

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий
Кафедра Робототехники и технических средств автоматики

Әділбек Дінмұхамед Данабекұлы

«Разработка исполнительной части роботизированной системы для
микрохирургических операций»

6B07114 – Биомедицинская инженерия

Алматы 2025

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий
Кафедра Робототехники и технических средств автоматики

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат технических наук, профессор
Ожикенов К. А.
« 05 » 06 2025 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Разработка исполнительной части роботизированной системы для
микрохирургических операций»

Специальность: 6B07114 – Биомедицинская инженерия

Выполнил
Рецензент
к. т. н., ассоц. профессор
А. К. Сейдилдаева
" 05 " 06 2025 г.

Әділбек Дінмұхамед Данабекұлы
Научный руководитель
Магистр техник и технологии,
преподаватель
Е. А. Игембай
" 05 " 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий
Кафедра Робототехники и технических средств автоматики

6B07114 – Биомедицинская инженерия

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой РТиТСА
кандидат технических наук, профессор
Ожикенов К. А.
2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студенту Әділбек Дінмұхамед Данабекұлы

Тема: Разработка исполнительской части роботизированной системы для
микрохирургических операций

Утверждена приказом ректора Университета № 521-1/6 от «15» 11. 2024 г.
Срок сдачи законченной работы «29» 05. 2025 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Arduino Mega 2560, сервоприводы SG90 и
MG996R, видеомодуль ESP32-CAM, PLA-пластик (для 3D-печати), блок питания 6В,
конденсатор 1000 мкФ, макетная плата, камера OV2640.

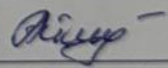
- а) проектирование исполнительской части манипулятора (механика, электроника,
видеомодуль);
б) выбор и обоснование компонентов (сервоприводы, микроконтроллер, материалы, блок
питания);
в) программная реализация управления, видеонаблюдения, тестирование точности, анализ
перегрева и возможности модернизации.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
представлены слайдов презентации работы
Рекомендуемая основная литература: из 15 наименований

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

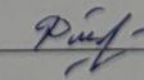
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечания
Формулировка цели, задач, сбор литературы, анализ существующих микрохирургических роботов (da Vinci, MUSA и др.)	01.10.2024 – 15.02.2025	Введение, актуальность, обзор современных систем
Разработка архитектуры манипулятора, выбор сервоприводов, проектирование механической и электронной части	17.02.2025 – 16.03.2025	Конструкция манипулятора, кинематика, схема подключения
Реализация программного управления Arduino и ESP32-SAM, тестирование точности и стабильности работы	18.03.2025 – 18.4.2025	Управляющий код, видеопоток, анализ точности и перегрева
Оформление дипломной работы, написание выводов, подготовка к защите	18.04.2025 – 09.05.2025	Полный документ, презентация, доклад

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Игембай Е. А., магистр технических наук, преподаватель	05.06.25	
Программное обеспечение	Аймұхамбетов Е. А. Ст. преподаватель	05.06.25	

Научный руководитель:  Игембай Е.А.

Задание принял к исполнению обучающийся:  Әділбек Д.Д.

Дата

«05» 06 2025 г

АҢДАТПА

Менің дипломдық жұмысым жоғары дәлдікпен микрохирургиялық операцияларды орындауға арналған роботтық жүйенің жетектерін әзірлеуге арналған. Заманауи хирургияда адамның тремор немесе шаршау сияқты моторлық кемшіліктерін өтей алатын автоматтандырылған құрылғыларға қажеттілік артып келеді. Жобаның бір бөлігі ретінде мен Arduino Mega микроконтроллері және SG90 және MG996R серволары басқаратын бірнеше еркіндік дәрежесі бар манипуляторды жасадым. Дизайнды қол жетімді және оңай қайталанатын ету үшін көптеген бөліктер PLA материалынан 3D басып шығарылды.

Жобаның маңызды бөлігі ESP32-CAM бейне модулі болды, ол Wi-Fi және визуалды тексеру арқылы кескінді нақты уақытта беруге мүмкіндік береді. Мен кинематикалық есептеулер жүргіздім, қолайлы материалдарды таңдадым, жүктемелер мен жылу сипаттамаларын талдадым. Тестілеу жүйенің жақсы дәлдігі (0,3 мм-ге дейін) және тұрақты жұмыс істейтінін көрсетті. Бұл жоба одан әрі әзірлеуге, автоматтандыру элементтерін енгізуге және оқу мақсаттарында пайдалануға жарамды.

АННОТАЦИЯ

Моя дипломная работа посвящена разработке исполнительного механизма роботизированной системы для проведения микрохирургических операций с высокой точностью. В современной хирургии всё больше нужны автоматизированные устройства, которые могут компенсировать недостатки человеческой моторики, такие как тремор или усталость. В рамках проекта я создал манипулятор с несколькими степенями свободы, управляемый с помощью микроконтроллера Arduino Mega и сервоприводов SG90 и MG996R. Чтобы сделать конструкцию доступной и легко воспроизводимой, многие детали были напечатаны на 3D-принтере из материала PLA.

Важной частью проекта стал видеомодуль ESP32-CAM, который позволяет в реальном времени передавать изображение по Wi-Fi и осуществлять визуальный контроль. Я выполнил расчёты кинематики, подобрал подходящие материалы, а также проанализировал нагрузки и тепловые характеристики. Тестирование показало, что система обладает хорошей точностью (до 0,3 мм) и стабильной работой. Этот проект подходит для дальнейшего развития, внедрения элементов автоматизации и использования в образовательных целях.

ANNOTATION

My diploma thesis is devoted to the development of an actuator for a robotic system for performing microsurgeries with high precision. In modern surgery, there is an increasing need for automated devices that can compensate for human motor deficiencies, such as tremor or fatigue. As part of the project, I created a manipulator with several degrees of freedom, controlled by an Arduino Mega microcontroller and SG90 and MG996R servos. To make the design accessible and easily reproducible, many parts were 3D printed from PLA material.

An important part of the project was the ESP32-CAM video module, which allows real-time image transmission via Wi-Fi and visual inspection. I performed kinematic calculations, selected suitable materials, and analyzed loads and thermal characteristics. Testing showed that the system has good accuracy (up to 0.3 mm) and stable operation. This project is suitable for further development, implementation of automation elements, and use for educational purposes.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	5
1. Пәндік саланы талдау	6
1.1 Микрохирургиядағы қазіргі тенденциялар	6
1.2 Қолданыстағы роботтық жүйелерге шолу	7
2. Тапсырма қою	13
3. Атқарушы бөлімді жобалау	14
3.1 Механикалық құрылыс	14
3.1.2 Түсіру және жылжымалы буындардың дизайны	15
3.2 Қолданылатын материалдар және дайындау технологиясы	16
3.2.1 Қуат және кернеуді тұрақтандыру	18
3.3 ESP32-CAM орнату және бекіту	19
3.3.1 Бейне ағынын беру және басқарумен біріктіру	21
3.4Тікелей және кері кинематика моделі	22
3.4.1 Длины звеньев и диапазоны поворота	24
3.4.2 Орналасу дәлдігін есептеу	26
3.5. SG90 және MG996R сипаттамаларының салыстырмалы кестесі	27
3.5.1 Қажетті моментті есептеу	29
3.5.2 Қызып кетуді және ұзақ өмір сүруді талдау	30
4. Бағдарламалық қамтамасыз етуді басқару	33
4.1 Arduino Mega көмегімен сервожетектерді басқару	32
4.2 ESP32-CAM көмегімен бейнебақылау	33
Қорытынды	35
Қолданылған әдебиеттер тізімі	36
Қосымша А	37
Қосымша В	40
Қосымша С	41
Қосымша D	42

КІРІСПЕ

Микрохирургия-бұл зергерлік дәлдікті қажет ететін сала, ал адам қолдары, өкінішке орай, әрқашан жеңе бермейді. Дірілдеу, шаршау немесе жай ғана ептілік проблемаға айналуы мүмкін, әсіресе кішкентай тіндермен немесе мүшелермен жұмыс істеу кезінде.

Мұнда заманауи робототехника көмекке келеді. Роботтық жүйелер керемет дәлдікпен қозғалуға қабілетті, бір қозғалысты ешбір қателіксіз қайталайды. Олар қазірдің өзінде операциялық бөлмелерде нағыз көмекшілерге айналуда және соңғы жылдары олардың танымалдығы артып келеді. Мұндай құрылғылар қолдың дірілін кетіруге, ең қиын жерлерге жетуге және хирургтардың жұмысын жеңілдетуге, олардың шаршауын азайтуға көмектеседі. Микрохирургиялық манипуляторлар әсіресе керемет дамиды -актам, дәл, кері байланыс функциясы бар. Мысалы, da Vinci жүйесі әртүрлі елдердегі урология және гинекология операцияларында тиімді екенін дәлелдеді.

Дипломдық жұмысымда мен осындай роботтық жүйенің механизмін жасаумен айналыстым. Мен серво арқасында бірнеше бағытта қозғалатын және өте дәл қозғалыстар жасай алатын манипулятор жасадым. Жүйеге механика, электроника және тіпті ESP32-Cam бейне модулі кіреді, осылайша процесті Wi-Fi арқылы қашықтан бақылауға болады.

Менің мақсатым-жетілдірілген жүйелер үшін негіз болатын қол жетімді және сенімді шешім қабылдау. Болашақта оларды хирургтарға одан да жақсырақ көмектесу үшін машиналық көру технологиясы немесе жетілдірілген кері байланыс арқылы "сорып алуға" болады.

1. Пәндік саланы талдау

1.1 Микрохирургиядағы қазіргі тенденциялар

Роботтандырылған көмек көрсету жүйелері соңғы жылдары хирургиялық өрісті күшейтті. Олар бұл салада таптырмас көмекшілер екенін дәлелдеп, хирургтерге аса күрделі процедураларды тамаша дәлдікпен орындауға мүмкіндік береді. Бірақ бұл тек технологиялық ойын-сауық қана емес, операция кезінде науқастардың қауіп-қатері мен жарақаттануын төмендету құралы.

Жаңа технологиялар медицина қызметкерлерінің мүмкіндіктерін толықтырады. Олар операцияларды микроскопиялық деңгейде орындауға, жұмыс кезінде байланыстыратын қозғалыстарға, қашықтықтан операциялар жасауға және нақты уақыт режимінде операциялар ауданын нақты бақылау мүмкіндігіне мүмкіндік береді.

Микрохирургия, компьютерлік көру, жасанды интеллект және бейнені талдау, хирург бәрін көреді, бірақ үйренеді. Мысалы, қан тамырлары мен жүйкелердің орналасуы. Бұл хирургиядағы жаңа кезеңге алып келеді, онда адам мен машиналар тығыз жұмыс істейді.



