

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD) по специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление»

КАДЫРОЛДИНА АЛЬБИНА ТАЛАПЖАНОВНА

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Общая характеристика работы: диссертационная работа посвящена автоматизации системы управления промышленным роботом-манипулятором с закрепленным на его руке инструментом, выполняющим последовательно операции 3D-сканирования и плазменной резки или обработки поверхности (напыление покрытий), при этом планирование траектории и генерация программы движения руки робота-манипулятора выполняется на основе данных сканирования. Таким образом, реализуется интеллектуальное управление движением рабочего инструмента робота-манипулятора при выполнении операций плазменной резки и напыления, так как программная траектория движения манипулятора не задается заранее, а формируется системой управления роботом на основе информации о текущем состоянии внешней среды, то есть по 3D-модели обрабатываемой поверхности, построенной по результатам сканирования.

Ключевые слова: промышленный робот-манипулятор, бесконтактные датчики расстояния, 3D-сканирование, сегментация, автоматическое планирование траектории, генерация программы робота-манипулятора, плазменное напыление покрытий

Актуальность. Современный робот – манипулятор можно рассматривать как средство, позволяющее прецизионно точно выставить пространственное положение и ориентацию произвольного инструмента и перемещать его с контролируемыми кинематическими параметрами по заданной траектории. В настоящее время область применения промышленных роботов - манипуляторов неуклонно расширяется, в том числе манипуляторы применяются в автоматических линиях упаковки, системах сборки, для автоматизированных процессов покраски, для автоматизации процессов плазменной резки или плазменного напыления покрытий. В связи с этим задачи, связанные с управлением и планированием траектории роботов-манипуляторов, представляют значительный самостоятельный интерес, как практического, так и теоретического характера, и стимулируемые этими задачами исследования проводятся как исследовательскими подразделениями компаний, специализирующихся на производстве средств автоматизации производства, так и представителями академической среды. В настоящее время применение роботов-манипуляторов в автомобиле- и машиностроении ограничивается

крупносерийным производством, потому что каждый переход на новый вид изделий требует проведения сложных калибровочных процедур, чтобы достичь соответствия с заложенной в робота при изготовлении моделью. Поэтому задача автоматической генерации кода программы робота-манипулятора по заданной средствами САПР (системы автоматического проектирования) модели изделия находится в центре внимания ученых и разработчиков роботизированных систем. Практическая реализация такой задачи могла бы позволить экономически эффективно производить или обрабатывать мелкосерийные и штучные изделия с использованием робота-манипулятора. Исследование выполнено по приоритету «Информационные, телекоммуникационные и космические технологии, научные исследования в области естественных наук», в рамках проекта с грантовым финансированием Комитета науки МОиН РК на 2018-2029 годы № AP05130525 «Интеллектуальная роботизированная система для плазменной обработки и резки крупногабаритных изделий сложной формы».

Основная идея данного исследования заключается в разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления промышленным роботом-манипулятором, позволяющей реализовать движение руки робота по заданной 3D-траектории - модели изделия, которое робот будет вырезать или обрабатывать плазмой. Отличительной чертой предлагаемой системы является проведение предварительного 3D-сканирования поверхности заготовки или обрабатываемого изделия с последующей автоматической генерацией кода программы робота-манипулятора, учитывающей данные 3D-сканирования объекта обработки, предварительно проведенного посредством датчиков расстояния, монтируемых на манипуляторе робота, что позволит использовать заготовки с варьирующимся в широком диапазоне геометрическими параметрами и обрабатывать крупногабаритные изделия, геометрические параметры которых определены с малой точностью или изделия с отклонениями от заданной формы.

Объектом исследования диссертационной работы является интеллектуальная система управления промышленным роботом-манипулятором.

Предметом исследования является автоматизация системы управления промышленным роботом-манипулятором путем разработки схемы роботизированной системы 3D-сканирования с последующим планированием траектории и генерацией программы движения руки робота-манипулятора на основе данных сканирования.

