

АНДАТПА

8D07101 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығы бойынша
«философия докторы» (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін диссертациясы

НАЗЕНОВА ГАУХАР МЫРЗАБЕКҚЫЗЫ

«МЕДИЦИНАЛЫҚ ЖАБЫНДАРДЫ АДДИТИВТІ ӨНДІРУ ҮШІН РОБОТ-МАНИПУЛЯТОРДЫ АДАПТИВТІ БАСҚАРУ ТӘСІЛДЕРІН ҚОЛДАНУ»

Бұл зерттеудің негізгі идеясы: Диссертациялық жұмыс медициналық жабындарды аддитивті өндіру міндеттері үшін робот-манипуляторды бейімделгіш басқару алгоритмдерін синтездеуге арналған. Зерттеу роботтың жұмыс құралының (плазмотронның) берілген 3D-траектория бойынша қозғалысының дәлдігі мен жылдамдығын арттыруға бағытталған, бұл қаптаманың біркелкілігі мен сапасын қамтамасыз етудің негізгі шарты болып табылады.

Жұмыста ұсынылған және негізделген:

- есептелген моменттер әдісіне негізделген күштік басқаруы бар тізбекті манипуляторды бейімделгіш басқару әдісі;
- траекторияны басқару үшін жүйенің динамикасы мен бұзылыстарын өтейтін инверсиялық динамика әдісін қолдану;
- үшбұрышты торлармен берілген беттердің 3D-моделі бойынша векторлық өрістерді құруға негізделген робот-манипулятор қозғалыс траекториясын автоматты түрде генерациялау әдісі.

Дамытылған әдістер математикалық модельдеу арқылы да, сондай-ақ жабындарды микроплазмалық бүркудің роботтандырылған учаскесінде жүргізілген натуралық эксперименттер арқылы да тексерілді. Алынған нәтижелер дәстүрлі шешімдермен салыстырғанда басқару дәлдігі мен бұзылыстарға төзімділіктің жақсарғанын көрсетті.

Түйін сөздер: тізбекті робот-манипулятор, бейімделгіш басқару, инверсиялық динамика, траекторияны басқару, аддитивті өндіріс, микроплазмалық бүрку жабындары.

Өзектілігі. Қазіргі уақытта робототехникалық жүйелердің дамуы жағдайында аддитивті өндірістің технологиялық процестерін, атап айтқанда медициналық импланттарға жабындарды жағуды автоматтандыруға ерекше көңіл бөлінуде. Орындаушы құрылғылар ретінде робот-манипуляторларды пайдалану алдын ала құрылған 3D-модель бойынша күрделі беттерді жоғары дәлдікпен және қайталанушылықпен өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл медицина мен биоинженерияда сұранысқа ие берілген сипаттамалары бар функционалды жабындарды қабат-қабатымен қалыптастыруға жол ашады.

Сонымен қатар негізгі мәселе көпбуынды робот-манипулятордың қозғалысын басқару болып қалып отыр, ол құралдың күрделі беттер бойынша берілген траекторияны тез әрі дәл қадағалауын қамтамасыз етуі тиіс.

Өндірістік контроллерлерде қолданылатын басқару алгоритмдері, әдетте, жеке буындардың орны бойынша пропорционалды-дифференциалды немесе сызықтық реттегіштермен шектелген, бұл жоғары жылдамдықпен жұмыс істегенде тиімділікті төмендетеді және жүйенің динамикасы мен сыртқы әсерлерді ескермейді. Қазіргі өндіріс траекторияны буындар бойынша алдын ала бөлшектемей-ақ құруға және бейсызық әсерлерді өтеуге мүмкіндік беретін анағұрлым икемді және бейімделгіш басқару әдістерін талап етеді.

Диссертациялық жұмыста инверсиялық динамика мен есептелген моменттер әдісін қолдануға негізделген жаңа бейімделгіш басқару әдістері, сондай-ақ объектінің 3D-сканерлеу деректері бойынша құралдың қозғалыс траекториясын автоматты түрде генерациялау әдісі ұсынылған. Бұл тәсілдер құрал қозғалысының дәлдігі мен жылдамдығын, сондай-ақ жабындарды жағу процесінің жалпы өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің мемлекеттік бюджет (гранттық) қаржыландыру жобасы аясында орындалды: № AP19679327 «Мобильді роботтарды автоматты басқару және инерциялық навигация міндеттеріндегі машиналық оқыту әдістері», «Ақпараттық, коммуникациялық және ғарыштық технологиялар» басымдығы, «Интеллектуалды робототехникалық жүйелер» ішінара басымдығы.

Зерттеу объектісі - бағдарламаланатын басқару контроллері бар робот-манипулятор және робот жүзеге асыратын медициналық жабындарды аддитивті өндірудің технологиялық процесі.

