

6D070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертацияға

АНДАТПА

КАДЫРОЛДИНА АЛЬБИНА ТАЛАПЖАНОВНА

КҮРДЕЛІ ФОРМАЛЫ БҰЙЫМДЫ ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН ЗИЯТКЕРЛІК РОБОТ ЖҮЙЕСІ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы: диссертациялық жұмыс 3D сканерлеуді және плазмалық кесуді немесе беттік өндеуді (жабындарды бүрку) дәйекті орындайтын, робот манипулятордың қолына бекітілген құралмен өндірістік робот-манипуляторды басқару жүйесін автоматтандыруға арналған. Сонымен қатар робота-манипулятор қолының қозғалыс траекториясын жоспарлау және бағдарламасын құру алдын ала сканерленген мәліметтер негізінде жүзеге асырылады. Осылайша, плазмалық кесу және бүрку операцияларын орындау кезінде, робот манипуляторының жұмыс құралының қозғалысы интеллектуалды басқару арқылы жүзеге асырылады, себебі манипулятордың бағдарламаланған траекториясы алдын-ала белгіленбейді, бірақ ол сыртқы ортаның ағымдағы күйі туралы ақпарат негізінде роботтарды басқару жүйесі арқылы қалыптастырады, яғни өңделген беттің сканерлеу нәтижелері негізінде құрастырылған 3D моделі бойынша.

Түйінді сөздер: өндірістік робот-манипулятор, түйіспесіз қашықтық датчиктері, 3D сканерлеу, сегменттеу, траекторияны автоматты жоспарлау, робота-манипулятор бағдарламасын құру, бетті плазмалық бүрку.

Өзектілігі. Заманауи робот–манипуляторды ерікті құралдардың кеңістіктің орналасуын дәл орнатуға және бағыттылығын, және оны берілген траектория бойынша басқарылатын кинематикалық параметрлермен жылжытуға мүмкіндік беретін құрал ретінде қарастыруға болады. Қазіргі уақытта өндірістік роботтар - манипуляторларды қолдану саласы тұрақты түрде кеңеюде, оның ішінде манипуляторлар автоматты орау желілерінде, құрастыру жүйелерінде, бояудың автоматтандырылған процестері үшін, плазмалық кесуді немесе жабындыларды плазмалық бүрку процестерін автоматтандыру үшін де қолданылады. Осыған байланысты робот-манипуляторлардың жүру траекториясын бақылау мен жоспарлауға байланысты міндеттер айтарлықтай тәуелсіз практикалық және теориялық сипатта қызығушылық тудырады, және осы міндеттермен ынталандырылған өндірістік автоматика жабдықтарын шығаруға мамандандырылған, компаниялардың зерттеу бөлімшелерімен де зерттеулер жүзеге асырылуды, сонымен қатар академиялық орта өкілдерімен де. Қазіргі уақытта автомобиль және машина жасау саласында роботты манипуляторларды қолдану ауқымды өндіріспен ғана шектеледі, өйткені өнімнің жаңа түріне ауысудың әрқайсысы модель бойынша жасалған кезде роботқа сәйкес келуге қол жеткізу үшін

күрделі калибрлеу процедураларын қажет етеді. Сондықтан көрсетілген өнім моделіне АЖЖ (автоматты жобалау жүйесі) көмегімен берілген робот-манипулятордың бағдарламалық кодын автоматты түрде құру проблемасы бұл ғалымдар мен роботтандырылған жүйелерді жасаушылардың назарында. Мұндай тапсырманы іс жүзінде іске асыру робот-манипулятор көмегімен, ұсақ және дана тауарларды үнемді түрде өндіруге немесе өңдеуге мүмкіндік береді. Зерттеу «Ақпараттық, телекоммуникациялық және ғарыштық технологиялар, жаратылыстану ғылымдары саласындағы ғылыми зерттеулер» басымдығына сәйкес, 2018-2020 жылдарға арналған №AP05130525 «Күрделі формалы үлкен көлемді бұйымды плазмалық өңдеу мен кесуге арналған интеллектуалды робот жүйесі» жоба шеңберінде ҚР БҰҒМ Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыруымен жүзеге асырылды.

