлар адам қолының қозғалысына еліктейді. Сондықтан манипулятордың құрылымдық схемасы адам қолының кинематикалық сипаттамаларына ұқсас болуы керек. Адам қолына қолжетімді мобильділік (саусақтардың қозғалғыштығын есепке алмағанда) кеңістіктік кинематикалық тізбектің көмегімен қамтамасыз етілуі мүмкін, онда буындар әр түрлі кинематикалық жұптар арқылы 4 буынға иық сүйегінің аналогы бекітіледі. Үш еркіндік дәрежесі бар қозғалмалы жұп А арқылы - 1 буын иық

аналогы, бір еркіндік дәрежесі бар қозғалмалы жұп В арқылы - 2 буын білек аналогы - және үш еркіндік дәрежесі бар жұп 3 кол. Малышев формуласын қолданып, қолдың қозғалысын (саусақтар мен фалангаларды) есепке алмай, адам қолының қозғалғыштық дәрежесін бағалау үшін $W = 1$ аламыз; барлық сілтемелерді ескере отырып және қолдың өзінде бізде барлығы $W = 27$ бар.

Координаттарды түрлендіру — манипулятордың кинематикалық талдауында туындайтын негізгі мәселелердің бірі. Яғни, егер оның буындары қозғалса, манипулятордың ұстағышы қалай қозғалатынын анықтау. Белгілі бір заңға сәйкес, берілген ұстағыштың жылдамдығын қамтамасыз ету үшін буындардың жылдамдықтары қандай болуы керек — осы және басқа да осыған ұқсас сұрақтар роботты басқару жүйесін әзірлеуде жиі туындайды. Олар координаталарды түрлендірумен байланысты екені анық.



1.3 Сурет – М нүктесінің координаталары O_1XYZ координаталар жүйесінде берілген кезде оны O_2UVW координаталар жүйесінде анықтау тәсілі

Екі координат жүйесі болсын: O_1XYZ және O_2UVW . Олар 1.3 суретте көрсетілген. Осы жерде және төменде координаталар жүйесі ортогональ және оң жакты деп есептейміз. Кеңістікте М нүктесін қоямыз да, оған екі вектор r мен ρ сызамыз. Олардың O_2UVW координаталар жүйесіндегі М нүктесінің координаталары белгілі болсын

$$\rho = (u, v, w)^T \quad (1.3)$$

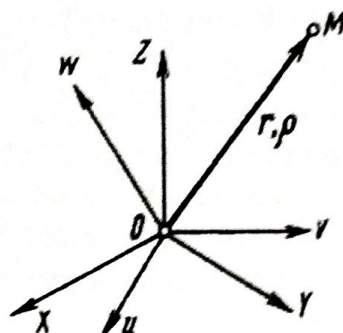
Енді O_1XYZ координаталар жүйесінде М нүктесінің координаталарын анықтаймыз:

$$r = (x, y, z)^T \quad (1.4)$$

Қажетті вектордың координаталарын есептеу үшін ρ векторына келесі амалдарды орындаймыз

$$r = R\rho + p \quad (1.5)$$

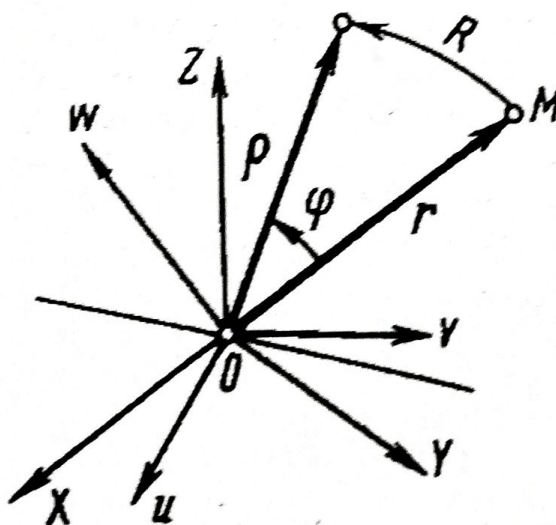
мұндағы R — 3×3 матрицасы, ал p — 3×1 векторы.



1.4 Сурет – M нүктесінің координаталарын бастапқы нүктелері бірдей болатын жағдайда O_1XYZ пен O_2UVW координаталар жүйелерге қатысты анықтау

R матрицасын айналу матрицасы, ал p векторын тасымалдау векторы деп атайды. Егер Rp векторының құраушылары, осьтері O_1XYZ жүйесінің сәйкес осьтеріне параллель болатын M $O_1X'Y'Z'$ жүйесіндегі бірдей M нүктесінің координаталары екенін ескерсек формула анық болады. координат $O_1X'Y'Z'$ жүйесінің басының координаталарының анықтамасы O_1XYZ векторы p ортақ координаталық жүйелердегі M нүктесінің координат жүйесінде берілген. R айналу матрицасының құрылымын егжей-тегжейлі қарастырайық. Енгізілген координаталық жүйелердің басы 1.4 суретіндегідей сәйкес болсын, онда бізде

$$r = Rp \quad (1.6)$$



1.5 Сурет – Ортогональды түрлендіру

Жалпы айтқанда, кез келген R матрицасы p векторын сол координаталар жүйесінде берілген r векторына түрлендіреді. Бұл матрицаны сызықтық түрлендіру матрицасы деп атайды. Тек осындай сызықтық түрлендірулерді қарастырайық, нәтижесінде барлық r векторлары p векторын қандай да бір осьтің айналасында қандай да бір φ бұрышына айналдыру арқылы алынады; оны 1.5 суретте көруге болады. Бұл $OUVW$ координаталар жүйесінің айналуына эквивалентті 1.5 суреттегі түрлендіру векторымен анықталатын M нүктесі бойынша ортогональды. Мұндай сызықтық түрлендірулер ортогональды түрлендірулер деп аталады, және сәйкес R матрицалары ортогональды түрлендірулердің матрицалары болып табылады.

Егер R ортогональды матрица болса, онда ол үшін келесі қатынас дұрыс болады:

$$R'R = RR' = E \quad (1.7)$$

Мұндағы E — бірлік матрица

2 Төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы робот

2.1 Simscape Multibody ортасында модельдеу

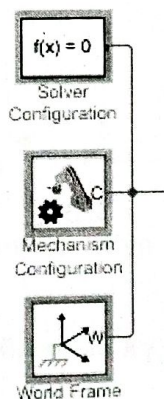
Simscape Multibody физикалық денелер модельдеу Matlab платформасында жүзеге асырылады, механиканың негізгі физикалық принциптеріне негізделген жүйелерді модельдеуге мүмкіндік береді.

Simulink басқа модульдерінен айырмашылығы математикалық операцияларды жүзеге асыратын және сигналдардағы операциялар блоктары физикалық материалдарды көрсетеді.

Simscape Multibody кітапханаларының блоктары — қажетті еркіндік дәрежесін қамтамасыз ететін буындар арқылы қосылған қатты денелерден тұратын механикалық жүйелерді модельдеу үшін қажетті элементтер. Бар кинематикалық шектеулерді қояды, күштер мен моменттерді береді және модельдеу кезінде қозғалыс параметрлерін бақылап отырады.

2.2 Simulink-те Simscape Multibody блоктарынан роботты модельдеу

2.1 бөлімдегі ережелерді ескере отырып, Simulink платформасында төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуы визуалды модельделінді.



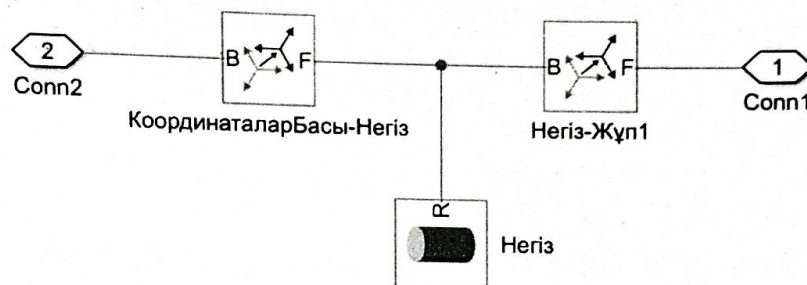
2.1 Сурет — Multibody пакетін инициализациялайтын блоктар

Алдымен әрбір элементке толығырақ тоқталып өтейін. ООО суретте көрсетілген үш блок — Simulink пакетінде SimMechanics пакетін инициализациялауға арналған. Олар:

Solver Configuration — электронды есептеуіш машинаға нұсқау береді де есептеу тәсілін тандайды.

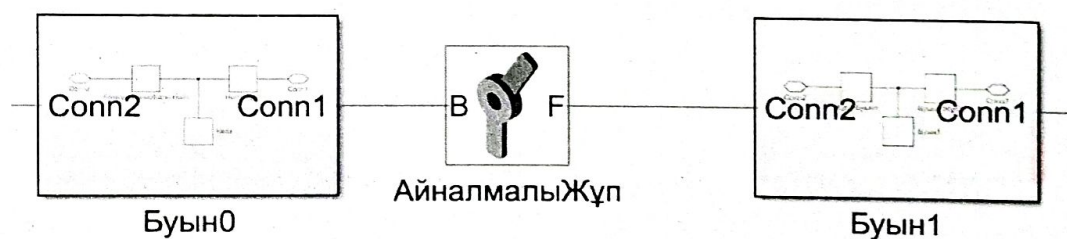
Mechanism Configurition — еркін түсу үдеуін $g = 9.812346$ және модельдеудегі уақыт қадамын $\Delta t = 0,001$ береді.

World Frame — бастапқы координаталар, $x, y, z = 0,0,0$.