Зерттеу пәні – медициналық жабындарды бүрку операциясын орындайтын көпбуынды робот-манипулятордың жұмыс құралының қозғалысын бақылау міндеттеріне бейімделгіш басқару әдістерін қолдану.

Зерттеу мақсаты – медициналық жабындарды аддитивті өндіру процесінде робот-манипулятордың жұмыс құралының берілген траектория бойынша жеткілікті жоғары жылдамдықпен және дәлдікпен қозғалуын қамтамасыз ететін бейімделгіш басқару алгоритмдерін әзірлеу.

Зерттеу міндеттері:

1. Манипуляторлардың траекториялық басқару жүйелерін құрудың қазіргі заманауи тәсілдерін зерттеу. Ең тиімді траекториялық басқару әдістерін олардың робастылығын арттыру немесе олардың негізінде бейімделгіш әдістерді құру мүмкіндігін қарастыру.

2. Робот-манипуляторларды басқару объектілері ретінде олардың ерекшеліктерін талдау және басқару мен траекторияны қадағалау сапасына әсер ететін белгісіздік факторларын анықтау.

3. Объектінің динамикасы мен сыртқы әсерлерді өтеу әдісіне негізделген, бұзылыстарға төзімді манипулятордың траекториялық басқаруының бейімделгіш алгоритмін синтездеу.

4. Манипуляторларды бейімделгіш басқарудың ең тиімді деп танылған әдістерінің жұмыс сипаттамаларын компьютерлік модельдеу арқылы эксперименттік зерттеу. Бұл әдістердің практикалық қолданбаларда

туындайтын бұзылыстар мен белгісіздік факторларына төзімділік дәрежесін анықтау.

5. Медициналық жабындарды аддитивті жағуға қолданылатын манипулятордың траекториясын жоспарлау міндеттерін тұжырымдау. Беткейдің 3D моделіне және жабынды жағу процесінің берілген параметрлеріне сәйкес манипулятор траекториясын автоматты түрде генерациялау міндетін талдау.

6. Медициналық жабындарды жағудың роботтандырылған жүйесінде қолдану үшін робот-манипулятордың жұмыс құралының траекториясын автоматты түрде генерациялау алгоритмін әзірлеу.

7. Ұсынылған тәсілдің тиімділігін зерттеу үшін модельдеу және эксперименттік зерттеулер жүргізу.

Негізгі зерттеу әдістері: автоматты басқару теориясының әдістері, математикалық компьютерлік модельдеу әдістері, оның ішінде симуляциялық тәсіл – өтпелі процестердің сапасын анықтау үшін әзірленген алгоритмдерді симулятор бағдарламаларында сынақтан өткізу, натуралды эксперимент – жаңа алгоритмдерді плазмалық бет өңдеудің тәжірибелік роботтандырылған технологиялық учаскесінде апробациялау.

Қорғауға ұсынылған ғылыми ережелер:

1. Есептелген моменттер әдісіне негізделген күштік басқаруы бар тізбекті манипуляторды бейімделгіш басқару әдісі.

2. Тізбекті манипулятордың траекториясын басқару міндетіне объектінің динамикасы мен бұзылыстарын өтеу әдісі (инверсиялық динамика әдісі) қолданылуы.

3. Жабындарды аддитивті өндіру міндеттері үшін робот-манипулятордың траекториясын автоматты түрде генерациялау әдісі, ол үшбұрышты торлармен берілген беттерде векторлық өрістерді құрудың жаңа сандық әдісіне негізделген.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы мынада:

Алғаш рет күштік басқаруы бар тізбекті манипуляторлардың траекториялық басқару әдісі, инверсиялық динамика әдісі ретінде белгілі, ерекше сыныптағы жазық жүйелердің траекториялық басқару әдісі ретінде қарастырылды және әртүрлі манипулятор түрлерін қамтитын кең сыныптағы сызықтық емес басқару объектілеріне есептелген моменттер әдісін жалпылау болып табылатын жазық жүйелердің жалпы бейімделгіш траекториялық басқару әдісі ұсынылды. Жұмыста алғаш рет классикалық немесе жалпыланған есептелген моменттер әдісін іске асыратын траекториялық басқару сұлбасына кіретін сызықтық реттегіш қанағаттандыруы тиіс бұзылыстарға тұрақтылық критерийі құрастырылды.

Алғаш рет объектінің динамикасы мен бұзылыстарын өтеу әдісі екібуынды жазық тізбекті манипуляторды басқаруда қолданылды, Лагранж теңдеулерін күй теңдеулері түрінде, параметрлері күйге тәуелді (SDC-модель) пайдалана отырып екібуынды манипулятордың математикалық моделі жасалды және жазық кірісі бар сызықтық емес көпарналы объект – тізбекті

манипуляторды басқаруға қатысты инверсиялық модельдеу әдістерінің бейімделгіш табиғаты негізделді.