1 – Сурет. Роботтандырылған жүйенің артықшылықтары

Қазір біздің заманымызда микросургияны қолдану кеңінен танымал және елеулі болып келеді. Бүгінде ең күрделі медициналық құрылғыларды немесе көмекші роботтарды әзірлеу және жобалау процесі әлдеқайда арзан және кішігірім компаниялар мен командалар үшін қолжетімді болды. Бұл әлеуетті зерттеу орталықтарындағы, жоо-лардағы ұжымдар, ауруларды емдеудің жаңа әдістерін іздеп жүрген стартаптар белсенді пайдаланады.

Бұл элементтердің барлығы элиталық микрохирургиялық қауымдастықты оңай қабылдамай, жаңа идеялар ұсынады. Сондықтан әр түрлі инженерлік әзірлемелер табысқа жетудің дұрыс жолында тұр.

1.2 Қолданыстағы роботтық жүйелерге шолу

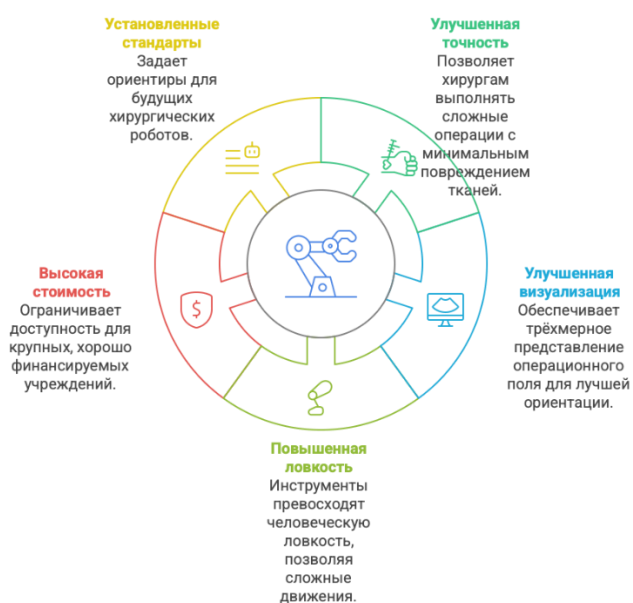
Роботтар бүгінгі күні хирургияда, дәлірек айтсақ, анағұрлым маңызды бола түсуде. Да Винчи жүйесі ұзақ уақыт бойы жоғары дәлдікті, күш бақылауын, қозғалысты ұлғайтуды және кескіннің тамаша сапасын қамтамасыз ететін алтын стандарт болып есептелді. Бірақ да Винчиден басқа көзге, миға, қан тамырларына немесе жүйкелерге операция жасау сияқты нақты тапсырмаларды неғұрлым ықшамдап, тігуге бейімделген басқа жүйелер де бар. Олар көлемі жағынан кішірек және дененің белгілі бір бөліктерімен жұмыс істеуге бейімделген.

Хирургиялық роботтар, олардың әр түрлі конструкцияларына карамастан, әдетте ұқсас принцип бойынша құрылады. Оларда икемді қозғалыстарға арналған манипуляторлар, басқару блогы, визуализация жүйесі және гаптикалық кері байланыс болады. Оларды джойстиктер арқылы немесе тіпті автоматты режимде басқаруға болады, яғни робот көрсетілген координаталарды ұстанады.

90-жылдардың соңында АҚШ-та құрылған және үнемі жетілдіріліп отыратын da Vinci жүйесі ең үздік хирургиялық роботтардың бірі болып

табылады. Хирург операциялық үстелде жұмыс істемейді, бірақ мониторда хирургиялық аймақтың үлкейтілген бейнесін көреді және науқастың ішіндегі ұсақ аспаптарды бақылайды. Da Vinci роботы алғаш рет 1999 жылы АҚШ-та қолданылды. Осы кезден бастап ол талай рет жаңғыртылып, жетілдірілді. Қазіргі таңда әлемде 3600-ге жуық дана бар[1].

Дәрігердің қол қимылдары манипуляторға оларды масштабтайтын жүйе арқылы беріледі. Бұл шиыршықтарды алып, кең қимылдарды дәл және дәл іс-әрекеттерге айналдырады. Осының арқасында операциялар травматикалық, тіпті қиын және қиын жерлерде де аз жарақаттанады. Хирург үшін, өз кезегінде, консольмен жұмыс істеу эргономиялық және аз стресстік сипатқа ие, бұл физикалық күйзелісті айтарлықтай төмендетеді, әсіресе бірнеше сағатқа созылатын іс-шаралар кезінде[1].



2 Сурет - Da Vinci жүйесінің әсері

Da Vinci жүйесі хирургиялық өрістің үш өлшемді көрінісін қамтамасыз етеді, ол хирургті процеске батырады, бұл микрохирургия үшін өте маңызды. Оның құрал-саймандары өте қозғалмалы, яғни олар адам саусақтарын діңгекпен айналып, айналады және иіледі.

Бірақ минус та бар. да Винчи өте қымбат, яғни жабдықтар мен шығыс материалдары үшін миллиондаған. Осының кесірінен оған тек ірі, жақсы қаржыландырылған емханалар ғана қол жеткізе алады. Оқу орталықтары, ғылыми-зерттеу немесе шағын ауруханалар үшін ол көбінесе қол жетімсіз болып қалады.

Алайда da Vinci роботтандырылған хирургия үшін жолақты жоғары орнатты. Ол ыңғайлы басқаруды, тұрақтылықты, дүркін басуды, дәлдікті қамтамасыз етеді. Бұл барлық жаңа әзірлемелер үшін бағдарға айналды. Менің жобам үшін бұл тәжірибенің маңызы зор, себебі ол механика мен электрониканы сауатты біріктірудің және пайдаланудың жеңілдігінің қаншалықты маңызды екенін көрсетеді.

Әмбебап da Vinci жүйесіне қарағанда, ультра майда микросургия үшін голландиялық Microsure компаниясынан MUSA роботы жасалған. Ол лимфа тамырлары, капиллярлар немесе жүйкелер сияқты нәзік құрылымдармен жұмыс істеуге өте қолайлы. Бұл оны қан тамырлары хирургиясында таптырмас етеді. «MUSA» кешенін пайдалану бойынша алғашқы операция 2019 жылдың қыркүйегінде өтті – кешен операторы науқастың қолындағы жұқа қан тамырларын сәтті тігеді. Медициналық орталық өкілдері жүйені енгізу кез келген диаметрдегі кемелерде операцияларды қолдауға мүмкіндік беретінін атап өтті[4].

MUSA хирургті алмастырмайды, бірақ оның жақсы жұмыс істеуіне көмектеседі. Бақылау консоль арқылы жүргізілетін да Винчиге қарағанда, MUSA тікелей дәрігердің қолындағы аспаптармен жұмыс істейді. Хирургтің қозғалыстары күрделі механика арқылы манипуляторларға беріледі, олар оларды дәлдікпен орындайды және тербеліс пен қажетсіз тербелістерді жояды. MUSA жүйесі роботталған қаруы бар бөлімшеден және жоғары ажыратымдылықтағы мониторы бар хирург консолінен тұрады. Бақылау арнайы бақылаушылардың көмегімен жүзеге асырылады.

Аланды құруға Эйндховен технологиялық университетінің мамандары қатысты[3]. Шын мәнісінде MUSA дәрігердің қолын тыныштандырып, тұрақтылық пен дәлдікті қамтамасыз етеді. Бұл кері байланысы бар шебер құл жүйесі және микродеңгейде жұмыс істеуге мүмкіндік беретін көп буынды манипулятор. Тұрақты қолды Робот та осындай тәсілге ие, онда да тартыстарды жою үшін дәрігердің қозғалыстары сүзіледі.

Сондай-ақ қарапайым ерітінділер де бар, мысалы, Arduino, серво жетектеріне негізделген. Мұндай жүйелер жоо-да бақылау алгоритмдерін сынау мақсатында оқыту және прототиптеу үшін жиі қолданылады.

MUSA стандартты операциялық үстелге оңай қосылады, сондықтан барлық операциялық залды қайта құрудың қажеті жоқ. Бұл оның тез жүзеге асырылуына мүмкіндік береді. Ықшам конструкция оны тіпті шағын емханаларда да пайдалануға мүмкіндік береді, бұл ретте орнатуға бір-екі минут уақыт кетеді. Сынақтар көрсеткендей, MUSA хирургтің шаршауын төмендетеді және тігістерді дәлірек жасайды және бұрын тым күрделі болған оталарға мүмкіндіктер ашады.



3 Сурет - MUSA жүйесінің артықшылықтары

Инженерлік тұрғыдан алғанда, MUSA тиімділікпен қарапайымдылықтың тартымды жағдайы болып табылады. Оның сыйымдылық объектілерін анықтауы күрделі бөлшектердің тіпті

қысқартылған санының да жоғары дәлдік пен функционалдылыққа қол жеткізуі мүмкін екендігін көрсетеді.

Бұл әсіресе жоба сияқты бір нәрсені тез әрі асығыс жасап жатқанда маңызды. MUSA хирургтерге қайғы-қасіретпен қарайтын және күрделі механиканы енгізуден қорықпайтын инженерлер жоғары сапалы электрониканы қолданбай-ақ әсерлі шешімдерге қол жеткізе алатынын көрсетеді. MUSA пайдалану кезінде ағын мен инфрақұрылым өзгеріссіз қалатындықтан, операциялық залда шағын із қалдырады. MUSA орнату пациенттің жанында тікелей отырғанда гибриді микрохирургиялық процедураны жүргізуге мүмкіндік береді және бұл сіздің көмекшіңізге және операциялық залдың қызметкерлеріне де қатысты[2].

1 Кесте - Салыстыру кестесі

Сипаттама	da Vinci хирургиялық жүйесі	Microsure MUSA	Жасалып жатқан манипулятор
Межелі пункт	Әмбебап хирургия	Микроваскулярлық хирургия	Оқу-тәжірибелік микросургия
Бас бостандығы дәрежесінің саны	Бір аспапқа 6-7	2-3	5
Басқару түрі	Консоль, 3D визуализация	Джойстиктер, жоғары дәлдікпен	Ардуино + Қолмен/Бағдарламань басқару
Кері байланыс	Көрнекі, жартылай тактильді	Көзбен шолып, механикалық тұрақтандыру	Тек көрнекі (ESP32-CAM арқылы)
Сипаттама	da Vinci хирургиялық жүйесі	Microsure MUSA	Жасалып жатқан манипулятор
Өлшемі және орналасуы	Ірі стационарлық жүйе	Ықшамдау, кестеге тіркемелер	Жұмыс үстелінің прототипі
Құны	> 2 млн, АҚШ доллары	шамамен 100-150 мың евро	< 200 АҚШ доллары

Компоненттің қолжетімділігі	Мамандандырылған	Шектеулі	Бөлшек саудада қол жетімді
Жаңғыртылатын	Жабық жүйе	Жартылай ашу	Толық ашық, модульдік
Оқуға және тестілеуге жарамды	Жоқ	Ішінара	Иә

2. Тапсырма қою

Қазіргі заманғы операциялар, әсіресе микросургияда, ғажайып дәлдікті, сенімділікті және тығыз кеңістіктерде дәл жұмыс істей білуді талап етеді. Хирург қаңылтыр дене құрылымдарымен айналысқанда, аздап қателік ауыр зардаптарға әкелуі мүмкін. Бірақ көптеген жұмыс істеп тұрған хирургиялық роботтар тым қымбат әрі қомақты, бұл оларды ғылыми зертханалар мен оқу орталықтарында қолдануға кедергі келтіреді.