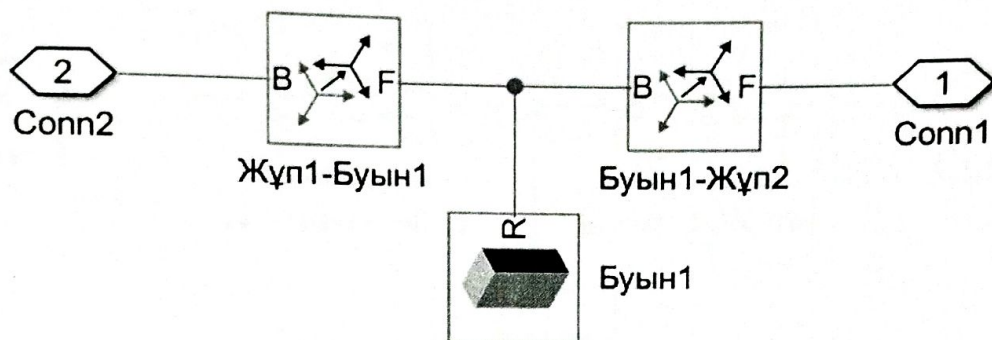
2.2 Сурет — Манипулятордың негізгі буыны

2.2 суретте манипулятордың буындарын еденмен және координаталар басымен қосатын блоктар көрсетілген. Мұндағы Негіз — манипулятордың негізі, яғни еденнің үстінде тұратын аласа цилиндр. Буындарды координаталар бастары арқылы бір-біріне қосу үшін цилиндрге екі қосымша ось беру керек. Олар КоординаталарБасы-Негіз және Негіз-Жұп1 — қосу нүктелерін белгілі бір қашықтыққа үстіге және астыға қозғайды. КоординаталарБасы-Негіз — еден мен цилиндрді ұштарымен біріктіреді. Негіз-Жұп1 — координаталар өлшемдерін үстінгі ұшына көтереді. Көтерілген нүкте Жұп1 айналмалы кинематикалық жұппен біріктіріледі.



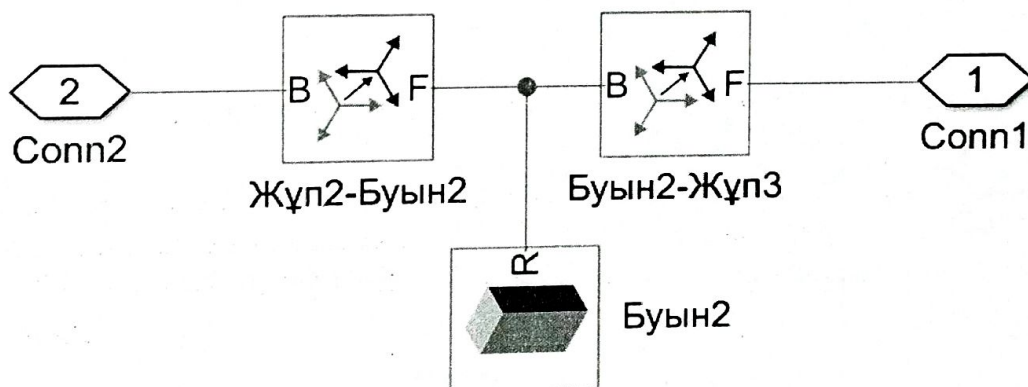
2.3 Екі буын арасындағы байланыс құрайтын кинематикалық жұп

2.3 суретте екі буын блоктар жүйесін Subsystem командасымен бір блокқа біріктіріліп, бір-бірімен айналмалы жұп арқылы қалай жалғанатыны көрсетіледі.



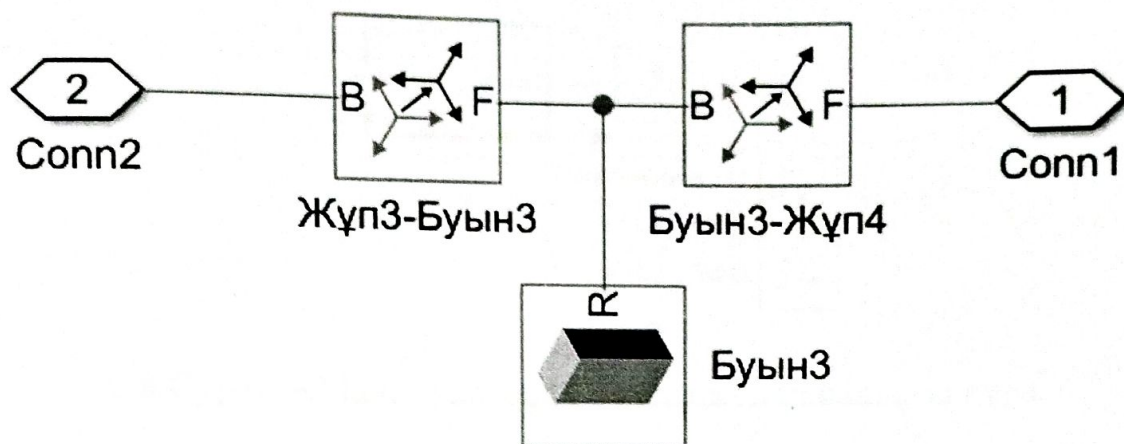
2.4 Сурет – Манипулятордың бірінші буыны

2.4 суретте манипулятордың бірінші буыны көрсетілген. Буындардың атауларын өзімізге ыңғайлы қылып белгілеп алсақ болады. Буын1 — бірінші буын. Жұп1-Буын1 және Буын1-Жұп2 қосылыс нүктелері арқылы блоктар бір-біріне жалғанады.



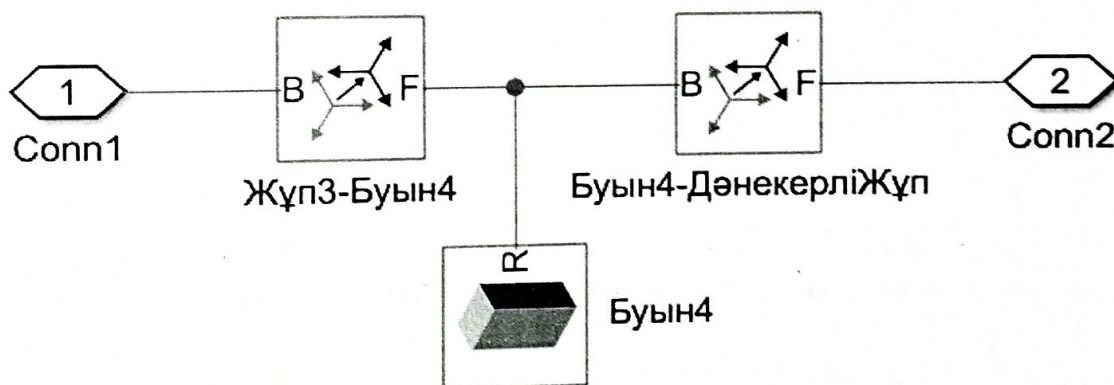
2.5 Сурет – Манипулятордың екінші буыны

2.5 суретте манипулятордың екінші буыны көрсетілген. Буын1 — бірінші буын. Жұп2-Буын2 және Буын2-Жұп3 қосылыс нүктелері арқылы блоктар бір-біріне жалғанады.



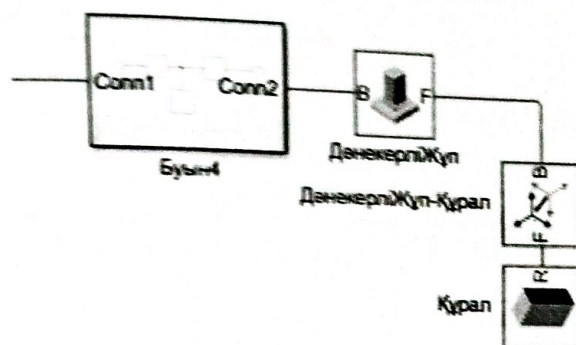
2.6 Сурет — Манипулятордың үшінші буыны

2.6 суретте манипулятордың үшінші буыны көрсетілген. Буын3 — үшінші буын, ол алдыңғы буындар сияқты құрылған. Жұп3-Буын3 және Буын3-Жұп4 қосылыс нүктелері арқылы блоктар бір-біріне жалғанады.



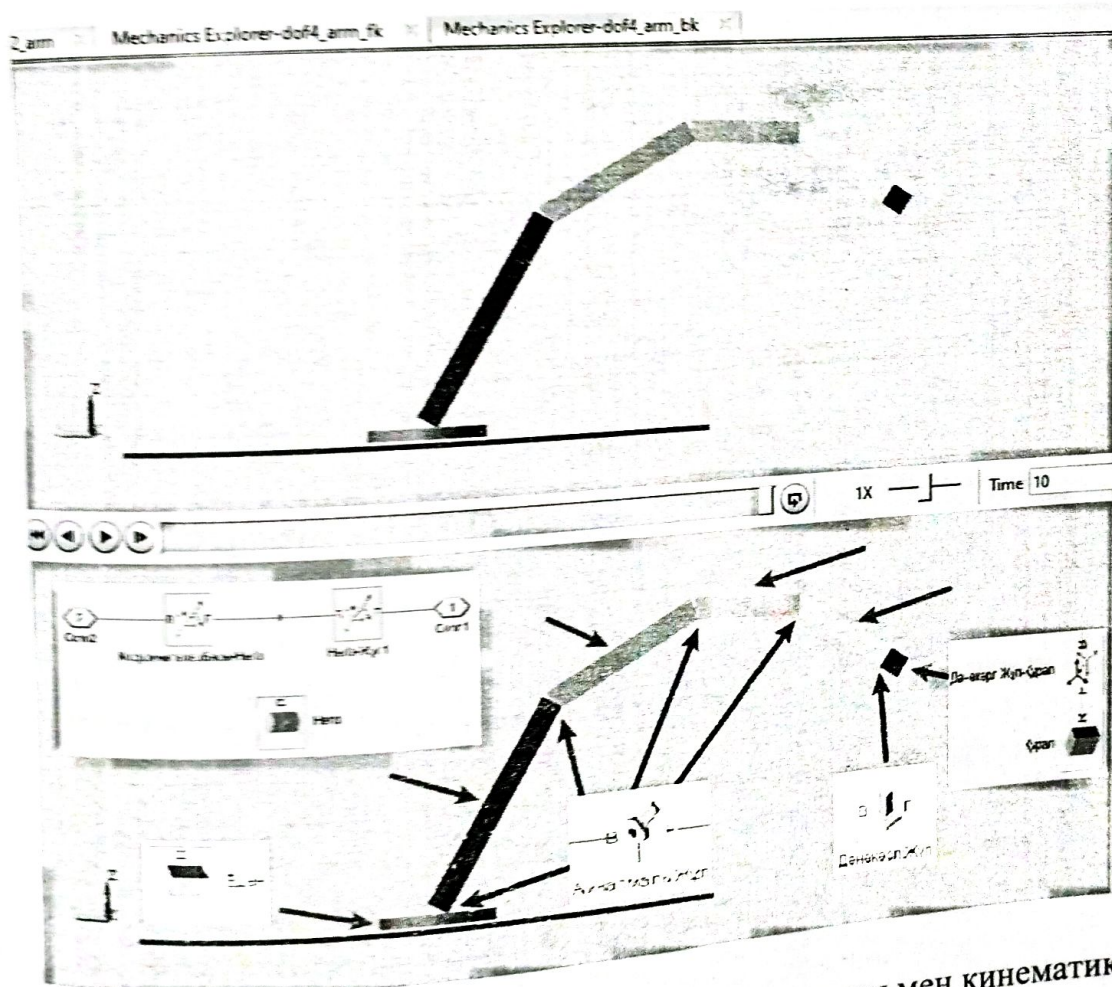
2.7 Сурет — Манипулятордың төртінші буыны

2.7 суретте манипулятордың төртінші буыны көрсетілген. Буын4 — төртінші буын. Жұп3-Буын4 және Буын4-ДәнекерліЖұп қосылыс нүктелері арқылы блоктар бір-біріне жалғанады.