Өңделетін беттің 3D моделіне сүйене отырып, беттерге аддитивті жабындар жағу үшін робот-манипулятордың траекториясын автоматты түрде генерациялау әдісі жасалды. Алғаш рет өңделетін беттің моделін бейнелейтін үшбұрышты торда берілген қасиеттері бар векторлық өрістерді құрудың жаңа әдісі ұсынылды және осы әдісті манипулятордың жұмыс құралының жабынды жағу траекториясын автоматты түрде генерациялау рәсіміне қолдану жүзеге асырылды.

Басылымдар. Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша барлығы 12 жұмыс жарияланды, олардың ішінде: 4-Комитет ұсынған басылымдарда; 4-Scopus дерекқорында индекстелетін және CiteScore пайызыліне ие (немесе) Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics ақпараттық компаниясының деректерінде индекстелетін және (немесе) импакт-факторы бар халықаралық рецензияланатын журналдарда; 4-халықаралық конференциялар еңбектерінде және 1 пайдалы модельге патент.

Әрбір жарияланымды дайындауға қосқан үлес зерттеу тақырыбы бойынша ашық әдеби дереккөздер мәліметтерін талдауға, модельдерді әзірлеу мен апробациялауға, эксперименттік нәтижелерді алу мен сипаттауға, қорытындыларды дайындау мен талқылауға, сондай-ақ семинарлар мен конференцияларда ғылыми нәтижелерді ұсыну мен талқылауға бағытталды.

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 6-ти международных конференциях:

1) ACDSA International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications, 8 тамыз 2025 ж., Анталья қ., Түркия (онлайн);

2) 18th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, Венгрия ғылым фестивалі 2024 шенберінде Óbuda университеті ұйымдастырған, 14 қараша 2024 ж., Секешфехервар қ., Венгрия;

3) Халықаралық конференция «Engineering Education: Challenges, Trends, Best Practices (EE: CTBP)», 4 қазан 2024 ж., Өскемен қ., Қазақстан;

4) X Халықаралық ғылыми-техникалық конференция студенттер, магистранттар мен жас ғалымдарға арналған «Жастар шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына», Қаныш Сәтбаевтың 125 жылдығына арналған, 11–12 сәуір 2024 ж., Өскемен қ., Қазақстан;

5) Халықаралық конференция «Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education (CITech-2023)», 2 қазан 2023 ж., Өскемен қ., Қазақстан;

6) IX Халықаралық ғылыми-техникалық конференция студенттер, магистранттар мен жас ғалымдарға арналған «Жастар шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына», университеттің 65 жылдығына арналған, 13–14 сәуір 2023 ж., Өскемен қ., Қазақстан.

Диссертацияда, сондай-ақ зерттеу тақырыбы бойынша мақалаларда дәлелденген негізгі ғылыми нәтижелерге мыналар жатады:

1. Есептелген моменттер әдісіне негізделген күштік басқаруы бар тізбекті манипуляторды бейімделгіш басқару әдісі. Күштік басқаруы бар

тізбекті манипулятор басқарудың ерекше типтегі жазық жүйесі ретінде қарастырылады, оның шығысы тек қана жүйенің күй векторына тәуелді. Манипулятордың инверсиялық динамика әдісі ретінде белгілі есептелген моменттер әдісі осы жазық жүйенің жалпы траекториялық басқару әдісінің жекелеген жағдайы ретінде қарастырылады.

2. Тізбекті манипулятордың траекториясын басқару міндетінде инверсиялық динамика әдісін (объектінің динамикасы мен бұзылыстарын өтеу әдісін) қолдану.

3. Жабындарды аддитивті өндіру міндеттерінде робот-манипулятордың траекториясын автоматты түрде генерациялау әдісі. Бұл әдіс үшбұрышты торлар түрінде берілген беттерде векторлық өрістерді құрудың жаңа сандық әдісіне негізделген.

Диссертацияның практикалық маңызы бар: зерттеу нәтижелері Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Автоматтандыру және басқару» білім беру бағдарламасының оқу процесіне енгізілді, сондай-ақ «Оңтайлы басқару теориясының негіздері» пәнін оқытуда қолданылады (ғылыми-зерттеу жұмысының оқу процесіне енгізілгені туралы 05.02.2025 ж. акт).

Практикаға енгізу үшін ұсынылады: Қазақстан Республикасы № 8714 патенті, 15.12.2023 ж., пайдалы модельге – «Титан қоспаларынан жасалған импланттарға көпқабатты жабындарды бүрку тәсілі» (өтінім № 2023/0995.2, 05.10.2023 ж.), авторлары: Алонцева Д.Л., Прохоренкова Н.В., Красавин А.Л., Назенова Г.М.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, 5 бөлімнен, қорытындыдан, 163 атаудан құралған пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертация компьютерлік мәтіннің 142 бетінде баяндалған, 51 сурет, 1 кесте және 2 қосымшаны қамтиды.