Бұл зерттеудің негізгі идеясы - робот кесетін немесе плазмамен өңдейтін өнімнің берілген моделі робот қолының 3D траекториясы бойынша қозғалуын жүзеге асыруға мүмкіндік беретін өндірістік робот манипуляторды басқарудың интеллектуалды автоматтандырылған басқару жүйесін жасаудан тұрады. Ұсынылып отырған жүйенің айрықша ерекшелігі - дайындаманың бетін немесе өңделетін бұйымды алдын-ала 3D сканерлеу жүргізіп, робот-манипулятордың бағдарламалық кодын автоматты түрде генерациялау, роботтың қолына орнатылған қашықтық датчиктері арқылы бұрын өңделген объектіні 3D сканерлеу деректерін ескере отырып, геометриялық параметрлері әр түрлі диапазонда өзгеретін дайындамаларды қолдануға және геометриялық параметрлері төмен дәлдікпен анықталатын үлкен өлшемді бұйымдарды немесе берілген пішіннен ауытқуы бар өнімдерді өңдеуге мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың зерттеу объектісі - өндірістік робот-манипуляторды басқарудың интеллектуалды жүйесі болып табылады.

Зерттеудің тақырыбы - роботтық 3D сканерлеу жүйесінің сұлбасын құрастыру арқылы өндірістік робот-манипуляторды басқару жүйесін автоматтандыру, содан кейін сканерлеу деректері негізінде робот манипулятор қолының қозғалу бағдарламасын құру және траекторияны жоспарлау.

Зерттеудің мақсаты: өнімнің берілген 3D моделі бойынша күрделі пішіндегі бөлшектерді плазмалық кесуге және / немесе олардың бетін плазмамен өңдеуге мүмкіндік беретін өндірістік робот-манипуляторды басқарудың интеллектуалды автоматтандырылған жүйесін құру, сонымен қатар өңделген бетті алдын ала 3D сканерлеу және өнімнің 3D моделіне сәйкес қозғалыс бағдарламасын құру сол робот-манипуляторды арқылы жүзеге асырылады.

Зерттеудің міндеттері:

- 1) роботты манипуляторға орнатылған лазерлік триангуляция қашықтық датчигі бар, 3D сканерлеу жүйесінің сұлбасын құрастыру және беттің аналитикалық моделін құра отырып, бетті сегментациялау процедурасының алгоритмін әзірлеу;

2) робот манипуляторының жұмыс құралының траекториясын құрудың алгоритмін және робот операторымен интерактивті өзара әрекеттесуге арналған бағдарламалық жасақтама әзірлеу;

3) қалыптасқан траектория бойымен оның қозғалуы үшін робот-манипулятор бағдарламасын құру;

4) әзірленген интеллектуалды жүйені пайдалана отырып өңделген өнеркәсіптік бұйымға өндірістік сынақ жүргізу.

Зерттеудің негізгі әдістері: автоматты басқару теориясының әдістері, математикалық компьютерлік модельдеу, жаратынды эксперимент: модельдік объектілерде сканерлеу техникасын сынау және жасалған траектория бойымен робот қолының қимылымен роботты плазмалық бетті өңдеуді жүзеге асыру өнеркәсіптік бұйымға өндірістік сынақ жүргізу.

Қорғауға ұсынылған ғылыми ұстанымдар:

1) роботтандырылған қолға орнатылған лазерлік триангуляция арақашықтық датчигі бар 3D сканерлеу жүйесінің сұлбасы және аналитикалық беттік модель құра отырып сегментация алгоритмі;

2) траекторияны автоматты түрде жоспарлау және робот-манипулятордың жоспарланған траектория бойымен қозғалу бағдарламасын құру.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы- бірінші рет:

- робота-манипулятор қолына орнатылған лазерлік триангуляциялық қашықтық датчигі арқылы сканерлеудің 3D сұлбасы жасалған. Сұлба қашықтық датчигі орнатылған Kawasaki өндірістік робота-манипулятордан, робота-манипулятор контроллерінен, робота-манипулятор контроллеріне қосылған дербес компьютер және RS232 сериялық интерфейсі арқылы қашықтық датчигінен тұрады. Kawasaki робот-манипулятор жұмыс құралын жоғары дәлдікте орналастыруға мүмкіндік береді, осының арқасында бұл сұлба қол жетімді сипаттамаларға жоғары ажыратымдылықпен және дәлдікпен салыстырмалы түрде арзан сканерлеу жүйесін енгізуге мүмкіндік береді;

- беттің аналитикалық моделін құра отырып, бетті сегментациялау процедурасының өзіндік алгоритмі әзірленді. Алгоритм жергілікті параметрлік модельді қолдануға және жергілікті беткейлердің кейінгі тіркесіміне негізделген, біртектес геометриялық құрылымға ие, бұл беттің геометриялық құрылымы туралы априорлық болжамдарсыз күрделі құрылымы бар беттің аналитикалық 3D моделін құруға мүмкіндік береді;