2.8 Сурет — Манипулятордың қолы мен ұшындағы құрал

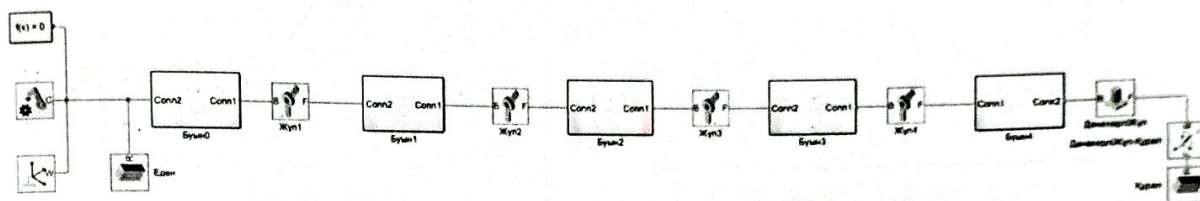
2.8 суретте соңғы жұп, үшінші буын мен инструментті қосады, ол 2.7 суретте қызылмен белгіленді. Оның орнына кез-келген инструмент немесе стағыш қоюға болады.



2.9 Сурет — Манипулятор моделі. Оның буындары мен кинематикалық жұптары көрсетілген

2.9 суретте Matlab ортасының арнайы әйнекшесі көрсетілген. Бұл жерде блоктардан құрылған манипулятордың компьютерлік визуальды моделі салынады. Бұл технологияны SolidWorks бағдарламалар пакетінің орнына

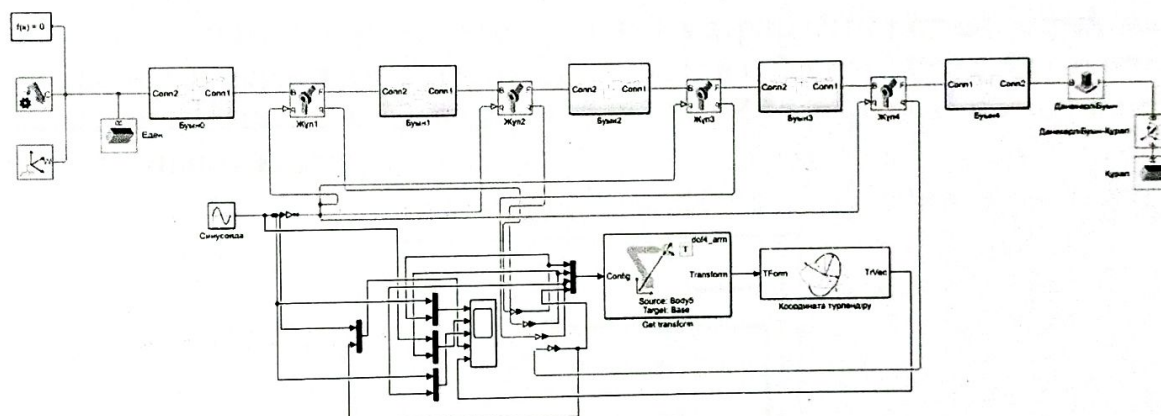
қолдануға да болады. Қосымша түрде кинематикалық жұптардың типтері мен олардың қосылу тәсілін де көрсетіп қойдым.



2.10 Сурет – Манипулятордың толық блок-схемасы

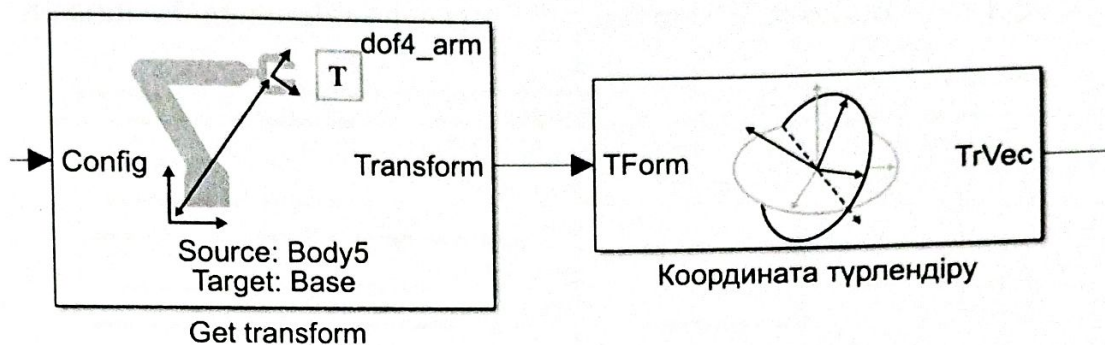
2.10 суретте алдыңғы 2.9 суретте айтылған және тарауда сипатталған моделінің блок-схемасы толығымен көрсетіліп тұр.

2.3 Манипулятордың кері кинематикасы



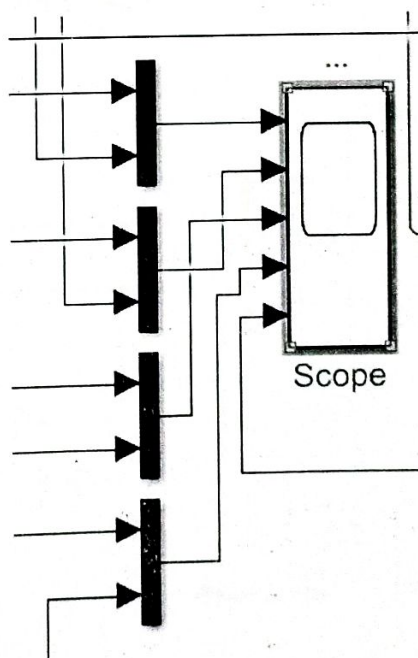
2.11 Сурет — Кинематиканың тура есебін MatLab көмегімен шығару

2.11 суретте манипулятордың тура кинематикасын санайтын схема берілді. Әр кинематикалық жұп блокінің параметрлерінде қосымша бір кіріс және бір шығыс берілді. Кіріске синусоидалы сигнал беріледі, ал шығыс сигналынан әр кинематикалық жұп қандай қозғалыс жасайтыны өлшенеді.



2.12 Сурет – Тура кинематика санайтын және оның шығыс сигналын түрлендіретін блоктар

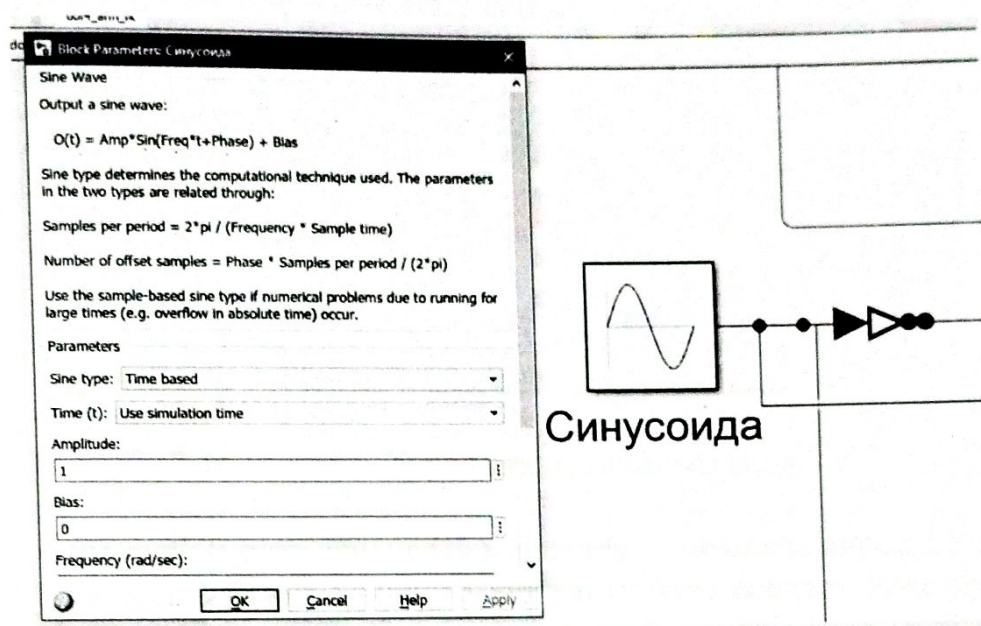
2.12 суретте тура кинематиканы санайтын блок берілген. Оның кірісіне жұптардан өлшенген шығыс сигналы, яғни, жұптар жасаған қозғалыстың өлшемдері кіріп жатыр. Ол манипулятор қолындағы құралдың соңғы координаталарын есептейді. Деневит пен Хартенберг параметрлерін қолданатын болғандықтан ол шығысында 4×4 матрицасын береді. Бірақ маған уақыт бойынша өзгеріс графиктерін алу керек, ал Scope блоқы 4×4 өлшемді матрицаны қабылдамайды. Сондықтан оны XYZ декарттық координаталар жүйесіне түрлендіру қажет.