Менің бұл жұмыстағы мақсатым – зертханалық және оқу тапсырмаларын орындауға жарамды микросургияға арналған ықшам манипулятор жасау. Мен қолда бар компоненттерді пайдалануға және қажетті заттарды: дәлдікті, тұрақтылықты және жұмыс істеудің жеңілдігін сақтау үшін конструкцияны жеңілдетуге баса назар аудардым.

Жобаны іске асыру аясында мен:

- Қозғалыспен басқарылатын (MoD) манипулятор әзірлеу;
- SG90 және MG996R серво жетектері бар Arduino Mega негізінде басқару жүйесін орнату;
- Нақты уақыт режимінде манипулятордың жұмысын бақылау үшін ESP32-CAM бейне модулін қосу;
- Бағдарлама арқылы әрбір жетектің сатылы басқару мүмкіндігін қамтамасыз ету;
- Жүйені оның дәлдігін, бірқалыпты қозғалысын және жалпы өнімділігін қамтамасыз ету үшін тексеру.

Бұл жүйе роботтандырылған микросургия саласындағы одан арғы зерттеулердің негізі және студенттер мен ерте мансап мамандарын оқытудың пайдалы құралы болады.

3. Атқарушы бөлімді жобалау

3.1 Механикалық құрылыс

Роботталған қару тіпті ойластырылған кеңістіктерде де құрал-саймандардың орналасуының жоғары дәлдігін қамтамасыз ететін жеңіл, модульдік конструкция негізінде салынған. Құрастырудың жеңілдігі оны білім беру және ғылыми-зерттеу жобалары үшін қолайлы шешім етеді.

Манипулятор кинематикалық тізбектен және кинематикалық тізбек буындарын қосатын сервомоторлардан тұрады. Осылайша негізді айналдыруға, қолды жылжытуға, шынтақтың бүгілуіне, білекті айналдыруға, сондай-ақ механикалық қолды ашуға немесе жабуға болады. Құрылымның бұл түрі адам қолының бионикалық аналогы болып табылады, ол қозғалыстың натурал логикасы бойынша тапсырмаларды орындауды жеңілдетеді.

Сервожетектердің екі түрі жетек ретінде қолданылады:

– MG996R – біздің жағдайымызда база, қол немесе шынтақ сияқты ауыр және байланыстырушы буындарды бақылауға жарамды қуатты әрі сапалы серво.

– SG90 – жоғары күш қажет емес, бірақ жоғары дәлдік қажет болатын қармалауыш бөлігіне арналған микро серво жетектері.

Оның қармалауышы — кішігірім заттарды ұстай және көтере алатын униаксиалды екі саусақты шеткі құрылғы. Ол сондай-ақ сервомотормен қоректенеді, бұл пайдаланушыларға объектіге оны жоймай-ақ бақыланытын күшті нәзік қолдануға мүмкіндік береді.

Қолдың көптеген бөліктері PLA көмегімен 3D басылуы мүмкін. FDM 3D-принтингте ең кең қолданылатын пластик — PLA. Полилактикалық

қышқыл — негізінен сүт қышқылына негізделген экологиялық таза, биологиялық ыдырайтын полиэфир[5]. Рамалық және жұмыс тұтқасы 3D принтерде жасалады. Бұл өндіріске көмектеседі, конструкцияны өзгертуге мүмкіндік береді, сынған жағдайда бөлшектерді ауыстыруды жеңілдетеді. Содан кейін құрастыру бекітілген тірекке орнатылып, пайдалану кезінде тұрақтанады.

Серво моторлары корпусының бөліктеріне орнатылғандықтан, электр сымдарын қысқартуға және құрылғыны ықшамдап ұстап отыруға болады. Бір сатылы актуаторлар бақылау алгоритмдерінің күрделілігін төмендетуі мүмкін.

Қол конструкциясы механикалық (электрлік және гидравликалықтан өзгеше) болып табылады және компоненттердің болуын, құрастыру жеңілдігін және демонстрациялардан бастап нағыз микрохирургиялық тәжірибелерге дейінгі басқа міндеттерді орындау үшін жүйені масштабтау қабілетін ескереді.

3.1.2 Түсіру және жылжымалы буындардың дизайны

Манипулятордың өзі сериялық байланыстары бар сегменттелген қару, олардың әрқайсысы еркіндік дәрежесіне ықпал етеді. Бұл адам қолымен жасалған қозғалыстарға ұқсас қозғалыстарға еліктеуге мүмкіндік береді.

Қол 3D баспа PLA-дан жасалған берік қаңқамен салынған. Сегменттер манипулятордың қалпын қиыстыру үшін әр түрлі өлшемдер мен пішіндерге ие болады. Олар бір-бірімен металл немесе пластикалық бұталарды пайдалана отырып айналу осіне жүктемені негізге ала отырып қосылады.

Айналу бұрышының физикалық (механикалық және бағдарламалық) шектеулері сервоны, егер ол беріліс пәрмендерінде көрсетілген бұрышқа толық бұрылса, зақымданудан қорғайды.

Мұндай элемент серво жетегімен қоректенеді:

Құрылымның негізі мен иық буыны ауыр элементтер ретінде MG996R моторларын пайдаланып жылжытылады. Бұл моторлардың ауыр тісті доңғалақтарды айналдыруға жеткілікті айналдыру моменті бар.

SG90 моторлары жеңіл бөлшектер үшін және энергияның дәл және аз орналасуын қамтамасыз ету үшін соңғы эффектті қимасы үшін де қолданылады.

Қармалауышқа көп көңіл бөлді: SG90 серво басқаратын екі саусақты қармалауыш. Ол хирургиялық қимылды модельдеу мақсатында ұсақ заттарды (мысалы, жіптерді, сабанды, мата кесектерін) сенімді ұстауға арналған. Саусақтардың қозғалысы симметриялы, яғни бір иық әр түрлі қалыпта бола тұра, сервоның шығыс білігінің айналуына қарай екі «жақ» қолдың жоғарғы немесе төменгі жағына қарай жылжиды. Бұл конфигурация конструкциясы бойынша қарапайым және қармалауышты бір жетек агрегатымен басқаруға мүмкіндік береді. Аспап ұстағыш қармалауыш шегінде орналасады және қармалауыш аспапты кеңістікке бағдарлау үшін жұмыс қолының бұрылыс артикуляциясына бекітіледі.

Конструкциясы қарапайым, сондай-ақ компоненттерді алмастыру қабілеті бар. Сондықтан зертханалық зерттеулерге және микрохирургиялық робототехника принциптерін оқытуға өте қолайлы.

3.2 Қолданылатын материалдар және дайындау технологиясы

Манипуляторды барлық сервожетектер мен логиканы бақылайтын Arduino Mega 2560 микроконтроллер басқаратын. Ол қосымша модульдерсіз 16 сервожетекке дейін тікелей бақылауға қабілетті.

Сервожетек мынадай түрде жіктелуі мүмкін:

- MG996R — 6, 7, 8 түйреуіштері сияқты жоғары жүктеме арналарына қосылады, өйткені ол жалпы токты көбірек қажет етеді;

- SG90 – Аз токты арналарға (мысалы, pins 9 немесе 10) қосылады, себебі микро сервожетек өте аз токты суреттейді.

Мәселеге қарапайым көзқарас - сервожетекті сыртқы 6V электрмен жабдықтаудан бөлек сол '+' және '-' автобустарды пайдаланып қоректендіру, содан кейін оны тақтаға қосу.

Бұл контурдың маңызды компоненттерінің бірі сервожетектре қандай да бір мөлшерде жұмыс істей бастағанда кернеудің төмендеуін болдырмау үшін және Arduino тақтасына токтың кенеттен масақтарының соғылуына жол бермеу үшін қуат пен GND-ға тізбектелген 1000мкФ конденсаторы болып табылады.

Ол үшін тіпті Ардуиноның да қажеті жоқ. Ол 5 V-тен бір көзден жұмыс істейді және кернеу деңгейін тұрақтандырғыш ретінде әрқашан «ортақ» немесе «жерге» қосылу талап етіледі.

Жүйе ESP32-CAM негізінде құрылған, ол WIFI арқылы қаруға қосылады және бейнемониторингке арналған камераны қамтиды.

Сұлба прототипке арналған макетте немесе сенімділік үшін әмбебап тақтада құрастырылады. MG996R серво қызып кетуін болдырмау үшін қалың сымдармен қоректенеді.

2 Кесте - Байланыстардың логикалық құрылымы

Компонент	Arduino Mega-ға қосылу	Қуат көзі
Servo 1 (MG996R)	D6	6V + GND
Servo 2 (MG996R)	D7	6V + GND
Servo 3 (MG996R)	D8	6V + GND
Servo 4 (SG90)	D9	6V + GND
Servo 5 (SG90)	D10	6V + GND
ESP32-CAM	He подключён к Arduino	5V + GND

Arduino Mega қосымша дискілерді, түймелерді, кодтауыштарды және датчиктерді оның функционалын кеңейту үшін жобаға оңай біріктіруге мүмкіндік беретін икемділік пен масштабтылықты қамтамасыз етеді.

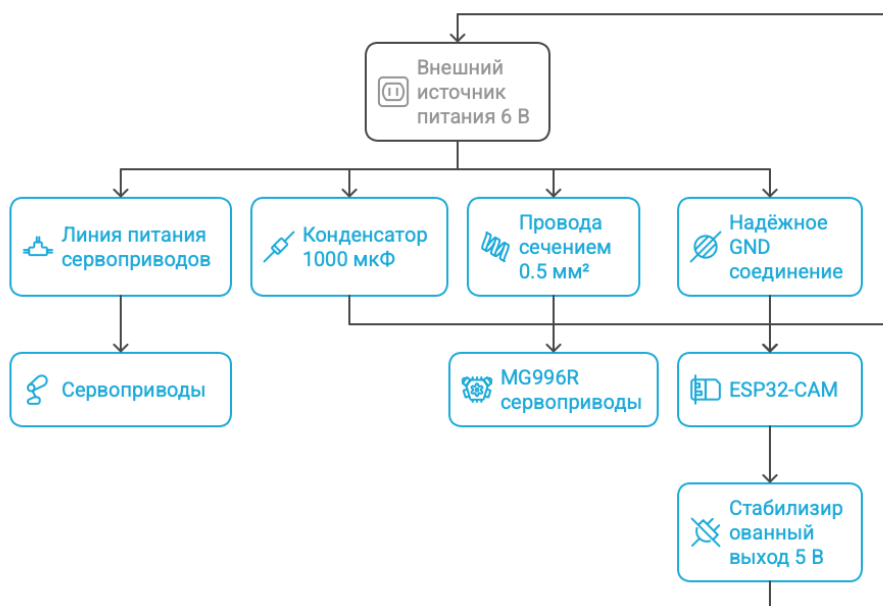
3.2.1 Қуат және кернеуді тұрақтандыру

Манипуляторлық актуарий жүйесінің тұрақты және сенімді жұмысын қамтамасыз ету үшін әр түрлі қуат шығынымен серво жетегімен бір мезгілде басқарылатын қосымша сыртқы 6 V компрессорлық қоректендіру қолданылады.