- роботты манипуляторды басқару алгоритмін жасалды, онда робот-манипулятордың автоматты траекториясын жоспарлау және қозғалыс бағдарламасын құру робот өңдейтін өнімнің беті 3D сканерлеу деректері бойынша жүзеге асырылады. Траекторияны жоспарлау алгоритмі траекторияның бастапқы сегментін, диссертацияда сипатталған өлшемшарттарға сәйкес таңдалған бағыт, беттегі геодезиялық сызық ретінде таңдауға негізделген. Роботтың оған бекітілген жұмыс құралының, қозғалысын бағдарламасының келесі генерациясымен автоматты

траекторияны жоспарлау, плазмалық жабынның (немесе плазмалық кесу) қалыңдығының бүкіл бетіне біркелкілігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың ғылыми және практикалық маңызы. Бұл жұмыста алынған теориялық және эксперименттік нәтижелердің үйлесуі плазмалық кесу мен күрделі пішінді ірі өлшемді өнімдерді өңдеудің роботтандырылған технологиясының ғылыми негіздерін жасауға мүмкіндік берді. Компьютерлік бағдарлама тіркелді, бұл 3D сканерлеу процесін жүргізу кезінде адамның робот операторымен интерактивті өзара әрекеттесуді жүзеге асыруға, сондай-ақ сканерлеу нәтижесінде алынған кескіндерді тануға және талдауға мүмкіндік береді. Жаңа технологияны қолдана отырып өңделген өнеркәсіптік өнімге өндірістік сынақ жүргізілді, ол плазмалық жабындысымен жақтаулы ұсатқыш тақтаның тозған беттінің қызмет ету мерзімінің ұлғаюын растады. Диссертацияда жасалған басқарудың, сегменттеудің жаңа алгоритмдері, және сканерлеудің роботтандырылған құрастырылған сұлбасы автоматтандыру мен басқару саласындағы, әсіресе робот-манипуляторларды интеллектуалды басқару саласындағы зерттеушілердің кең ауқымын қызықтырады. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бұйымдарды плазмалық кесу және өңдеу технологиясын оңтайландыру үшін пайдалануға болады. Өңделетін бұйымның тұтынымдылық сипаттамасын жақсарту және күрделі формадағы бөлшектерге немесе бұйымдарға жабындарды роботпен плазмалық бүрку өндірісін, сонымен қатар ірі көлемді ұсақ сериялы өндіріс және дана бұйымдарды плазмалық кесуді экономикалық жағынан тиімді ету.

Жұмыс апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 5 халықаралық конференцияда баяндалды және талқыланды:

1. 12th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, қараша 2017ж., Секешфехервар қ., Венгрия;
2. 14th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, қараша 2019 ж., Секешфехервар қ., Венгрия;
3. «Жастар шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына» студенттерің, магистранттардың және жас ғалымдардың IV Халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы, 12 -13 сәуір 2018 ж., Өскемен қ., Қазақстан;
4. «Ғылымдағы, техникадағы және білім берудегі есептеу және ақпараттық технологиялар» Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция, 25 -28 қыркүйек 2018 ж., Өскемен қ., Қазақстан;
5. «Global Science And Innovations 2018: Central Asia», 2018 қ. Астана, Қазақстан.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша 16 мақала жарияланды, оның ішінде:

4 мақала БҒСҚК ұсынған журналдарда

- 1) Алонцева Д.Л., Русакова А.В., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В., Кадыролдина А.Т. Разработка технологии микроплазменного нанесения биосовместимых покрытий для изготовления медицинской продукции // Серікбаев атындағы ШҚМТУ Хабаршысы, №3 (77), 2017. – Б.65-71.

2) Алонцева Д.Л., Красавин А.Л., Шадрин Г.К., Кадыроldина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т. Разработка системы управления промышленным роботом-манипулятором для трехмерного сканирования поверхностей // Серікбаев атындағы ШҚМТУ Хабаршысы, № 1, 2019. - Б. 81-87.

3) Кадыроldина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В. Күрделі формадағы бұйымдарға плазмалық өңдеуді жүргізетін робот-манипулятор үшін ақпараттық жүйені әзірлеу// Д.Серікбаев атындағы ШҚМТУ Хабаршысы, №3 (89), 2020. – Б.95-98.