2.13 Сурет – Кинематикалық жұптарды салыстыру

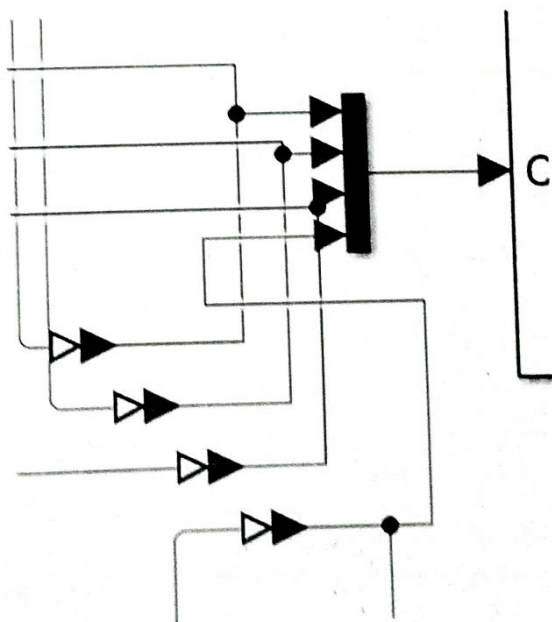
2.13 суретте төрт Мух, немесе мультиплексор блоктары бар. Олар екі сигналды біріктіріп, екеуінің айырмасын табады да, бір-бірімен салыстырады.

Бірінші сигнал — синусоида, ал екіншісі — әр кинематикалық жұптың бұрылған бұрышы. Одан кейін олардың айырмалары Score блокына кіреді



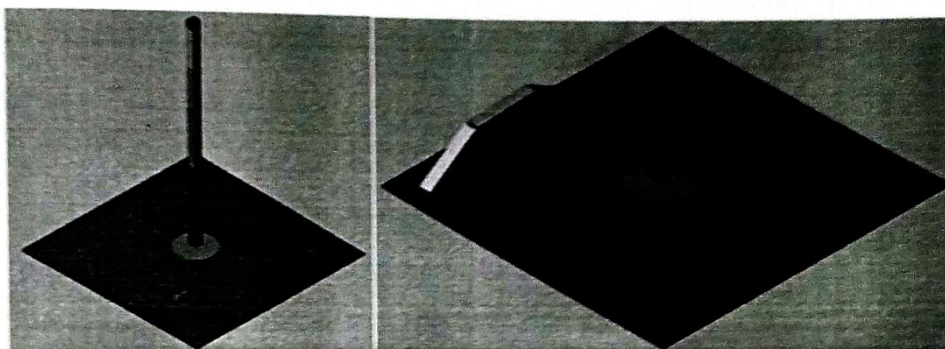
2.14 Сурет — Simulink сигналдарын физикалық шамаға түрлендіру

2.14 суретте кірістегі синусоида Simulink сигналы болып табылады, ал Simscape Multibody физикалық шамалармен ғана жұмыс істей алады. Сондықтан алдымен арнайы блокты қолданып, физикалық шамаға айналдырылады.



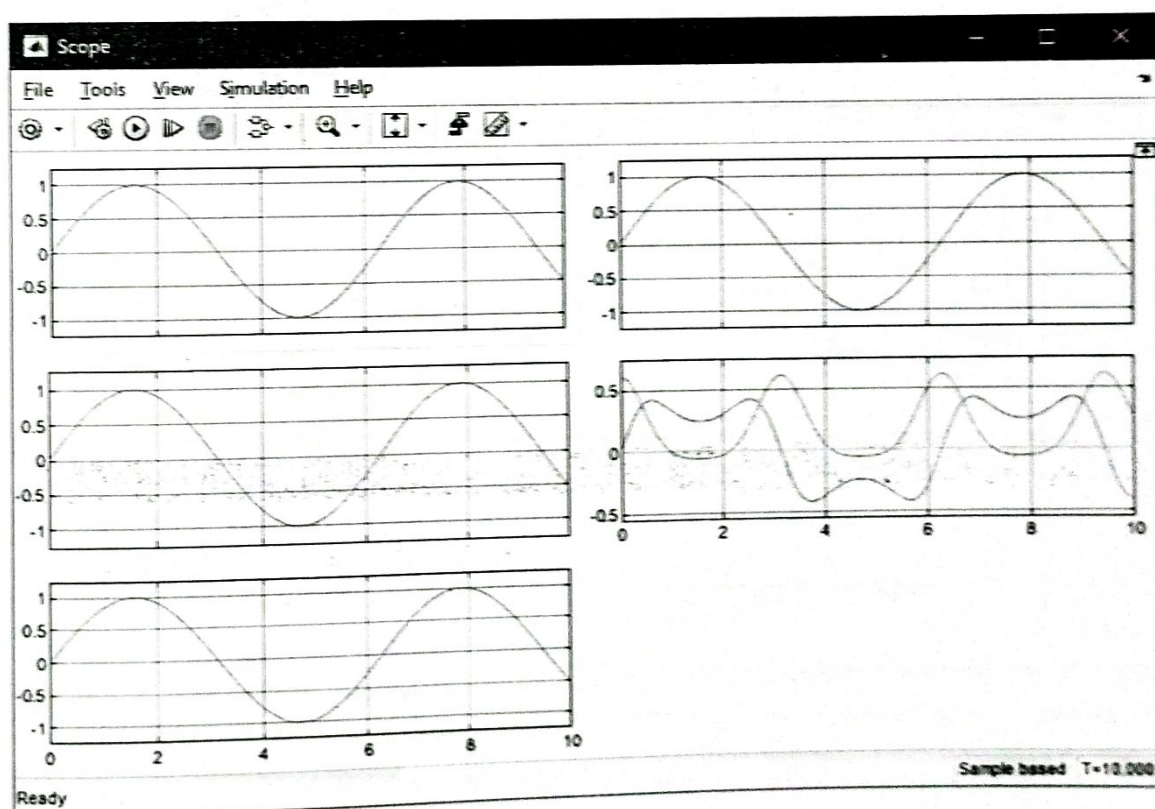
2.15 Сурет — Физикалық шаманы Simulink сигналына түрлендіру

Scope блоқы керісінше — физикалық аналогты шамамен жұмыс істей алмайды. Оны қайтадан Simulink сигналына түрлендіру қажет. Бұны 2.13 суреттегі блоктардың көмегімен іске асырамын.



2.16 Сурет – Тура кинематиканың моделі.

2.16 суретте matlab ортасының 3D моделдеу әйнекшесі көрсетілген, және шығарылатын физикалық моделдің тура кинематиканы есептеу кезде жасайтын қозғалыстары бейнеленді.

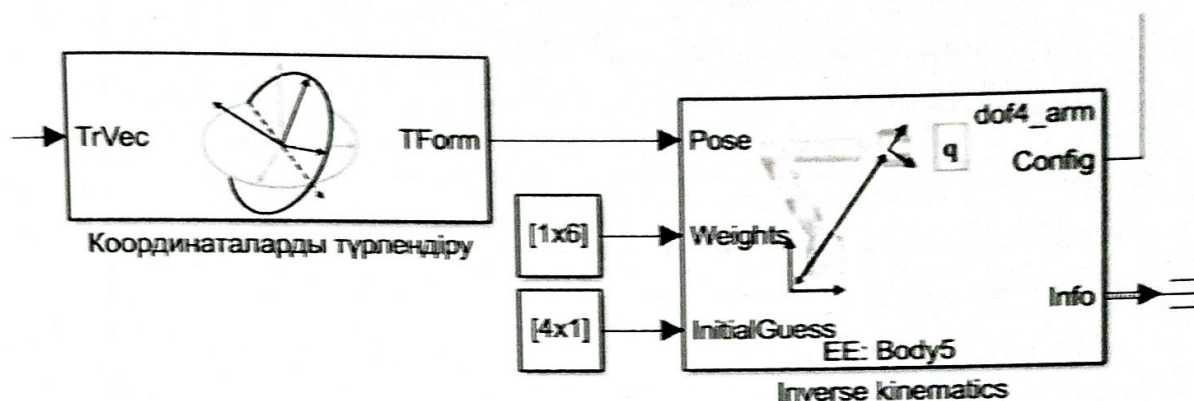


2.17 Сурет – Scope уақыт бойынша процесс өзгерісінің графиктері

2.17 суретте Scope уақыт бойынша график шығаратын блоқы көрсететін мәлеметтер салынған. Әр графикте кинематикалық жұптың кіріс пен шығыс сигналдары салыстырылады.

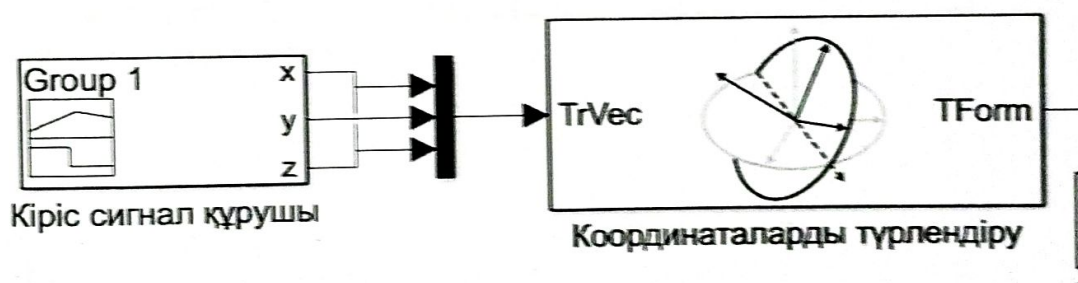
2.4 Манипулятордың кері кинематикасы

Кері кинематиканы шешу тура кинематиканы есептеуге карағанда күрделірек, және оның универсалды тәсілі жоқ.