Бұл қуат тікелей сервожетектерге (Ардуино бортынан айналып) жеткізіледі. Бұл екі себеппен жасалады:

Біріншіден, Ардуиноның кіріктірілген кернеуді реттеуі сервожетектерді басқаруға күші жетпейді (әсіресе шындық жүктеме кезінде), және

Екіншіден, USB портының ажыратылуынан қорықпай, барлық дискілер үшін жеткілікті қуаттың болуын қамтамасыз ету үшін.



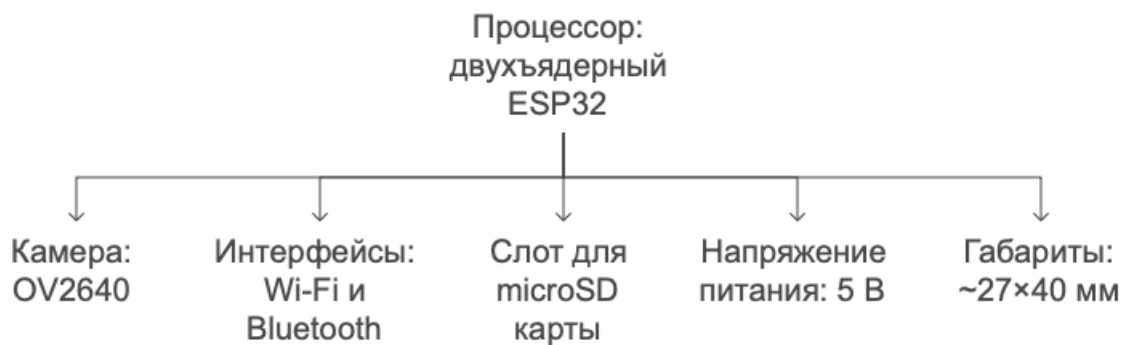
4 Сурет - Манипулятордың қуат схемасы

Қуаттылығы 1000 нФ конденсатор электрмен жабдықтауға параллель қосылады және кернеуді тұрақтандырып, ағымдағы тұтынудағы қысқа мерзімдік соққыларды өтейді. Мысалы, сервозды қосқанда. Бұл кернеудің төмендеуіне және микроконтроллердің ақаулығына жол бермейді.

3.3 ESP32-CAM орнату және бекіту

Манипуляторды көзбен шолып басқару үшін ықшам ESP32-CAM модуліне негізделген бейнебақылау жүйесі қолданылады. Микробақылаушы мен камераны біріктіретін бұл модуль нақты уақыт режимінде бейнені Wi-Fi арқылы береді және операторға қолдың қармауыштары мен қозғалысын бақылауға мүмкіндік береді. OV2640 камерасы бар ESP32-CAM тақтасы — көру құрылғыларын, смарт-үйлерді, роботтарды жасау үшін пайдалануға болатын қазіргі кездегі камералық микроконтроллер. Жүк тиегіш тақтамен және камерамен қосылады, сондықтан сыртқы USB-UART түрлендіргішін пайдаланудың қажеті жоқ[6].

ESP32-CAM — ESP32 микроконтроллер Wi-Fi және Bluetooth-пен, сондай-ақ кіріктірілген камерамен біріктіретін жинақы және арзан модуль. Ол визуализация мен қашықтан қол жеткізуді талап ететін жобалар үшін өте қолайлы, өйткені ол Wi-Fi-ге қосылып, бейнені өз бетінше ағындай алады.



5 Сурет - ESP32-CAM модулінің техникалық сипаттамалары

Камераны мінсіз көру қалпында орналастыру үшін камераны реттелетін стендке бекітуге мүмкіндік беретін реттелетін стендіге орнатады.

Кредит: Montage

3D баспа бекітпесін пайдалана отырып, 6 мм датчигі бар бейнені жазудың прототиптік жүйесі орнатылды, онда ESP 32-CAM тақтайшасы бұрандамен және ысырмамен сенімді бекітіледі. Бұл конфигурация модульді жылдам қайта бағдарламалауға немесе ауыстыруға, содан кейін бағдарды оңай өзгертуге мүмкіндік береді. Фотоаппарат манипулятордың бетінің айналасында түсірілім аймағына дейін оның көрініс өрісінде көрінетіндей етіп орналасады. Осының және жоғары ажыратымдылықтың арқасында мәтін анық және тіпті ұсақ детальдарда оқылатын.

Қуат 5V-ке дейін төмендетілген жалпы 6V рельстен келеді, бұл оңай қосылуға мүмкіндік береді.

Осыншама шектеулерді енгізумен жұмыс істеу қатаң түрде қарастырылмайды. Мысалы, манипулятордың қозғалысын сипаттау. Модуль 5V-тен жалпы жермен ортақ желіде қоректенеді. Тұрақты жұмыс істеу үшін, әсіресе кернеу төмендеген кезде, SSE реттегішін пайдалану ұсынылады. Істен шығулар 4,8В және одан төмен кернеуде болатындықтан, мысалы, AMS1117. Модуль арнайы 3D баспа корпусында орналастырылады, ол тұтқаға сенімді бекітіледі. Және ол жұмыс аймағының көрініс өрісін барынша аз шектейді.



6 Сурет - Роботты қолдың функциялары

ESP32-CAM — бейне талдау негізінде қашықтан бейнебақылау және автоматтандыру мүмкіндіктерін қосудың арзан әрі икемді тәсілі.

3.3.1 Бейне ағынын беру және басқарумен біріктіру

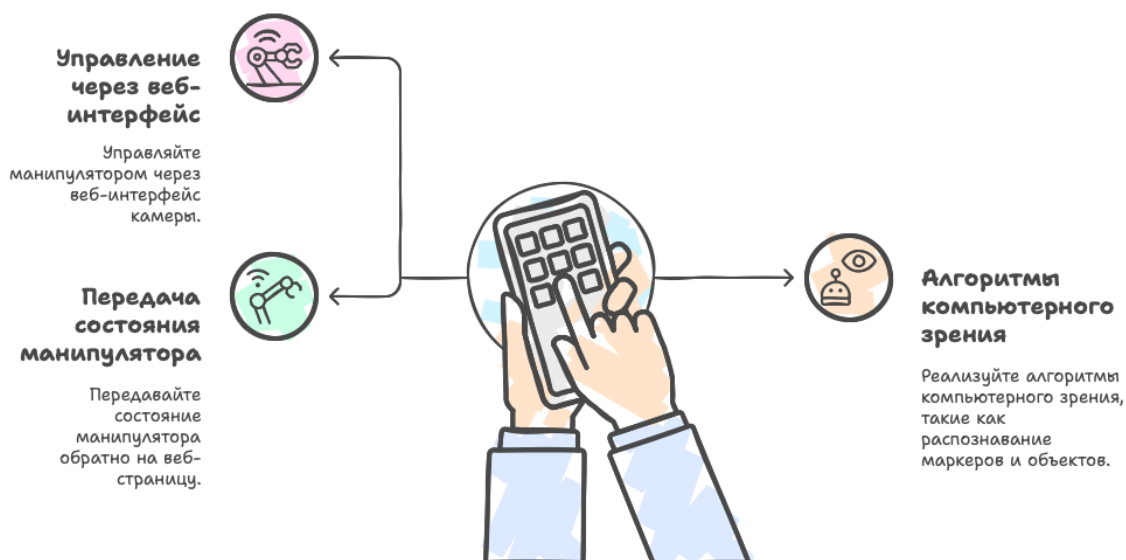
ESP32-CAM көмегімен тікелей эфирге шығасыз, сондықтан роботталған қолыңыз бен нысандарды жылжытылған немесе түсірілген сайын көруге болады.

Тігін ыдысын жүктеп, Wi-Fi қосылғанда модуль сол арқылы бейнені ағындайтын веб-серверге айналады. Бейнеге Arduino IDE-де берілген IP мекенжайы арқылы браузер арқылы кіруге болады.

Оператор бейнені интерфейсте көре алады және орнатылған тігінге байланысты сурет параметрлерін (ажыратымдылық, кадр жылдамдығы) реттеп, суретке түсіре алады.

Ажыратымдылық манипулятордың қозғалысын және буындардың орналасуын егжей-тегжейлі қарауға жеткілікті, ал ұсақ заттарды жақсы жарықтандырылған зертханалық жағдайларда ажыратуға болады. Бұл сондай-ақ жүйені жоғары дәлдікті қажет ететін қосымшаларға, мысалы,

тәрбиелік хирургиялық іс-шараларға жарамды етеді.



7 Сурет - Манипуляторларды басқару функциялары ESP32-CAM және Arduino Mega физикалық байланыспағанымен, олар біртұтас біріккен контур ретінде жұмыс істейді. Бұл қолмен басқару режимінде де, жартылай автоматты режимде команданың орындалуын бақылау үшін де манипулятордың қозғалысын бақылауға көмектесетін оператордың «көзі» болып табылады.

3.4Тікелей және кері кинематика моделі

Тәжірибеде кеңістіктегі қармалауыштың тербелістерін бақылау үшін манипулятор буындарының ауытқығанын ескеріп қана қоймай, актуатордың координаталарын түзету үшін жетектердің айналу бұрыштарын өзгерту қажет.

Бұл кинематика механиканың роботтар қолданылатын маңызды бағыттарының бірі болып табылады.

Бұл құрылғы қатармен байланысқан буындар тізбегінен тұрады, олардың әрқайсысы алдыңғы буынға бекітіледі (түйреуіштер көрсетілмейді), бұл тек айналуға мүмкіндік береді.

Олар «сериялық кинематика роботтары» немесе «SCARA роботтары» деген атпен де белгілі.

Манипулятор жұмыс денесінің координаталарын есептеу үшін трансформация теңдеулері немесе олардың геометриялық теңдеулер түріндегі жеңілдетілген формасы да жиі қолданылады.

$$x=L_1\cdot\cos(\theta_1)+L_2\cdot\cos(\theta_1+\theta_2) \quad (1)$$

$$y= L_1\cdot\sin(\theta_1)+L_2\cdot\sin(\theta_1+\theta_2) \quad (2)$$

3D жағдайында тағы бір айналуды қарастыруға болады: Z осінің айналасындағы айналу.