4) Красавин А.Л., Алонцева Д. Л., Кадыроldина А.Т. Программа выделения лазерных полос на цифровых изображениях объектов 3D сканирования // ЭЕМ арналған бағдарламасы үшін авторлық құқық объектілері бойынша мемлекеттік тізілімге мәліметтерді енгізу туралы куәлік 17 қазан 2019 жылғы № 5870;

7 - Scopus мәліметтер базасында индекстелген және CiteScore процентиліне ие және (немесе) Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics мәліметтерінде индекстелген және (немесе) нөлдік емес импакт-факторы бар халықаралық сараптамалық журналдарда.

5) Shadrin G. K., Alontseva D. L., Kussaiyn-Murat A. T., Kadyroldina A. T., Ospanov O.B., Haidegger T. Application of Compensation Algorithms to Control the Movement of a Robot Manipulator// Acta Polytechnica Hungarica Vol. 17, No. 1, 2020, P. 191-214. DOI: 10.12700/APH.17.1.2020.1.1 Импакт-фактор 2018: 1,51 (Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics), CiteScore 2020 Scopus 75% (General Engineering) <https://www.scopus.com/sourceid/19700173166>

6) Alontseva D., Ghassemieh E., Voinarovych S., Kyslytsia O., Polovetskyi Y., Prokhorenkova N., Kadyroldina A. Manufacturing and characterisation of robot assisted microplasma multilayer coating of titanium implants: Biocompatible coatings for medical implants with improved density and crystallinity// Johnson Matthey Technology Review, Vol. 64, No 2, 2020. -P. 180-191. DOI: <https://doi.org/10.1595/205651320X15737283268284> Импакт-фактор 2018: 1,296 (Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics). CiteScore 2020 Scopus 80% (Materials Science: Metals and Alloys) <https://www.scopus.com/sourceid/21100443320>

7) Alontseva D. L., Ghassemieh E., Krasavin A. L., Shadrin G. K., Kussaiyn-Murat A. T., Kadyroldina A. T. Development of Control System for Robotic Surface Tracking//International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 9, No. 2, February 2020. – P. 280-286. doi: 10.18178/ijmerr.9.2.280-28. CiteScore2020 Scopus 26% (Mechanical Engineering) <https://www.scopus.com/sourceid/21100788860>

8) Alontseva D. L., Ghassemieh E., Krasavin A. L., Kadyroldina A. T. Development of 3D Scanning System for Robotic Plasma Processing of Medical Products with Complex Geometries // Journal of Electronic Science and Technology. – 2020. – vol. 18(3). – pp. 212-222. doi: 10.1016/j.jnlest.2020.100057, CiteScore 11% (Engineering), <https://www.scopus.com/sourceid/21100432792?origin=recordpage>

9) Alontseva, D., Borisov Y., Voinarovych S., Kyslytsia O., Kolesnikova T., Prokhorenkova N., Kadyroldina A. Development of technology of microplasma spraying for the application of biocompatible coatings in the manufacture of medical implants// Przegląd Elektrotechniczny, Vol 94, No 7, 2018. -P.94-97 doi:10.15199/48.2018.07.23. CiteScore 21% (Electrical and Electronic Engineering), <https://www.scopus.com/sourceid/18700>

10) Darya L. Alontseva, Alexander L. Krasavin, Alyona V. Russakova, and Albina T. Kadyroldina Automation of Industrial Sites with Mechatronic Systems //International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications, Vol. 7, No. 4, pp. 146-151, October 2018. DOI: 10.18178/ijeetc.7.4.146-151 CiteScore 11% (Engineering), <https://www.scopus.com/sourceid/21100838789>

11) Alontseva D., Krasavin A., Kadyroldina A., Kussaiyn-Murat A. Segmentation Algorithm for Surface Reconstruction According to Data Provided by Laser-Based Scan Point // Communications in Computer and Information Science, vol 998, 2019. – pp. 1-10. CiteScore 31 % (General Mathematics), <https://www.scopus.com/sourceid/17700155007>

5 - халықаралық конференциялардың материалдарында

12) Alontseva D.L., Krasavin A.L., Kadyroldina A.T., Kussaiyn-Murat A.T., Nurekenov D. M., Zhanuzakov Ye.T., Prokhorenkova N.V. Development of the microplasma spraying technology for applying biocompatible coatings// Proceedings of 12th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas (AIS 2017), Székesfehérvár, Hungary, 2017. –P.45-48.

13) Kadyroldina A.T., Kussaiyn-Murat A., Beszedes B., Alontseva D., Krasavin A. Image Acquisition and Processing on Raspberry Pi in Matlab for 3D-Scanning. Proceedings of 14th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas organized in the frame of Hungarian Science Festival 2019 by Óbuda University. Székesfehérvár, Hungary, November 14, 2019.- P.39-42.