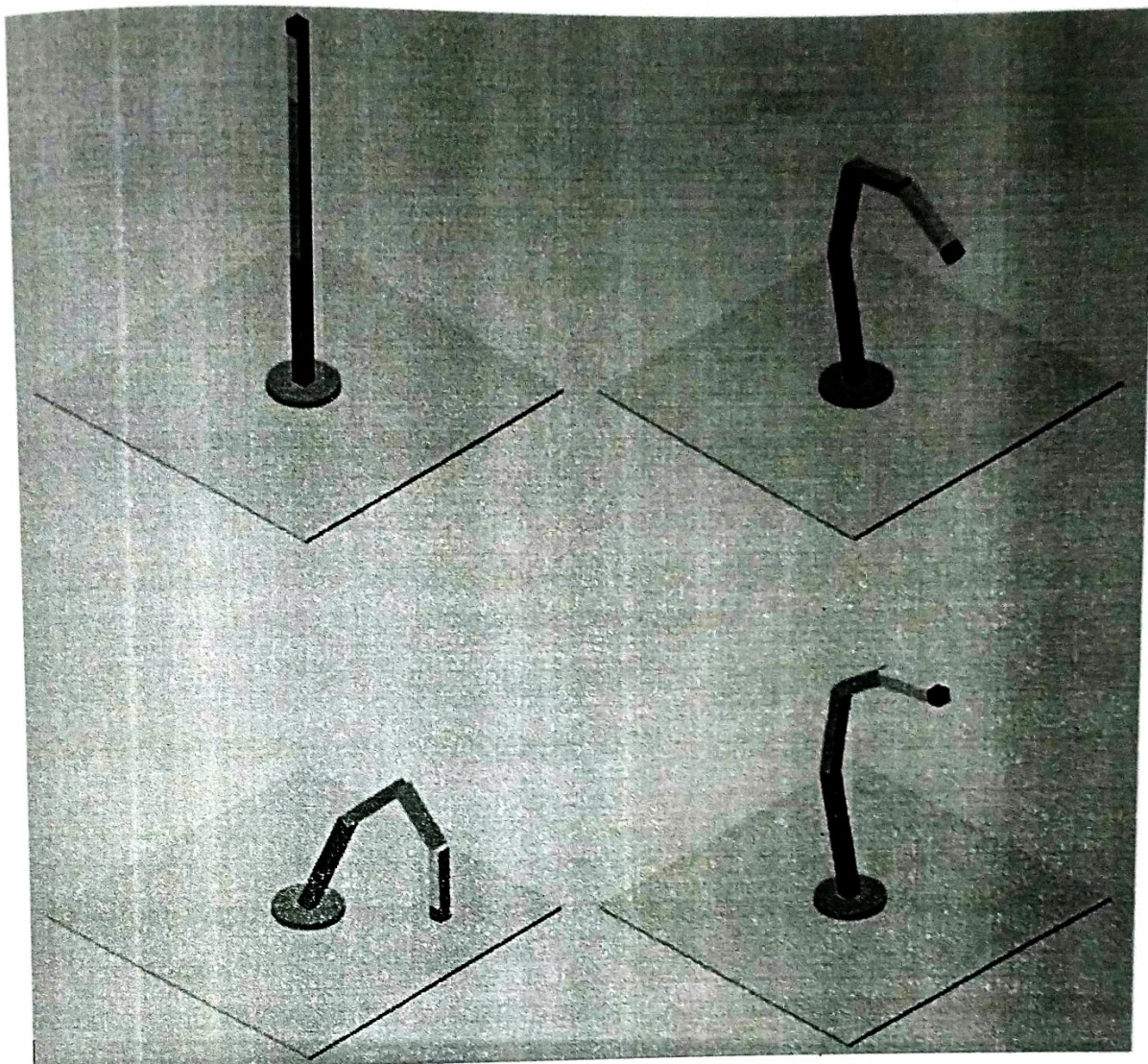
2.18 Сурет — Кері кинематика санайтын блок

Inverse Kinematics блок кірісіне манипулятордың ұстағышын бағыттайтын координаталар беріледі, әр сигналдың салыстырмалы маңыздылығын анықтайтын Weights кірісіне 1x6 бірлік векторды беріп, InitialGuess кірісіне 4x1 нөлдік векторды енгіземін.



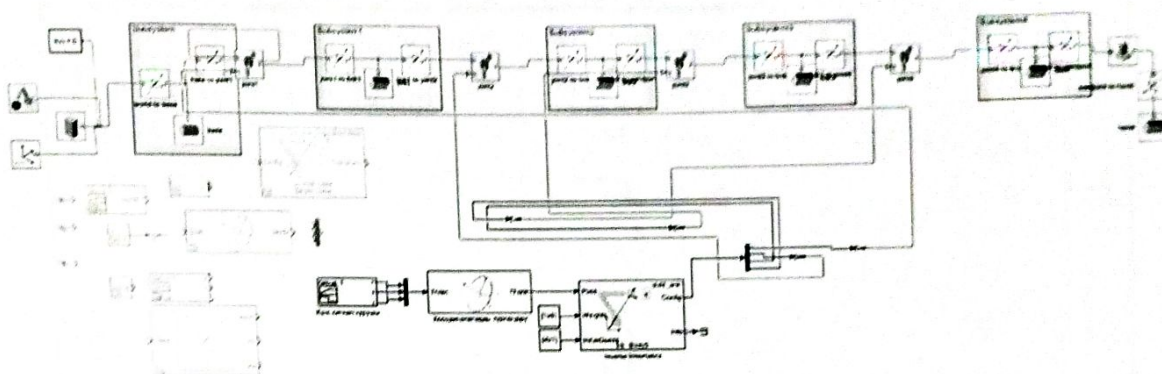
2.19 Сурет — Кіріс сигнал координаталары

Inverse Kinematics блоқы сигналды түрлендіру матрица түрінде қабылдағандықтан оны алдымен декарттық координаталар жүйесінен матрицалық түрге айналдыру керек.



2.21 Сурет – Кинематиканың кері есебінің моделі

2.21 суретте берілген қозғалыс командасы бойынша манипулятордың қозғалысы көрсетілген. Бастапқы күйінен ол ұшын жерге түсіріп, 10 секундта жоғарға апарып қояды.



2.22 Сурет – Кинематиканың кері есебін MatLab көмегімен шығарудың толық блок-схемасы

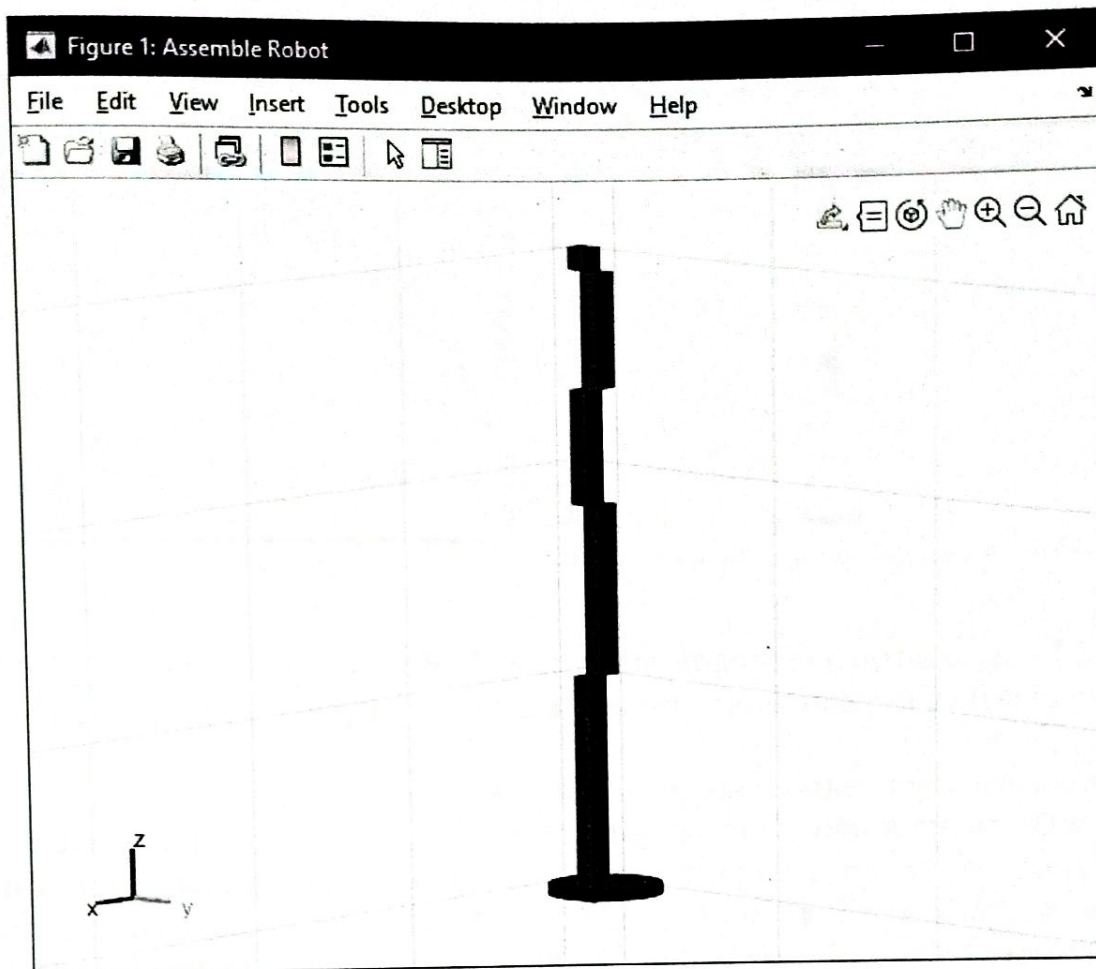
2.5 Манипуляторды Matlab программалау ортасында модельдеу