Бұл процестер 3D матрица түріндегі математикалық түрленулер болып табылады.

Соңғы нүктенің координаталары осы айналу және аудару матрицаларын рет-ретімен қолдану арқылы анықталады. Кері кинематика 6 және 7 буындар үшін серво бұрыштарын қармалауыш кеңістікте қалаған жерде болатындай етіп табуға жауап береді.

Бұл міндет анағұрлым күрделі, себебі жалпы жағдайдағы шешім, егер мақсатты позиция манипулятордың физикалық диапазонынан тыс болса, екі ұшты (немесе жоқ) болуы мүмкін. Хирургиялық аспап нүктесінің ауытқуын болдырмау үшін манипуляторға кинематикалық талдау жүргізу қажет.

Тікелей кинематика эталондық координаттар жүйесіне қатысты соңғы буынның орналасуы мен бағдарын анықтау үшін қолданылады, бұл ретте аспаптың қажетті қалпын көрсете отырып, актуаторлардың айналу бұрыштарын есептеу үшін кері кинематика қолданылады[10]. Көптеген заманауи манипуляторлар тұрақты ток сервомоторлары мен кері байланыс жүйесі бар екі немесе үш буынды конструкцияларды пайдаланады. Қарапайым прототиптерде кері байланыс кодтаушылармен немесе потенциометрлермен іске асырылады, бұл ретте алдыңғы қатарлы

медициналық жүйелерде оптикалық және индуктивті датчиктер қолданылады [11].

$$\cos(\theta_2) = \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2}$$

$$\theta_2 = \arccos(\cos(\theta_2))$$

$$\theta_1 = \arctan2(y, x) - \arctan2(L_2 \sin(\theta_2), L_1 + L_2 \cos(\theta_2))$$

Өлшенетін деректер, әсіресе позициялық немесе жартылай автоматты режимде, манипулятордың жағдайын реттеу үшін микроббольдер бағдарламасына қосу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Қазіргі нұсқа тек тікелей кинематиканы қолдайды, өйткені серво бұрыштары манипулятордың қалпы ретінде тікелей белгіленеді.

Сондай-ақ келешекте кері кинематиканы, мысалы, координаттар арқылы басқару мүмкіндігін қосу немесе ESP32-CAM көмегімен басқа көзбен шолып қадағалау жүйесін қабылдау арқылы енгізу жоспарланып отыр.

3.4.1 Длины звеньев и диапазоны поворота

3 Кесте - Таңдалған өлшемдер

Белгілеуі	Буын	Ұзындығы, мм
L ₁	Иық	120
L ₂	Білек	100
L ₃	Ұстау	50

Бұл өлшемдер манипулятордың толық ұзартылған қалпында жалпы ұзындығы 270 мм-ге жуық болуына мүмкіндік береді, ол шағын жұмыс

алаңында немесе модельде микрохирургиялық манипуляцияларды модельдеу талаптарына жауап береді.

Манипулятордың әрбір буыны бір серво мотормен қозғалады және программалық (кодта) және механикалық (механикалық аялдамалар) қозғалысқа шектеу қойылады.

4 Кесте - Бұрылу ауқымы

Белгілеуі	Жетек	Бұрылу диапазоны, °	Ескерту
Негіз (айналу)	MG996R	0...180	Z осінің айналуы (тік айналасында)
Иық (L ₁)	MG996R	15...160	Жоғары және төмен бұрылу
Шынтақ (L ₂)	MG996R	10...150	Бүгу/жазу
білек (L ₃)	SG90	0...90	Болмашы түзетулер
Ұстау(гриппер)	SG90	0...45	Қысу ашу

Бұл шектеулер буындардағы жүктемелер тым жоғары болмайтындай және құрылыс элементтері үшін соқтығысудың ықтимал бұрыштары аз болуы үшін қауіпсіз пайдалануға кепілдік беру үшін таңдап алынады.

Жұмыс кеңістігінің пішіні бұл жағдайда көлденең жазықтықтағы секторлық аудан және тік жазықтықтағы жарты шар өңірі түрінде болатын аймақтармен де анықталады.

Берілетін кеңістік микрохирургиядағы майда қозғалыстарды көрсету үшін жеткілікті болуы мүмкін.

3.4.2 Орналасу дәлдігін есептеу

Микрохирургиялық манипуляцияларды жобалаудың негізгі мәселесі манипулятордың жетек механизмін қаншалықты дәл орналастыра алатыны болып табылады. Жүйенің дәлдігі буындардың ұзындығына және әрбір мотордың ең кіші бұрыштық ығысуына байланысты, себебі серво механизмінің көмегімен дамып келе жатқандықтан, оның алдын ала белгіленген бұрыштық айыры болады.

Іс жүзінде бұл (ең болмағанда менің жағдайымда) сигналды бір кенемен (стандартты шкала бойынша пайдалы диапазонның 1/180) жылжытатыныңызды білдіреді, ал сол жерде қосылыстың қарама-қарсы жағында ұзындығыңызды масштабпен өлшеуге болатын жылжымалы сызықтық жүйені аласыз.

Ұзындық (L) буыны кішкене бұрышпен $\Delta\theta$ бұрылсын. Енді доға бойындағы Δx буынының ұшының офсетін шамамен анықтауға болады:

$$\Delta x \approx L \cdot \Delta\theta (\text{радиандарда})$$

MG996R үшін:

$$\Delta\theta = 0.29^\circ = 0.0051 \text{ рад}, L = 120$$

$$\Delta x \approx 120 \cdot 0.0051 = 0.61 \text{ мм}$$

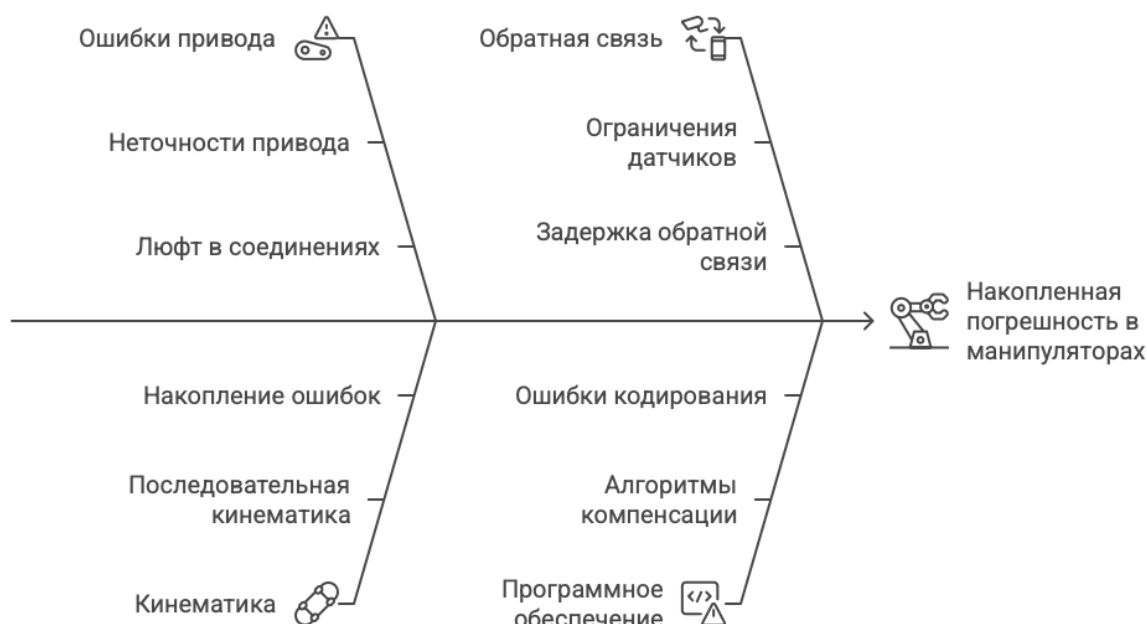
SG90 үшін:

$$(\text{қысқа буын } L = 50 \text{ мм})$$

$$\Delta\theta = 0.36^\circ = 0.0063 \text{ рад}, \Delta x \approx 50 \cdot 0.0063 = 0.32 \text{ мм}$$

Нақты жағдайда позициялау дәлдігі 0,3 — 0,6 мм диапазонында болады, бұл механизмнің түріне және қолданылатын серво моторына байланысты.

Білімі мен көрсетілімі жағынан мұндай дәлдік жеткілікті. Егер жоғары дәлдік қажет болса, серво жетектерін жоғары дәлдіктегі модельдермен ауыстыруға немесе редукторларды орнатуға болады.



8 Сурет - Манипуляторлардағы жинақталған қатені талдау

Бұрыштық қателік манипуляторлар жүйесінің сериялық байланыстарында жинақталатынын атап өткен жөн.

Мұндай проблема сериялық кинематикалық манипуляторда туындайды, онда бір элементтің қателігі жұмыс органының орналасуына әсер етеді.

Алайда кері байланыспен (мысалы, ESP32-CAM камерасының немесе кодтауыштардың деректерін пайдаланып) үлкен дәлдікке жету үшін бағдарламалық жасақтамадағы осы қателердің орнын толтыруға болады.

3.5. SG90 және MG996R сипаттамаларының салыстырмалы кестесі

Әуе винтінің конструкциясы актуарийлерді таңдау кезінде жүктемені бөлу ұғымына негізделеді.

Ауыр буындар мен база талап етілетін қуатты және жүктемелік қуатты қолдау үшін MG996R сервожетектермен жабдықталады.

Сонымен қатар, жеңілірек бөлімдер үшін, мысалы, оның қармауышы үшін жеңілірек және дәлірек SG90 сервожетектері қолданылады. Соңғы нүктенің координаталары осы айналу және аудару матрицаларын рет-ретімен қолдану арқылы анықталады. Кері кинематика 6 және 7 буындар үшін серво бұрыштарын қармалауыш кеңістікте қалаған жерде болатындай етіп табуға жауап береді.

Бұл міндет анағұрлым күрделі, себебі жалпы жағдайдағы шешім, егер мақсатты позиция манипулятордың физикалық диапазонынан тыс болса, екі ұшты (немесе жоқ) болуы мүмкін. Хирургиялық аспап нүктесінің ауытқуын болдырмау үшін манипуляторға кинематикалық талдау жүргізу қажет.

Осы үлгілердің сипаттамаларын салыстыру төмендегі кестеде келтірілген.