14) Кадыролдина А.Т., Алонцева Д.Л. Интеллектуалды робототехникалық плазманы өңдеу және күрделі формалы ірі көлемдегі өнімдерін кесу үшін 3D-сканерлеу жүйесі. Global science and innovations 2018: Central Asia» III Халықар. ғыл.-тәж. конф. Материалдары. - Астана, 2018. - Том I. –Б.341-344.

15) Алонцева Д.Л., Красавин А.Л., Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т. Разработка системы 3D-сканирования для интеллектуальной роботизированной системы плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы // «Ғылымдағы, техникадағы және білім берудегі есептеу және ақпараттық технологиялар» Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция, 2018 ж. - Өскемен қ. - Том 1. - Бөлім 1. – Б. 7-19.

16) Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Алонцева Д.Л. Күрделі формалы медициналық импланттарды микроплазмалық өндеуге арналған зияткерлік робот жүйесі. «Ғылымдағы, техникадағы және білім берудегі есептеу және ақпараттық технологиялар» Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция, 25 -28 қыркүйек 2018 ж., Өскемен қ. - Бөлім IV. - Б.137-142.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан, 99 пайдаланылған дерек көздерінің тізімінен, диссертация компьютерлік мәтінмен 89 парақта баяндалған, 39 суреттерден, 3 кестелерден және 2 қосымшалардан тұрады.

Диссертацияның бірінші бөлімінде 3D сканерлеудің заманауи әдістері мен жабдықтары қарастырылып, плазмалық бүрку мен кесудің негізгі технологиялық процестері автоматтандыру тұрғысынан талданады. Өңделетін бетті алдын ала сканерлеуді қолдана отырып, плазмалық кесу және бетті өңдеуге арналған интеллектуалды роботтандырылған жүйені құрудың өзектілігі дәлелденді, сканерлеу үшін жақындық датчигінің түрі таңдалады, күрделі пішінді бұйымдарды сканерлеу кезінде 3D беттік моделін қайта құрудың сегменттеу процедурасын әзірлеу қажеттілігін негізделді, мақсат қойылып, диссертациялық зерттеудің міндеттері көрсетілген, қорғауға арналған ұстанымдар тұжырымдалған.

Диссертацияның екінші бөлімінде таңдау негізделген және негізгі жабдықтар мен зерттеу әдістері сипатталған. Плазма көзін жазықтықта алдын-ала анықталған күрделі траекториялар бойымен жылжыту және объектілерді 3D сканерлеуді жүзеге асыру үшін робот-манипуляторды басқаруда қолданылатын алгоритмдер қысқаша сипатталған. Сканерленген кескіндерді танудың жаңа алгоритмі және робот операторымен интерактивті өзара әрекеттесу үшін оны жүзеге асыратын компьютерлік бағдарлама сипатталған, бұл операторға 3D сканерлеу процесінде орнатуға, тексеруге, және 3D сканерлеу деректерін автоматты түрде өңдеу процесінде одан әрі пайдалану үшін тану процесінің параметрлерін сақтауға мүмкіндік береді.

Диссертацияның үшінші бөлімінде роботты қолға орнатылған лазерлік триангуляция қашықтығы датчигі бар 3D сканерлеу жүйесінің сұлбасы келтірілген, беттің аналитикалық моделін құра отырып сегментация алгоритмі сипатталған, және қорғауға ұсынылған бірінші ұстанымды растайтын, құрастырылған сұлба мен алгоритмді (бет пішінін қалпына келтіруге арналған тестілік мәліметтер) апробациялау нәтижелері келтірілген.

Диссертацияның төртінші бөлімі жұмыс құралының траекториясын автоматты түрде жоспарлау және жоспарланған траектория бойынша робот-манипулятордың қозғалу бағдарламасын құру бойынша зерттеу нәтижелерін сипатталған, қорғауға ұсынылған екінші ұстанымды растайды. Теориялық негіздеме ұсынылған, басқарудың алгоритмдері және эксперименталды робототехникалық өндіріс орнында технологиялық шешімдерді әзірлеуде басқарудың алгоритмдерін тәжірибеде қолдану нәтижелері сипатталған, жаңа технологияны қолдана отырып өңделген өнімді өндірістік сынақтардың нәтижелері келтірілген.

Диссертацияның қорытынды бөлімдерінде диссертациялық зерттеудің қорытындысы мен негізгі нәтижелері тізімі келтірілген, зерттеу жұмыстарының ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы келтірілген.