Тек қана Simulink ортасында жұмыс істемей, төрт айналмалы дәрежесі бар манипуляторды Matlab негізгі ортасында да модельдеймін. Ол үшін 2.23 суретте көрсетілген программалық кодты енгізіп, коллизиялар жиынын жасап қойдық.

```
% DEFINE THE ROBOT
robot = rigidBodyTree("DataFormat","column");
base = rigidBody("base");
% DEFINE LINKS
rotatingBase = rigidBody("rotating_base");
arm1 = rigidBody("arm1");
arm2 = rigidBody("arm2");
arm3 = rigidBody("arm3");
arm4 = rigidBody("arm4");
tool = rigidBody("tool");
% CREATE COLLISION BOXES
collBase = collisionCylinder(0.05,0.01); % cylinder: radius,length
% MOVE THEIR AXES FROM CENTER TO END
collBase.Pose = trvec2tf([0 0 0.04/2]);
coll1 = collisionBox(0.02,0.02,0.2); % box: length, width, height (x,y,z)
coll1.Pose = trvec2tf([0 0 0.2/2]);
coll2 = collisionBox(0.02,0.02,0.15); % box: length, width, height (x,y,z)
coll2.Pose = trvec2tf([0 0 0.15/2]);
coll3 = collisionBox(0.02,0.02,0.1); % box: length, width, height (x,y,z)
coll3.Pose = trvec2tf([0 0 0.1/2]);
coll4 = collisionBox(0.02,0.02,0.1);
coll4.Pose = trvec2tf([0 0 0.1/2]);
colltool = collisionBox(0.02,0.02,0.02);
colltool.Pose = trvec2tf([0 0 0.02/2]);
% MERGE OBJECT WITH ITS COLLISION
addCollision(rotatingBase,collBase)
addCollision(arm1,coll1)
addCollision(arm2,coll2)
addCollision(arm3,coll3)
addCollision(arm4,coll4)
addCollision(tool,colltool)

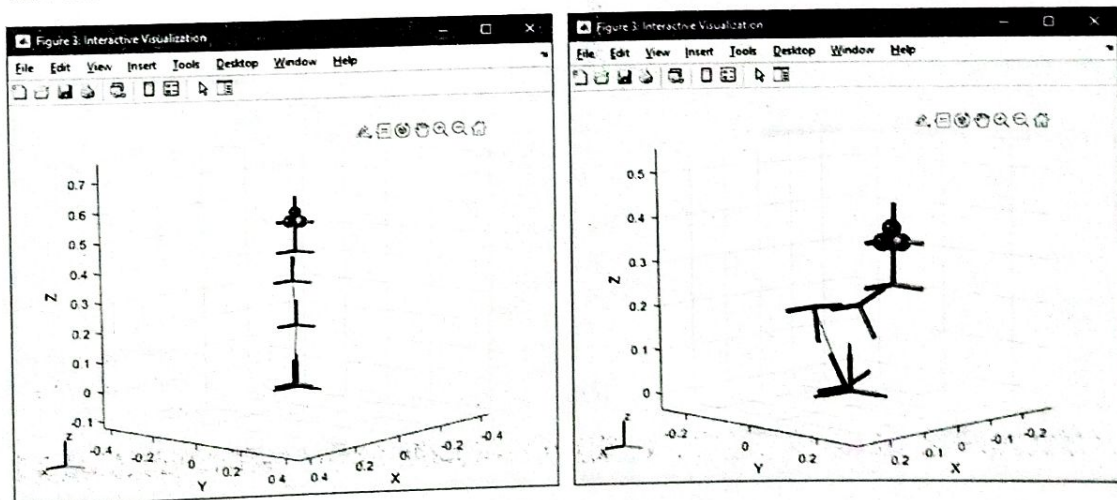
% CREATE THE JOINTS AND SPECIFY ITS TYPE
jntBase = rigidBodyJoint("base_joint","revolute");
jnt1 = rigidBodyJoint("jnt1","revolute");
jnt2 = rigidBodyJoint("jnt2","revolute");
jnt3 = rigidBodyJoint("jnt3","revolute");
jnt4 = rigidBodyJoint("jnt4","revolute");
jnttool = rigidBodyJoint("tool_joint","revolute");
% ROTATE THE JOINT AXES (DEFAULT IS Z (ROTATES AROUND IT IF DONT CHANGE))
jnt1.JointAxis = [1 0 0]; % x-axis
jnt2.JointAxis = [1 0 0];
jnt3.JointAxis = [1 0 0];
jnt4.JointAxis = [1 0 0];
jnttool.JointAxis = [0 1 0] % y-axis
% PLACE JOINTS ON COLLISIONS
setFixedTransform(jnt1,trvec2tf([0 0.015 0 0.01]))
setFixedTransform(jnt2,trvec2tf([-0.015 0 0.2]))
setFixedTransform(jnt3,trvec2tf([0 0.015 0 0.15]))
setFixedTransform(jnt4,trvec2tf([-0.015 0 0.1]))
setFixedTransform(jnttool,trvec2tf([0 0 0.1]))
% DEFINE LISTS TO DRAW THEM LATER
bodies = [base,rotatingBase,arm1,arm2,arm3,arm4,tool];
joints = [jntBase,jnt1,jnt2,jnt3,jnt4,jnttool];
% DRAW THE ROBOT
figure("Name","Assemble Robot","Visible","on")
for i = 2:length(bodies) % Skip base. Iterate through adding bodies and joints.
bodies(i).Joint = joints(i);
addBody(robot,bodies(i),bodies(i-1).Name)
show(robot,"Collisions","on","Frames","off");
drawnow;
end
```

2.23 Сурет – Matlab инженерлік программалау ортасына енгізілетін код

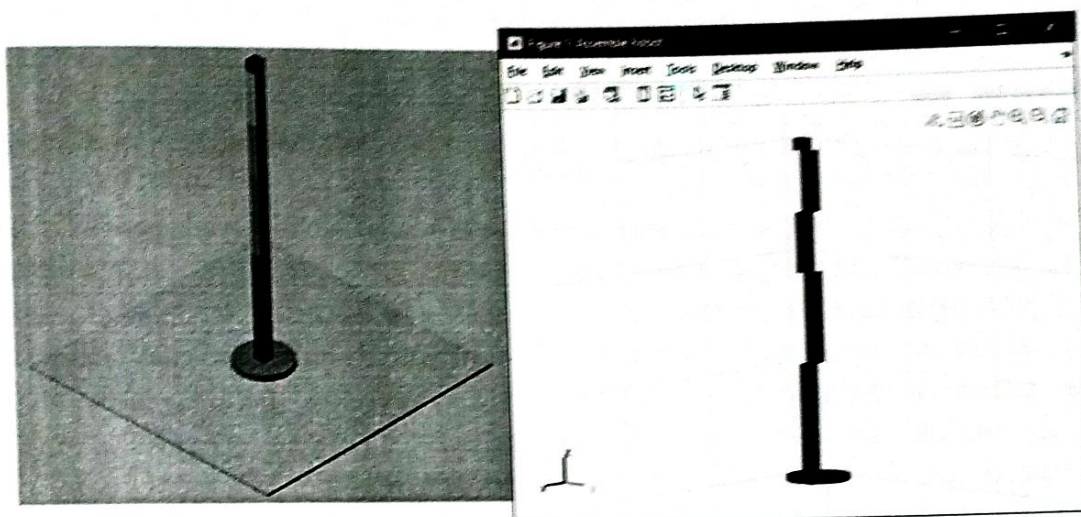


2.24 Сурет – 3D моделін жоғарыда енгізілген код бойынша құратын бағдарлама

```
% RUN THE INTERACTIVE MODE
figure("Name","Interactive GUI")
gui = interactiveRigidBodyTree(robot,"MarkerScaleFactor",0.1)
```



2.25 Сурет – Жасалған моделді интерактивті режимде Matlab ортасында зерттеуге арналған терезе



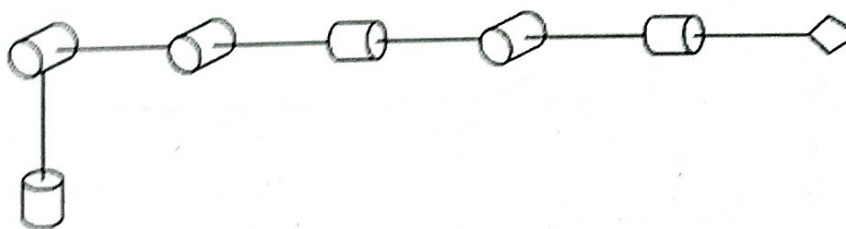
2.26 Сурет – Simscape Multibody визуальды модельдеу ортасы мен Matlab инженерлік программалау ортасында құрылған модельдерді салыстыру

Екі түрлі тәсілмен бірдей манипуляторды моделдеу нәтижесінде физикалық параметрлері бірдей екі манипулятор модельдері шықты. Олардың арасындағы айырмашылықтар моделдеу процесстерінің әр түрлі болуымен байланысты. Мысалы, Simscape Multibody пакеті коллизияларды санау тапсырмасын өзі орындайды, ал Matlab-та дәл сол манипуляторды енгізу үшін коллизияларды бір-бірінен сәл алыстату қажет.

3 Денавит – Хартенбергтің көрінісі

3.1 Денавит-Хартенберг параметрлерін беру мысалы

Сериялық манипулятор бекітілген негізден, буындар арқылы жалғанған және аяқталатын буындар қатарынан тұрады. құралды немесе соңғы эффекторды алып жүретін бос ұшы. Параллельді манипуляторлардан айырмашылығы жоқ жабық ілмектер. Буындарды іске қосу арқылы соңғы эффекторды жазықтықта орналастыруға және бағдарлауға болады соңғы эффектормен қажетті тапсырмаларды орындау үшін үш өлшемді (3D) кеңістікте. Бұл тарауда қарастырылады тізбектердің қозғалысы ескерілмей зерттелетін тізбекті манипуляторлардың кинематикасымен осы қозғалыстарды тудыратын сыртқы күштер мен моменттерді. Тізбекті манипулятордың геометриялары болып табылады белгілі Denavit-Hartenberg (D-H) параметрлері арқылы сипатталған. Екі белгілі мәселе, тура және кері кинематикалық есептер қойылады, оларды шешу жолдары қарастырылады егжей-тегжейлі және жазық және кеңістіктік сериялық манипуляторлардың мысалдарымен суреттелген. Ол көрсетіледі кері кинематикалық есептің жабық түрдегі аналитикалық шешімдері тек сериялық үшін мүмкін болады арнайы геометриялық манипуляторлар және ең жалпы алты еркіндік дәрежесі бар сериялық манипуляторлар ең көп дегенде 16-дәрежелі көпмүшенің шешімін талап етеді. Кері кинематиканың шешімі мәселе сериялық манипулятордың жұмыс кеңістігінің маңызды және пайдалы тұжырымдамасына әкеледі жұмыс кеңістігін алу және оның қасиеттерін анықтау тәсілдері де ұсынылған.



3.1 Сурет – Денавит-Хартенберг параметрлерін анықтау мысалын көрсететін кинематикалық тізбек

Айналмалы қосылыстары мен сфералық білезігі бар алты буынды робот-манипулятор мысалында кинематиканың тура есебінің шешімін қарастырайық, оның кинематикалық диаграммасы 3.1 суретте көрсетілген. Сфералық кинематикалық жұп соңғы үш буынның айналу осьтерінің бір нүктеде қиылысуын білдіреді. Суретте көрсетілген конфигурацияны нөлдік конфигурация деп алайық. Одан тыс позиция, яғни. сілтемелердің мұндай орналасуы, мұндағы барлық жалпыланған координаталар нөлге тең. Денавит-Хартенберг әдісі бойынша шешім келесі қадамдардан тұрады:

- 1-қадам. Координат жүйелерін сілтемелерге бекіту.
- 2-қадам. Денавит-Хартенберг параметрлерін анықтау.
- 3-қадам. Біртекті түрлендіру матрицаларын құру.
- 4-қадам. Соңғы айналу матрицасынан Эйлер бұрыштарын есептеу.