5 Кесте - SG90 vs MG996R салыстыру

Параметр	SG90 Micro Servo	MG996R Servo
Түрі	Аналогтық	Аналогтық
Қуат кернеуі	4.8–6 В	4.8–7.2 В
Максималды бұрылу моменті	~1.8 кг·см (6 В кезінде)	~9.4 кг·см (6 В кезінде)
Бұрыштық жылдамдық	~0.1 с/60°	~0.14 с/60°
Редуктор материалы	Пластик	Металл
Масса	~9 г	~55 г
Өлшемдері	23×12×29 мм	40×19×43 мм
PWM басқару ауқымы	0.5–2.4 мс	0.5–2.5 мс
Бұрылу ажыратымдылығы (шамамен.)	~0.36°	~0.29°
Температура диапазоны	0...+55 °С	0...+70 °С
Құрылымдағы мақсаты	Білек	Иық, шынтақ

	 MG996R	 SG90
Крутящий момент	Высокий	Низкий
Долговечность	Высокая	Низкая
Применение	Для тяжелых условий эксплуатации	Для легких условий эксплуатации
Вес	Высокий	Низкий

9 Сурет - Сервомоторларды салыстыру

3.5.1 Қажетті моментті есептеу

Серво жетегінің айналдыру моменті қолдың ұзындығы мен жүктеме салмағына сәйкес келуі тиіс. Сенімділік пен беріктік үшін қызып кетуді, қателерді және тозуды болдырмау үшін айналдыру моментінің маржасы бар сервоны тандаңыз.

Ең аз қажетті айналдыру моментін бағалау үшін мынадай формула қолданылады:

$$M=F \cdot L$$

Қайда:

F — звенода әрекет ететін күш (Н-да),

L — айналу осінен жүктеменің ауырлық орталығына дейінгі арақашықтық (м- де).

Егер жүктеме массасы m белгілі болса, онда:

$$F=m \cdot g, \text{ где } g=9.81 \text{ м/с}^2$$

L_1 буыны үшін есептеу ($I_{ық}$)

Егер:

ыық ұзындығы $L=0,12 \text{ м}$ $L=0,12 \text{ м}$,

буынның салмағы мен соңындағы салмағы $m=0,3 \text{ кг}=0,3 \text{ кг}$,
буынның ауырлық орталығы ортада , яғни айналу осінен $0,06 \text{ м}$.

Содан кейін:

$$F=0.3 \cdot 9.81=2.943 \text{ Н}$$

$$M=2.943 \cdot 0.06=0.17658 \text{ Н}\cdot\text{м}=1.80 \text{ кг}\cdot\text{см}$$

Екінші буын (білік) үшін ұқсас:

$$\text{ұзындығы } L=0,1 \text{ м}=0,1 \text{ м},$$

$0,2 \text{ кг}$ соңындағы жүктеме (қармалауышты қоса алғанда).

$$F=0.2 \cdot 9.81=1.962 \text{ Н}, \quad M=1.962 \cdot 0.1=0.1962 \text{ Н}\cdot\text{м}=2.0 \text{ кг}\cdot\text{см}$$

3.5.2 Қызып кетуді және ұзақ өмір сүруді талдау

Манипуляторлардың серво жетектері ауыспалы жүктемелерге ұшырайды және көрсетілген позицияларда буындарды ұстап тұруы тиіс. Сондықтан жылу өнімділігі мен қызмет ету тіршілігін, сондай-ақ айналдыру моменті мен дәлдігін бағалаудың маңызы зор. Жүктемемен ұзақ уақыт жұмыс істеу, әсіресе статикалық режимде (салмақ ұстап тұру) серво жетегінің орамасын және басқару электроникасын қыздыруға әкеледі.

MG996R сияқты жоғары дәлдіктегі сервожетектер олардың ағымдағы тұтынылуына байланысты (шыңда $2 \times 2,5 \text{ А}$ дейін) қызып кетуге ерекше бейім. Микрохирургиялық роботтардың сервомоторларына әсер ететін басты проблемалардың бірі жылу жағдайлары болып табылады.

Актuatorлардың өнімділігі төмендейді және температураның көтерілуімен олардың қызмет ету мерзімі төмендейді.

Әдебиетке қарама-қайшы, модельдердің көпшілігінің ең жоғарғы орама температурасы $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, мысалы, MG996R-да. Микрохирургиялық роботтардың сервомоторларына әсер ететін басты проблемалардың бірі жылу жағдайлары болып табылады. Актuatorлардың өнімділігі төмендейді, ал олардың қызмет ету мерзімі температураның көтерілуімен

төмендейді, модельдердің көпшілігінің ең жоғары орама температурасы 70 °C, мысалы MG996R [12].



10 Сурет - Қызып кетуді басқару және сервожетектің қызмет ету мерзімін ұзарту

Манипулятор тек демонстрациялар мен тәжірибелер үшін ғана қолданылатын диссертацияда қызып кету және тозу мәселесі, 3-бөлімде айтылғандай, бұл жұмыста негізгі мәселе болып табылмайды. Бірақ ұзақ және үздіксіз жұмыс істеуді жоспарласаңыз, әсіресе ол автоматты операция болса, онда сізге:

- Сервожетектердің температурасын бақылау.
- Осындай пікірлері бар сандық сервожетектердің пайдалану мүмкіндігін қарастырайық.
- Жүктемені анықтау үшін ток датчигін енгізу.

4. Бағдарламалық қамтамасыз етуді басқару

4.1 Arduino Mega көмегімен сервожетектерді басқару

Arduino Mega 2560 серво моторлары үшін пәрмендерді қабылдау және импульстік ені модуляциясын (PWM) жасау үшін дала актуаторымен әрекеттеседі.

Біз Arduino Mega-ны сандық түйреуіштер мен PWM шығымдарының көпдігіне байланысты таңдадық, және ол қосымша кеңейткіштерсіз көптеген сервожетектерді басқара алады.

Әрбір сервожетектер PWM сигналымен бақыланады және дәл осы кезекшілік циклінің ені (0,5 — 2,5 мс) серво білігінің айналуын анықтайды. Сигнал жиілігі 50 Гц (20 мс период). Мысалы:

- 1,5 мс (1500 μ s) импульсіне сәйкес келетін позиция «орталық» позиция болып саналады;
- 1,0 мс импульс — бір бағытта толық ауытқу;
- «Қарама-қарсы» бағыт 2,0 мс импульспен сәйкес келеді.

Arduio - сіздің стандартты серво моторыңыз. Серво механизмімен жұмыс істеу үшін қолданатын h кітапханасы осы шағын моторды қарапайым және объектіге бағдарланған басқаруға мүмкіндік береді. Бағдарламалық басқару PWM сигналдарын және бейнебақылау мен Wi-Fi байланысына арналған ESP32-CAM тақтасын жасау үшін Arduino Mega көмегімен жүзеге асырылады.

Бұл тәсіл басқару және көрнекі кері байланыс алу мүмкіндігімен нақты ортада жұмыс істеуді имитациялайтын тренажер құруға ықпал етеді[8, 9].

Интерфейсті SmartHand және TeleFlex жүйелерінің прототиптерінде іске асырылғандай бейне ағынға, басқару түймелеріне және күш немесе сенсор датчиктерінен ықтимал кері байланысқа қол жеткізе отырып, веб-браузер арқылы жұмыс істеу үшін ұзартуға болады.[14][15].

Қазіргі уақытта жоба жергілікті басқару режимінде жұмыс істейді: қозғалыс тікелей кодпен белгіленеді.

Алайда, оның дизайнының икемді сипатына байланысты болашақта Bluetooth/WIFI (ESP8266/ESP32) арқылы сымсыз басқару және пәрмендерді пайдалана отырып, кез келген компьютерден немесе смартфоннан басқару мүмкіндігі жоспарланып отыр. Жүйе потенциометрлер мен камералар сияқты әр түрлі датчиктерден ақпарат алады. Ардуино Мега барлық бес сервожетекті сенімді басқарады және қосымша датчиктерді, экрандарды және байланыс модульдерін қосу арқылы жаңа мүмкіндіктерді қосуға мүмкіндік береді.

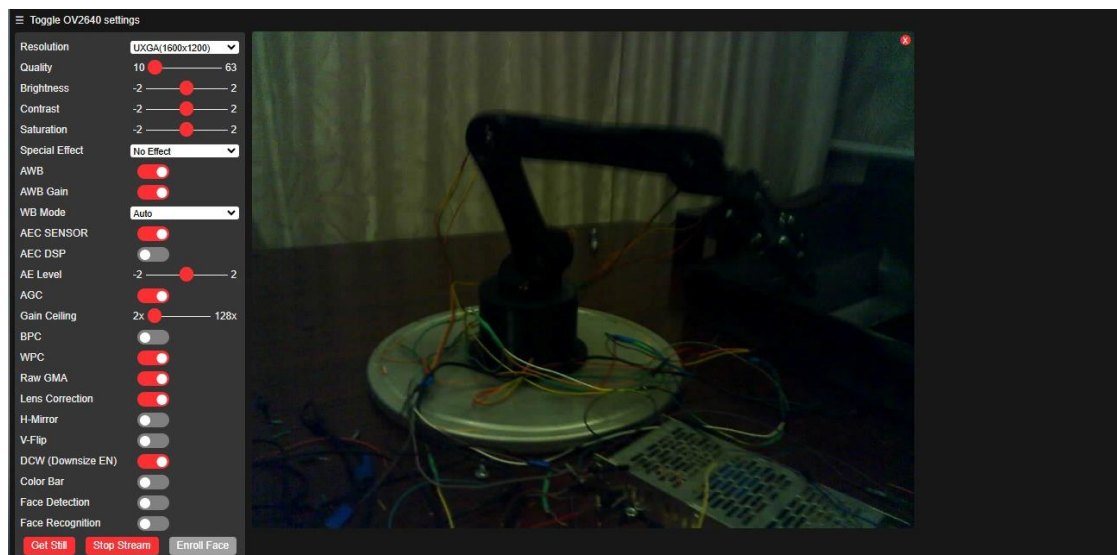
4.2 ESP32-CAM көмегімен бейнебақылау

Жүйедегі манипулятордың орналасуы мен қозғалысы нақты уақыт режимінде Wi-Fi арқылы бейнені беруге мүмкіндік беретін ESP32-CAM модулінің көмегімен көзбен бақыланады. Бұл шешім прототиптеуге ыңғайлы, қармалауыштардың дәл орналасуы, сондай-ақ қашықтықтан басқару және компьютерлік көру үшін функционалдың болашақта кеңеюіне мүмкіндік береді.

ESP32-CAM модулі мыналардан тұрады:

- қос ядролы процессормен жабдықталған ESP32 микроконтроллер;
- 2МП (1600x1200) рұқсаты бар OV2640 камералары;
- Wi-Fi желісіне кіру әдісі;
- Бейне ағынға арналған кіріктірілген веб-сервер.

Жыпылықтағаннан кейін модуль Wi-Fi-ге қосылады және өзінің IP мекенжайын көрсетеді. Осы IP-ді браузерге енгізе отырып, пайдаланушы камерадан және кескін параметрлерінен (сапа, ажыратымдылық, жарықтандыру) жанды бейнесі бар веб-интерфейсті көреді.