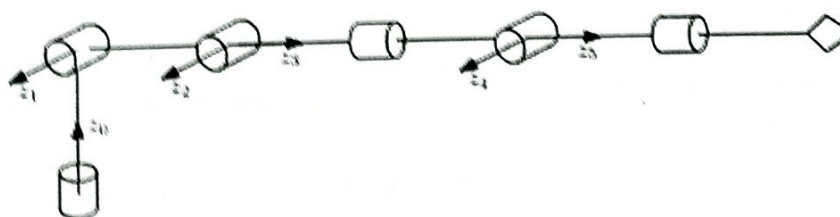
Координаттар жүйесін тағайындау алгоритмі төменде бір ғана шешімді ілдірмейді кинематиканың тура есебінің шешімінің анық еместігіне байланысты соңғы нәтиже әрқашан бірдей болуы керек екенін ескеріңіз.

Әлбетте, манипулятордың әрбір i -ші буыны екі буынды $i - 1$ және i қосады. Осылайша, алты еркіндік дәрежесі бар манипулятордың нөлден алтыға дейін нөмірленген жеті буыны бар, мұнда нөлдік буын жерге сәйкес келеді. Соңғысы роботтың дизайнына тікелей қатысы жоқ болғандықтан, жеті буынның болуына қарамастан, мұндай роботтар орыс тіліндегі әдебиетте алты буын деп аталады.

Робот буындарына қосылған координаттар жүйесімен жұмыс істеу логикасын түсіну үшін біз i -ші координаттар жүйесі i -ші сілтемемен қатаң байланысты екенін атап өтеміз. i -ші буын i -ші буынмен қозғалғанда, координаталар жүйесі i алдыңғы жүйеге қатысты орнын өзгертпеді $i - 1$.

Біз z_i осін оның түріне қарай келесі буынның $i + 1$ айналу немесе аударма осімен сәйкес келетіндей етіп таңдаймыз. Бұл көршілес буындардың (координат жүйелерінің) салыстырмалы орналасуы дәл осы осьтің айналасындағы (немесе бойындағы) айналымымен анықталатынын білдіреді.

Қарастырылып отырған манипулятордың кинематикалық схемасы алты айналмалы буыннан тұрады. Сондықтан нұсқауларды орындай отырып, біз суретте көрсетілгендей айналу осьтерімен сәйкес келетін z_i осьтерін таңдаймыз.



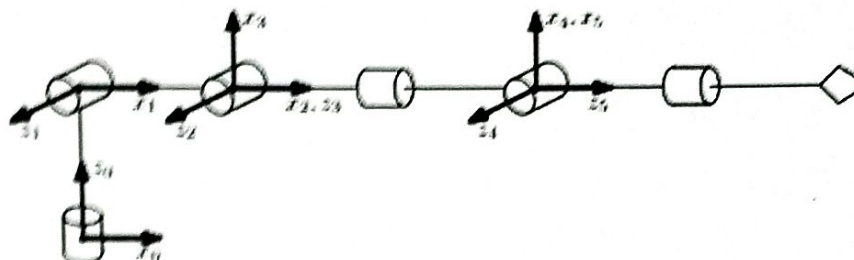
3.2 Сурет — z_i осьтерін орналастыру мысалы

Біз x_i осін, $i = \{1, 2, \dots, n - 1\}$ келесі екі шарт орындалатындай таңдаймыз.

- 1) x_i осі z_{i-1} осіне перпендикуляр.
- 2) x_i осі z_{i-1} осін қиып өтеді.

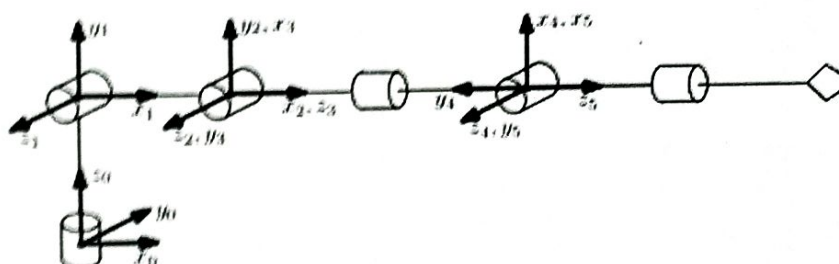
z_0 осін ерікті түрде таңдауға болады, дегенмен нөлдік конфигурацияда іргелес осьтер x_{i-1} және x_i бірге бағытталғаны жөн, өйткені олар жалпыланған координаталардың мәндерін (осьтер бойымен) орнатады, олар z_i бастапқы конфигурацияда нөлге тең деп есептеледі. Әйтпесе, нөлге теңестіру үшін бастапқы айналымды орнату қажет болады.

Координаталық жүйелердің тірек нүктесі z_i және x_i осьтерінің қиылысуымен анықталады. x_i орналасу опциялары көп болған жағдайларда (мысалы, z_{i-1} және z_i параллель болса), сәйкесінше, координат z_i осіне жататын кез келген нүктеде орналасуы мүмкін.



3.3 Сурет – x_i осьтерін орналастыру мысалы

Суреттегі x_3 осінің орналасуына және үшінші координаталар жүйесінің тірек нүктесіне назар аударыңыз. Бұл таңдау жоғарыда айтылған шарттарына байланысты, оған сәйкес x_3 осі z_2 осіне перпендикуляр болуы және оны кесіп өтуі керек.

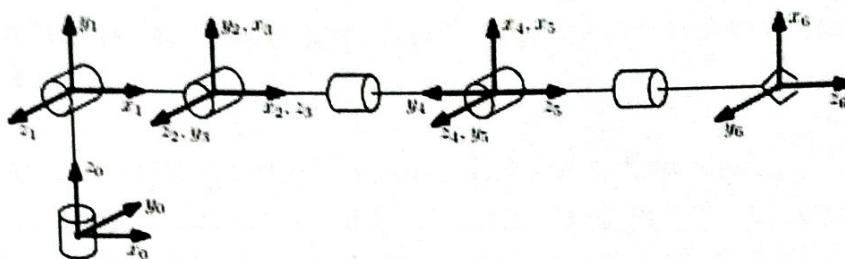


3.4 Сурет – y_i осьтерін орналастыру мысалы

$\vec{x}_i$, $\vec{y}_i$, $\vec{z}_i$ бірлік векторларымен берілген координаталар жүйесі дұрыс болатындай етіп y_i осін. векторымен берілген бағыттас болатындай таңдаймыз

$$y_i = z_i \times x_i \quad (3.1)$$

Соңғы қадам - ұстағышпен немесе жұмыс құралымен байланысты n координаттар жүйесін таңдау. Көптеген заманауи роботтар үшін (оның ішінде қарастырылып отырған алты буынды манипулятор) соңғы буын айналмалы болып табылады, бұл z_{n-1} және z_n осьтерінің сәйкес келетінін білдіреді. Бұл жағдайда қажетті жүйе алдыңғы координаталар жүйесін $dn-1$ осі бойымен бекітілген мәнге жылжыту және содан кейін z_{n-1} айналасында айнымалы бұрышпен θ_n айналдыру арқылы алынады немесе керісінше. 3.5 суретте қарастырылып отырған алты буынды манипулятордың алтыншы координаттар жүйесін таңдауды суреттейді.



3.5 Сурет — n координаталар жүйесін таңдау мысалы

Жоғарыда атап өтілгендей, Денавит-Хартенберг әдісі кеңістіктегі денені (координаттар жүйесін) бірегей түрде анықтайтын координаттар санын алтыдан әртүрлі азайтуға мүмкіндік береді, ол Денавит-Хартенберг параметрлері етінде белгілі:

- 1) a_i — x_i осі бойымен z_{i-1} -ден z_i дейінгі қашықтық;
- 2) α_i — x_i осінің айналасындағы бұрыш z_{i-1} ден z_i ;
- 3) d_i — z_{i-1} осі бойынша x_{i-1} -ден x_i дейінгі қашықтық;
- 4) θ_i — z_{i-1} осінен x_{i-1} мен x_i аралығындағы бұрыш.

Сонда:

3.1 Кесте — алты буынды манипулятордың Денавит-Хартенберг параметрлерін анықтау мысалы

Буын, i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90°	d_1	θ_1
2	a_2	0°	0	θ_2
3	0	90°	0	$\theta_3 + 90^\circ$
4	0	-90°	d_4	θ_4
5	0	90°	0	θ_5
6	0	0	d_6	θ_6

3.2 Төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың математикалық есебі

Төрт буынды манипулятор үшін Денавит-Хартенберг параметрлер матрицасын құрастыру қажет, ол 3.2 кестеде көрсетілген. Бұл матрицада манипулятордың жұмыс кеңістік мәндері буыннан соң буын кезегімен беріледі.