11 Сурет - Жоба интерфейсі

Қорытынды

Микрохирургиялық манипуляцияларға арналған роботтандырылған жүйенің атқарушы бөлігі әзірленіп, енгізілген. Мақсаты шектеулі жұмыс кеңістігінде жоғары дәлдікті қамтамасыз ететін жинақы, функционалды және масштабты манипулятор жасау болды. Жобаның үнемділігі мен сенімділігіне "Arduino Mega", "MG996R", "SG90" және "ESP32-CAM" сияқты қолда бар компоненттерін пайдалану есебінен қол жеткізіледі. Ардуино сервожетектерді бақылайды, ал ESP32-CAM бейнежазбаларын не болып жатқанын бақылау үшін жазады.

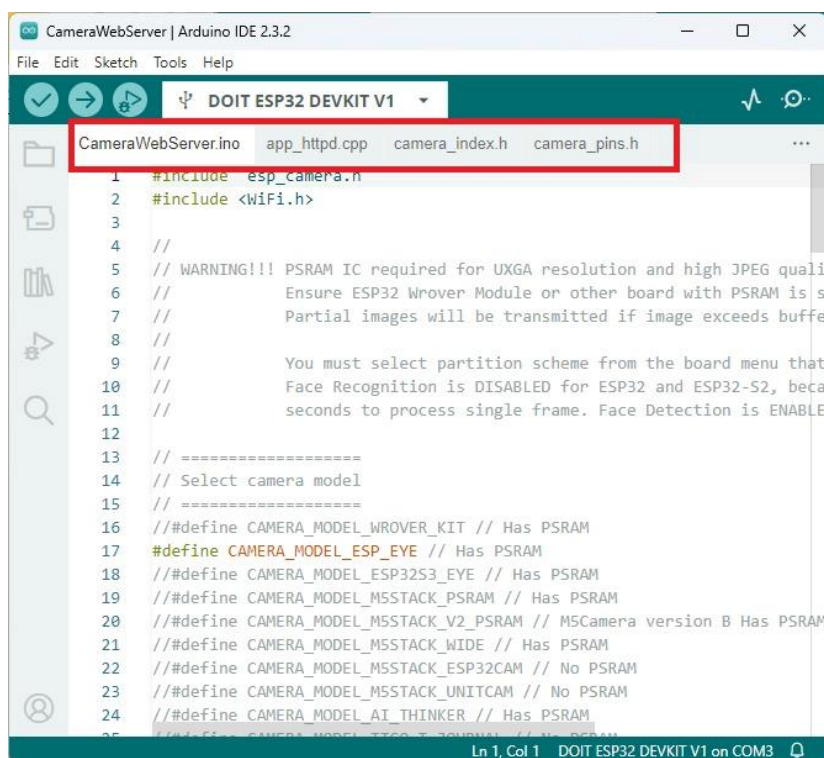
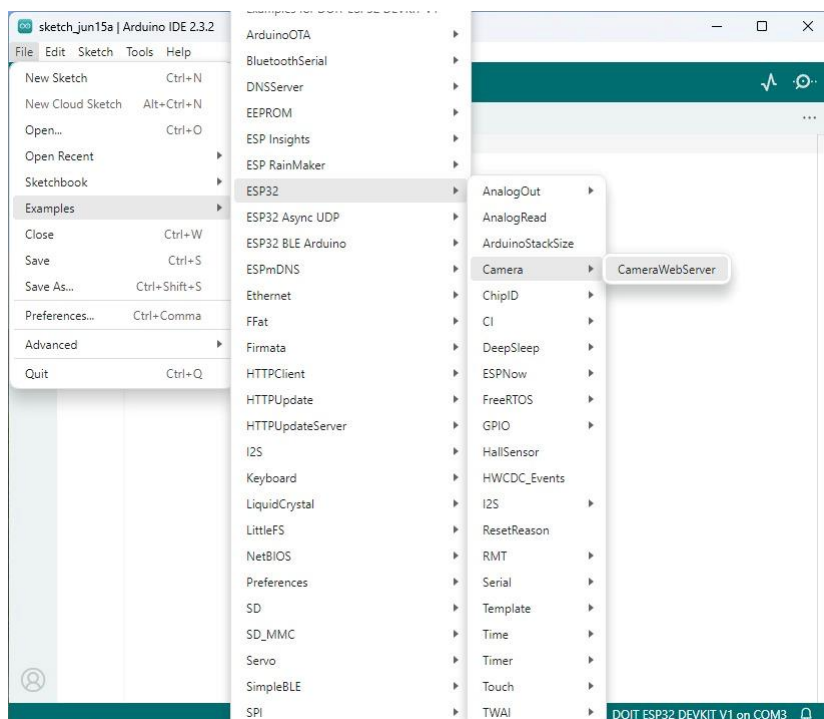
Жоба өз мақсаттарына сәтті қол жеткізді. Әзірленген дизайн тек практикалық қолдану үшін ғана емес, сонымен қатар робототехника, микросургия және интеллектуалды басқару жүйелері сияқты салалардағы оқу және ғылыми-зерттеу мақсаттары үшін де елеулі мәнге ие.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. <https://www.phsmed.de/procedury-i-technologii/item/sistema-da-vinchi/>
2. <https://www.medicalexp.ru/prod/microsure/product-4579464-1106029.html>
3. [https://zdrav.expert/index.php/Продукт:MUSA-3_\(робот-хирург\)](https://zdrav.expert/index.php/Продукт:MUSA-3_(робот-хирург))
4. <https://robotrends.ru/pub/2008/assistivnyy-kompleks-musa---budushee-supermikrohirurgii>
5. <https://blog.iqb.ru/pla-plastic/>
6. <https://ampermarket.kz/arduino/esp32-cam-ov2640/>
8. Arduino.cc. Arduino Mega 2560 Technical Specifications. 2023.
9. Espressif Systems. ESP32-CAM Datasheet. 2023. <https://www.espressif.com>
10. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы - Машиностроение
11. Okamura A.M., Hnat D.M., Cutkosky M.R. Performance of Remote Force Feedback in Robot-Assisted Surgery. https://www.researchgate.net/publication/7342612_Methods_for_haptic_feedback_in_teleoperated_robot-assisted_surgery
12. TowerPro. MG996R High Torque Servo Specifications. <https://robu.in/product/towerpro-mg996r-digital-high-torque-servo-motor/>
13. Петров В. И. Теория механизмов и машин.
14. Micera S., Carrozza M.C., Guglielmelli E., Dario P. Control of hand prostheses using peripheral information. https://www.researchgate.net/publication/267491054_Control_of_Hand_Prostheses_A_Literature_Review
15. TeleFlex Robotics. Hominis Surgical System Overview. <https://www.teleflex.com>

Қосымша А

Камераның бағдарламалау тізбегі



```

CameraWebServer.ino  app_httpd.cpp  camera_index.h  camera_pins.h  ...
9  //      You must select partition scheme from the board menu that
10 //      Face Recognition is DISABLED for ESP32 and ESP32-S2, beca
11 //      seconds to process single frame. Face Detection is ENABLE
12
13 // =====
14 // Select camera model
15 // =====
16 // #define CAMERA_MODEL_WROVER_KIT // Has PSRAM
17 // #define CAMERA_MODEL_ESP_EYE // Has PSRAM
18 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S3_EYE // Has PSRAM
19 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM // Has PSRAM
20 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_V2_PSRAM // M5Camera version B Has PSRAM
21 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE // Has PSRAM
22 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_ESP32CAM // No PSRAM
23 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_UNITCAM // No PSRAM
24 #define CAMERA_MODEL_AI_THINKER // Has PSRAM
25 // #define CAMERA_MODEL_TTGO_T_JOURNAL // No PSRAM
26 // #define CAMERA_MODEL_XIAO_ESP32S3 // Has PSRAM
27 // ** Espressif Internal Boards **
28 // #define CAMERA_MODEL_ESP32_CAM_BOARD
29 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S2_CAM_BOARD
30 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S3_CAM_LCD
31 // #define CAMERA_MODEL_DFRobot_FireBeetle2_ESP32S3 // Has PSRAM
32 // #define CAMERA_MODEL_DFRobot_Romeo_ESP32S3 // Has PSRAM

```

CameraWebServer | Arduino IDE 2.3.2

File Edit Sketch Tools Help

AI Thinker ESP32-CAM

```

CameraWebServer.ino  app_httpd.cpp  camera_index.h  camera_pins.h  ...
17 // #define CAMERA_MODEL_ESP_EYE // Has PSRAM
18 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S3_EYE // Has PSRAM
19 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM // Has PSRAM
20 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_V2_PSRAM // M5Camera version B Has PSRAM
21 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE // Has PSRAM
22 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_ESP32CAM // No PSRAM
23 // #define CAMERA_MODEL_M5STACK_UNITCAM // No PSRAM
24 #define CAMERA_MODEL_AI_THINKER // Has PSRAM
25 // #define CAMERA_MODEL_TTGO_T_JOURNAL // No PSRAM
26 // #define CAMERA_MODEL_XIAO_ESP32S3 // Has PSRAM
27 // ** Espressif Internal Boards **
28 // #define CAMERA_MODEL_ESP32_CAM_BOARD
29 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S2_CAM_BOARD
30 // #define CAMERA_MODEL_ESP32S3_CAM_LCD

```

Output

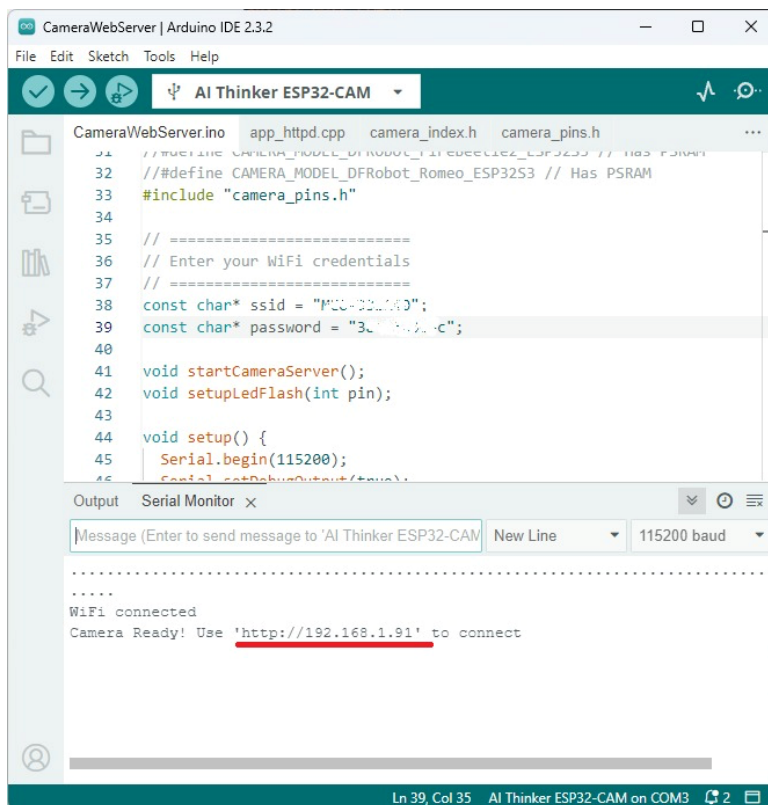
```

Writing at 0x0017a510... (98 %)
Writing at 0x0017fd48... (100 %)
Wrote 1521984 bytes (993795 compressed) at 0x00010000 in 22.6 seconds (effect
Hash of data verified.

Leaving...
Hard resetting via RTS pin...

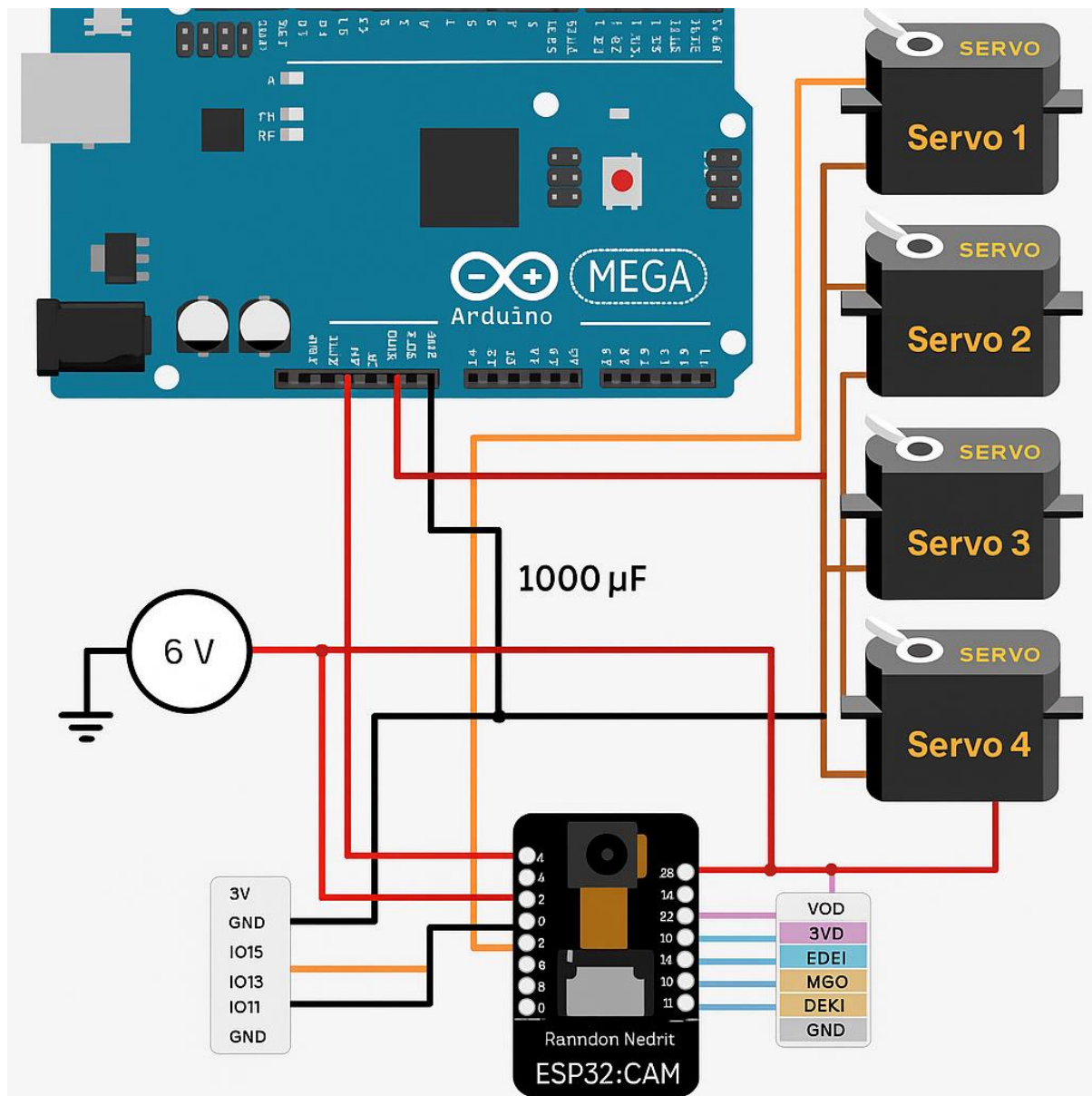
```

Ln 24, Col 1 AI Thinker ESP32-CAM on COM3 2



Қосымша В

Принципті схемасы



Қосымша С

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo baseServo, shoulderServo, elbowServo, wristServo, gripperServo;
```

```
void setup() {  
  baseServo.attach(6);  
  shoulderServo.attach(7);  
  elbowServo.attach(8);  
  wristServo.attach(9);  
  gripperServo.attach(10);
```

```
  
  baseServo.write(90);  
  shoulderServo.write(90);  
  elbowServo.write(90);  
  wristServo.write(90);  
  gripperServo.write(0);  
}
```

```
void loop() {  
  for (int angle = 90; angle <= 120; angle++) {  
    shoulderServo.write(angle);  
    delay(15);  
  }  
  for (int angle = 120; angle >= 90; angle--) {  
    shoulderServo.write(angle);  
    delay(15);  
  }  
}
```

Қосымша D

Манипуляторды тестілеу нәтижелері кестесі

Параметр	Мәні
Орналасу дәлдігі	0.3–0.6 мм
Жетектің жауап беру уақыты	~0.1–0.15 сек
MG996R температурасы (макс.)	15 мин тан кейін 48 °С
Негізінің бұрылу бұрышы	0...180°
Құрылыс массасы	~450 г

РЕЦЕНЗИЯ

дипломной работы

студента специальности 6В07114 – «Биомедицинская инженерия»

Әділбек Дінмұхамед Данабекұлы

На тему: «Разработка исполнительской части роботизированной системы для
микрохирургических операций».

Разработано:

- а) графический раздел _ рисунков
- б) пояснительная записка на _ страницах

ЗАМЕЧАНИЕ

Дипломная работа посвящена созданию исполнительской части роботизированной системы для проведения микрохирургических вмешательств — области, где особенно важны точность, стабильность и управляемость движений. Работа отличается междисциплинарным подходом, охватывая механику, электронику и программное обеспечение.

Автором спроектирован и реализован компактный манипулятор с несколькими степенями свободы, управляемый с помощью микроконтроллера Arduino Mega и сервоприводов SG90 и MG996R. Для визуального контроля в систему интегрирован видеомодуль ESP32-CAM, позволяющий осуществлять мониторинг действий в реальном времени по Wi-Fi. Отдельного внимания заслуживает грамотное применение 3D-печати для изготовления компонентов, расчет кинематики, выбор материалов и анализ нагрузок. В работе представлены схемы подключения, программная реализация управления сервоприводами, а также расчеты точности позиционирования и крутящих моментов. Результаты тестирования подтверждают высокую точность работы системы (до 0,3 мм), что соответствует требованиям микрохирургии.

Работа выполнена в соответствии с требованиями к дипломным проектам бакалавров, отличается логичностью структуры, полнотой изложения и высоким уровнем технической проработки. Практическая значимость подтверждена возможностью использования разработанной системы в учебных и исследовательских целях.

Оценка работы

Считаю, что дипломная работа студента Әділбек Дінмұхамед Данабекұлы на тему «Разработка исполнительской части роботизированной системы для микрохирургических операций» выполнена на высоком уровне, соответствует заявленным целям и задачам, обладает прикладной ценностью и научной новизной. Автор заслуживает присвоения академической степени бакалавра.

Рецензент

Заведующая кафедры «Общенаучные дисциплины» Академии гражданской авиации, к. т. н., доцент


Сейдилдаева А.К.

2025 г

ОТЗЫВ

дипломного проекта (работы)

студента специальности 6В07114 – «Биомедицинская инженерия»

Әділбек Дінмұхамед Данабекұлы

На тему: «Разработка исполнительской части роботизированной системы
для микрохирургических операций»

Дипломный проект студента бакалавриата Әділбек Дінмұхамед Данабекұлы посвящён разработке исполнительного механизма роботизированной системы для микрохирургии.

Цель работы — создание доступного и точного манипулятора с функцией видеонаблюдения, способного компенсировать тремор и повысить точность хирургических действий. В ходе выполнения проекта студент проанализировал современные роботизированные системы и подобрал недорогую альтернативу с применением доступных компонентов.

В первой части описаны современные микрохирургические роботы (da Vinci, MUSA), их достоинства и недостатки. Приведён обзор применимых технологий в области роботизированной хирургии.

Во второй части рассмотрены особенности конструкции манипулятора, выбор сервомоторов MG996R и SG90, 3D-модель деталей и проектирование системы видеонаблюдения на ESP32-CAM.

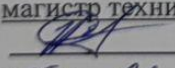
В третьем разделе проведены расчёты точности, крутящего момента, анализ перегрева и оценка позиционирования, основанная на прямой и обратной кинематике.

В четвёртой части описано управление манипулятором с помощью Arduino Mega, реализация видеопотока и возможности расширения функционала.

Дипломный проект студента Әділбека Дінмұхамеда Данабекұлы выполнен на высоком уровне и полностью отвечает поставленным задачам. Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «отлично» (95).

Научный руководитель

магистр техник и технологии, преподаватель

 Игембай Е.А.

«05» 06 2025 г.

Отчет подобия

Метаданные

Название организации
Satbayev University

Название
Разработка исполнительной части роботизированной системы для микрохирургических операции

Автор
Научный руководитель / Эксперт
Әділбек Дінмұхамед ДанабекұлыЕрболат Игембай

Подразделение
ИАИИТ

Объем найденных подоби

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		22
Интервалы		0
Микропробелы		22
Белые знаки		1
Парафразы (SmartMarks)		2

Подобия по списку источников

Ниче представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать соержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз			Цвет текста
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics_Kinematics_and_Dynamics/Serial_Manipulator_Differential_Kinematics	14	0.26 %
2	https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics_Kinematics_and_Dynamics/Serial_Manipulator_Differential_Kinematics	13	0.24 %
3	https://en.wikipedia.org/wiki/Generalized_coordinates	7	0.13 %

4	https://en.wikipedia.org/wiki/Generalized_coordinates	6 0.11 %
5	https://en.wikipedia.org/wiki/Generalized_coordinates	5 0.09 %
из базы данных RefBooks (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из домашней базы данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из программы обмена базами данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из интернета (0.83 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics_Kinematics_and_Dynamics/Serial_Manipulator_Differential_Kinematics	27 (2) 0.50 %
2	https://en.wikipedia.org/wiki/Generalized_coordinates	18 (3) 0.33 %
Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)