3.2 Кесте – Манипулятордың кинематикалық параметрлері

Буын, i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	-90°	d_1	θ_1
2	a_2	0°	0	θ_2
3	a_3	0	0	θ_3
4	a_4	0	0	θ_4
5	a_5	0	0	θ_5

Ең алдымен 3.2-кестені пайдалана отырып, $A_{0,1}, A_{1,2}, A_{2,3}, A_{3,4}, A_{5,6}$ матрицаларын құрып аламыз, сонда

$$A_{0,1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) \times \cos(-90^\circ) & \sin(\theta_1) \times \sin(-90^\circ) & 0 \times \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) \times \cos(-90^\circ) & -\cos(\theta_1) \times \sin(-90^\circ) & 0 \times \sin(\theta_2) \\ 0 & \sin(-90^\circ) & \cos(-90^\circ) & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & -\sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & 0 & \cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$A_{1,2} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) \times \cos(0) & \sin(\theta_2) \times \sin(0) & a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) \times \cos(0) & -\cos(\theta_2) \times \sin(0) & a_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & \sin(0) & \cos(0) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & a_2 \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & a_2 \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$A_{2,3} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) \times \cos(0) & \sin(\theta_3) \times \sin(0) & a_3 \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) \times \cos(0) & -\cos(\theta_3) \times \sin(0) & a_3 \sin(\theta_3) \\ 0 & \sin(0) & \cos(0) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & a_3 \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & a_3 \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$A_{3,4} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) \times \cos(0) & \sin(\theta_4) \times \sin(0) & a_4 \cos(\theta_4) \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) \times \cos(0) & -\cos(\theta_4) \times \sin(0) & a_4 \sin(\theta_4) \\ 0 & \sin(0) & \cos(0) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) & 0 & a_4 \cos(\theta_4) \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) & 0 & a_4 \sin(\theta_4) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$A_{(0,1)}$ мен $A_{(1,2)}$ бір - біріне көбейтеміз, сонда мән:

$$I_{(0,1)} \times A_{(1,2)} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) & -\cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) & -\sin(\theta_1) & a_2 \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) & \cos(\theta_1) & a_2 \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1) \\ -\sin(\theta_2) & -\cos(\theta_2) & 0 & -a_2 \times \sin(\theta_2) + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$A_{(0,1)}, A_{(1,2)}, A_{(2,3)}$ көбейтеміз,

$$A_{(0,1)} \times A_{(1,2)} \times A_{(2,3)} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & 0 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} a_{11} &= \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3); \\ a_{12} &= \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3); \\ a_{13} &= -\sin(\theta_1); \\ a_{14} &= a_3 \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) - a_3 \times \sin(\theta_3) \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \\ &\quad + a_2 \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2); \\ a_{21} &= \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3); \\ a_{22} &= \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3); \\ a_{23} &= \cos(\theta_1); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{24} &= a_3 \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_3) - a_3 \times \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) + a_2 \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1); \\
a_{31} &= -\sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_3); \\
a_{32} &= \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3); \\
a_{34} &= -a_3 \times \cos(\theta_3) \times \sin(\theta_2) - a_3 \times \sin(\theta_3) \times \cos(\theta_2) - a_2 \times \sin(\theta_2) +
\end{aligned}$$

1. Ең соңында $A_{(0,1)} \times A_{(1,2)} \times A_{(2,3)} \times A_{(3,4)} \times A_{5,6}$ көбейтіндісін аламыз

$$A_{(0,1)} \times A_{(1,2)} \times A_{(2,3)} \times A_{(3,4)} \times A_{5,6} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & 0 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned}
a_{11} &= (\cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3)) \times (\cos(\theta_4) + \sin(\theta_4)); \\
a_{12} &= (-\cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3)) \times (-\sin(\theta_3) + \cos(\theta_4)); \\
a_{13} &= -\sin(\theta_4); \\
a_{14} &= (a_3 \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - a_3 \times \sin(\theta_3) \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) + a_2 \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2)) \times (a_4 \times \cos(\theta_4) + a_4 \times \sin(\theta_4) + 1); \\
a_{21} &= \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) \times (\cos(\theta_4) + \sin(\theta_4)); \\
a_{22} &= (-\sin(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3)) \times (-\sin(\theta_4) + \cos(\theta_4)); \\
a_{23} &= -\cos(\theta_4); \\
a_{24} &= (a_3 \times \cos(\theta_3) \times \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_4) - a_3 \times \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) + a_2 \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1)) \times (a_4 \times \cos(\theta_4) + a_4 \times \sin(\theta_4) + 1); \\
a_{31} &= -\sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_3) \times (\cos(\theta_1) + \sin(\theta_4)); \\
a_{32} &= (\sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3)) \times (-\sin(\theta_4) + \cos(\theta_4)); \\
a_{34} &= (-a_3 \times \cos(\theta_3) \times \sin(\theta_2) - a_3 \times \sin(\theta_3) \times \cos(\theta_2) - a_2 \times \sin(\theta_2) + a_1) \times (a_4 \times \cos(\theta_4) - a_4 \times \sin(\theta_4) + 1).
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{24} &= a_3 \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_3) - a_3 \times \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \\
&\times \cos(\theta_3) + a_2 \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1); \\
a_{31} &= -\sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_3); \\
a_{32} &= \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3); \\
a_{34} &= -a_3 \times \cos(\theta_3) \times \sin(\theta_2) - a_3 \times \sin(\theta_3) \times \cos(\theta_2) - a_2 \times \sin(\theta_2) +
\end{aligned}$$

Ең соңында $A_{(0,1)} \times A_{(1,2)} \times A_{(2,3)} \times A_{(3,4)} \times A_{5,6}$ көбейтіндісін аламыз

$$A_{(0,1)} \times A_{(1,2)} \times A_{(2,3)} \times A_{(3,4)} \times A_{5,6} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & 0 & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned}
a_{11} &= (\cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3)) \times \\
&\times (\cos(\theta_4) + \sin(\theta_4)); \\
a_{12} &= (-\cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3)) \\
&\times (-\sin(\theta_3) + \cos(\theta_4)); \\
a_{13} &= -\sin(\theta_4); \\
a_{14} &= (a_3 \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - a_3 \times \sin(\theta_3) \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \\
&+ a_2 \times \cos(\theta_1) \times \cos(\theta_2)) \times (a_4 \times \cos(\theta_4) + a_4 \times \sin(\theta_4) + 1); \\
a_{21} &= \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3) \\
&- \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) \times (\cos(\theta_4) + \sin(\theta_4)); \\
a_{22} &= (-\sin(\theta_1) \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3)) \\
&\times (-\sin(\theta_4) + \cos(\theta_4)); \\
a_{23} &= -\cos(\theta_4); \\
a_{24} &= (a_3 \times \cos(\theta_3) \times \sin(\theta_1) \times \cos(\theta_4) - a_3 \times \sin(\theta_1) \times \sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) \\
&+ a_2 \times \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1)) \times (a_4 \times \cos(\theta_4) + a_4 \times \sin(\theta_4) + 1); \\
a_{31} &= -\sin(\theta_2) \times \cos(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \sin(\theta_3) \times (\cos(\theta_1) + \sin(\theta_4)) \\
a_{32} &= (\sin(\theta_2) \times \sin(\theta_3) - \cos(\theta_2) \times \cos(\theta_3)) \times (-\sin(\theta_4) + \cos(\theta_4)); \\
a_{34} &= (-a_3 \times \cos(\theta_3) \times \sin(\theta_2) - a_3 \times \sin(\theta_3) \times \cos(\theta_2) - a_2 \times \sin(\theta_2) + a_1) \\
&\times (a_4 \times \cos(\theta_4) - a_4 \times \sin(\theta_4) + 1).
\end{aligned}$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста Matlab инженерлік программалау ортасында Multibody кітаханасын қолданып, төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың визуалды моделін құрастырып, одан кейін Деневит-Хартенберг әдісі бойынша параметрлер матрицасы қолданылып манипулятордың кинематикалық тізбегі құрылып, математикалық моделі қозғалуы визуалды модельделінді.

Бірінші бөлімде манипуляторлы роботтарды өнеркәсіпте және өмірдің басқа да салаларында пайдаланылуы мен олардың кинематикасы тиімділікке тікелей байланысы туралы айтылады. Манипулятордың абсолютті анықтамалық жүйеге қатысты айналуы және қозғалуы мүмкін болғандықтан, әрбір буын үшін осьтері буындар қосылу жеріне параллель болатын координаталар жүйелері беріледі. Кинематиканың міндеті — абсолютті және байланысқан координаталар жүйелері арасындағы байланысты орнататын беріліс матрицаларын анықтау.

Екінші бөлімде, төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу қарастырылды. Ең алдымен манипулятордың кинематикалық параметрлері анықталып, кейін сол параметрлерді пайдалана отырып арнайы матрицалар алынды. Бұл матрицаларды көбейтіп, манипулятор ұстағышының координаталарын анықтауға мүмкіндік беретін матрицасы табылды. Шыққан мәндерді пайдалана отырып, MatLab қолданып төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуы визуальды модельделінді және математикалық мәні табылды.

Үшінші бөлімде, Деневит-Хартенберг параметрлері сипатталды. Буындар арасындағы айналмалы байланыстарды сипаттау үшін Деневит-Хартенберг кинематикалық тізбектің әрбір буынымен байланысты координаталық жүйелерді тұрғызу үшін матрицалық әдісі қарастырылады.

Роботтық манипуляторларды қолдануға болатын барлық салаларды тізімдеп шығу мүмкінге соқпайды. Бірақ бүгінгі күні бір затты айтуға болады: біздің өмірімізде робот манипуляторларды пайдалану мүмкін болмайтын салалар жоқ. Бұл құрылғының техникалық міндеті адам өмірін өндіріс процесінде кететін қателіктерден, шикізаттың жоғалуы және жазатайым жайттардың санын азайту мен кәсіпорынның технологиялық икемділігін және өнімділігін арттыру, еңбек жағдайлары мен қызметкерлердің қауіпсіздігін жақсарту болып табылады. Құрылғы осы жайттардың барлығын автоматты түрде адам көмегін қажет етпей өзі орындайды. Болашақта бұл құрылғының жұмыс істеу кеңістігін арттыруға және өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолдануға болады, бұл адам үшін де өте тиімді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 К.Фу,Р.Гонсалес,К.Ли Робототехника: Пер.с англ.-М.:Мир-1989.-624б.
- 2 Қ.Ж.Тлеубердин Қолданбалы механика: Оқу құралы. 2-басылым.Семей,2012-192 б.
- 3 А.Г.Лесков, И.В.Бажинова, Е.В.Селиверстова Кинематика и динамика исполнительных механизмов манипуляционных роботов: учеб.пособие, 2017
- 4 Попов Е. П., Верещагин А. Ф., Зенкевич С. Л. Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы. — М.: Наука, 1978. — 400 с
- 5 Шахинпур, М. Курс робототехники / Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 527 с.
- 6 Глазунов В.А., Новые механизмы в современной робототехнике — М.: Техносфера, 2018 — 316 с
- 7 Почанин Ю.С., Робототехника в промышленности — М.: Наука, 2022 — 330 с
- 8 Vigen Arakelin, Sebastien Briot: Balancing of Linkages and Robot Manipulators: 2015.
- 9 Зенкевич С.Л., Ющенко А.С., Управление роботами — МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000 — 397 с

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

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

Автор: Хусанов Аят

Тақырыбы: MatLab қолданып төрт айналу қимыл дәрежесі бар манипуляторлы роботтың қозғалуын визуалды модельдеу және математикалық жазу.

Жетекшісі: Ахамбай Бейсембаев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.3

Дәйексөз (35): 0

Әріптерді ауыстыру: 4

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

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

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

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

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

Негіздеме:

Күні

Кафедра меңгерушісі