Цель исследования: разработка интеллектуальной автоматизированной системы управления промышленным роботом-манипулятором, позволяющей производить плазменную резку деталей сложной формы и/или обработку их поверхности плазмой по заданной 3D-модели изделия, при этом предварительное 3D-сканирование обрабатываемой поверхности и генерация программы движения по 3D-модели изделия осуществляется тем же роботом-манипулятором.

Задачи исследования:

- 1) разработать схему системы 3D-сканирования лазерным триангуляционным датчиком расстояния, укрепленным на роботе-манипуляторе и алгоритм процедуры сегментации поверхности с построением аналитической модели поверхности;
- 2) разработать алгоритм формирования траектории рабочего инструмента робота-манипулятора и программное обеспечение, предназначенное для интерактивного взаимодействия с оператором робота;
- 3) реализовать генерацию программы робота-манипулятора для его движения по сформированной траектории;
- 4) провести производственное испытание обработанного с использованием разработанной интеллектуальной системы промышленного изделия.

Основные методы исследования: методы теории автоматического управления, математическое компьютерное моделирование, натурный эксперимент: тестирование методики сканирования на модельных объектах и реализация роботизированной плазменной обработки поверхности с перемещением руки робота-манипулятора по сгенерированной траектории с последующим производственным испытанием промышленного изделия.

Научные положения, выносимые на защиту:

- 1) схема системы 3D-сканирования лазерным триангуляционным датчиком расстояния, укрепленным на роботе-манипуляторе и алгоритм сегментации с построением аналитической модели поверхности;
- 2) автоматическое планирование траектории и генерация программы движения робота – манипулятора по спланированной траектории.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

- разработана схема 3D-сканирования лазерным триангуляционным датчиком расстояния, укрепленным на роботе-манипуляторе. Схема включает промышленный робот-манипулятор Kawasaki с установленным на нем датчиком расстояния, контроллер робота-манипулятора, персональный компьютер, связанный с контроллером робота-манипулятора и датчиком расстояния через последовательный интерфейс RS232. Робот-манипулятор Kawasaki позволяет осуществлять высокоточное позирование рабочего инструмента, за счет чего данная схема позволяет реализовать относительно недорогую для достигнутых характеристик систему 3D-сканирования, обладающую высоким разрешением и точностью;
- разработан оригинальный алгоритм процедуры сегментации поверхности с построением аналитической модели поверхности. Алгоритм основан на применении локальной параметрической модели и последующего объединения локальных участков поверхности, обладающих однородной геометрической структурой, что позволяет без априорных предположений о геометрическом строении поверхности строить аналитическую 3D модель поверхности со сложным строением;
- разработан алгоритм управления роботом-манипулятором, при котором автоматическое планирование траектории и генерация программы

движения робота – манипулятора производится по данным 3D-сканирования поверхности обрабатываемого роботом изделия. Алгоритм планирования траектории основывается на выборе стартового сегмента траектории как геодезической линии на поверхности, направление которой выбирается согласно описанным в диссертации критериям. Автоматическое планирование траектории с последующей генерацией программы движения руки робота с закрепленным на ней рабочим инструментом позволяет обеспечить равномерность толщины плазменного покрытия (или плазменного среза) по всей поверхности.

Научная и практическая значимость работы. Совокупность полученных в работе теоретических и экспериментальных результатов позволила разработать научные основы роботизированной технологии плазменной резки и обработки крупногабаритных изделий сложной формы. Зарегистрирована программа для ЭВМ, позволяющая реализовать интерактивное взаимодействие с человеком - оператором робота во время выполнения процесса 3D-сканирования, а также распознавать и анализировать изображения, полученные в результате сканирования. Получен акт производственных испытаний обработанного по новой технологии промышленного изделия, где подтверждено увеличение срока службы плиты щековой дробилки с плазменным покрытием изношенной поверхности. Разработанные в диссертации новые алгоритмы управления, сегментации и схема роботизированного сканирования и представляют интерес для широкого круга исследователей в области автоматизации и управления, в частности, в области интеллектуального управления роботами-манипуляторами. Результаты диссертации могут быть использованы для оптимизации технологии плазменной резки и обработки изделий, чтобы улучшить эксплуатационные характеристики обрабатываемых изделий и экономически эффективно производить роботизированное плазменное напыление покрытий на детали или изделия сложной формы, а также плазменную резку крупногабаритных мелкосерийных и штучных изделий.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 5-ти международных конференциях:

- 1) 12th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, ноябрь 2017г., г. Секешфехервар, Венгрия;
- 2) 14th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas, ноябрь 2019 г., г. Секешфехервар, Венгрия;
- 3) IV Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и молодых ученых «Творчество молодых инновационному развитию Казахстана», 12 -13 апреля 2018 г., г. Усть-Каменогорск, Казахстан;
- 4) Международная конференция «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании» (CITech-2018), 25 -28 сентября 2018 г., г. Усть-Каменогорск, Казахстан;
- 5) Global Science And Innovations 2018: Central Asia», 2018 г. Астана, Казахстан.

Публикации. Всего теме диссертационной работы опубликовано 16 работ, из их:

4 -в изданиях, рекомендуемых Комитетом

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 // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, №3 (77), 2017. – С.65-71. Импакт-фактор журнала за 2017 год по Казахстанской базе цитирования (КазБЦ) 0.058.

2) Алонцева Д.Л., Красавин А.Л., Шадрин Г.К., Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т. Разработка системы управления промышленным роботом-манипулятором для трехмерного сканирования поверхностей //Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева, № 1, 2019. - С. 81-87.

3) Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Красавин А.Л., Прохоренкова Н.В. Күрделі формадағы бұйымдарға плазмалық өңдеуді жүргізетін робот-манипулятор үшін ақпараттық жүйені әзірлеу (Разработка информационной системы для робота – манипулятора, производящего плазменную обработку изделий сложной формы)// Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева, №3 (89), 2020. – С.95-98.

4) Красавин А.Л., Алонцева Д. Л., Кадыролдина А.Т. Программа выделения лазерных полос на цифровых изображениях объектов 3D сканирования // Свидетельство о государственной регистрации на объект авторского права программа для ЭВМ № 5870 от 17 октября 2019;

7 - в международных рецензируемых журналах, индексируемых в базе в Scopus и имеющих проценты по CiteScore и (или) индексируемых в данных информационной компании Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics и (или) имеющих ненулевой импакт-фактор

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 журнала за 2018 год: 1,51 (Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics), CiteScore 2020 в 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 журнала за 2018 год: 1,296 (Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics). CiteScore 2020 в 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 в 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, Индексируется 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. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12203-4_1. CiteScore 31 % (General Mathematics), <https://www.scopus.com/sourceid/17700155007>

5 - в трудах международных конференций

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. III Международная конференция «Global science and innovations 2018: Central Asia».– Астана, 2018. - Том I. – С.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. Совместный выпуск по материалам Международной конференции CITech-2018 журналов «Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева» и «Вычислительные технологии», Том 1, Часть 1, ВКГТУ им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск - ИВТ СО РАН Новосибирск, 2018. – С. 7-19.

16) Кадыролдина А.Т., Құсайын-Мұрат Ә.Т., Алонцева Д.Л. Күрделі формалы медициналық импланттарды микроплазмалық өндеуге арналған зияткерлік робот жүйесі. Материалы IV Международной НТК студентов, магистрантов и молодых ученых "Творчество молодых-инновационному развитию Казахстана", 12, 13 апреля 2018 г., Часть IV, ВКГТУ, Усть-Каменогорск, 2018. - С.137-142.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 4-х разделов, заключения, списка использованных источников из 99 наименований, диссертация изложена на 89 страницах компьютерного текста, включает 39 рисунков, 3 таблицы и 2 приложения.

В первом разделе диссертации рассмотрены современные методы и оборудование 3D-сканирования и проанализированы с точки зрения автоматизации основные технологические процессы плазменного напыления и резки. Обоснована актуальность разработки интеллектуальной роботизированной системы для плазменной резки и обработки поверхностей с применением предварительного сканирования обрабатываемой поверхности, для сканирования выбран тип бесконтактного датчика расстояния, обоснована необходимость разработки процедуры сегментации для восстановления 3D модели поверхности при сканировании изделий сложной форм, поставлена цель и указаны задачи диссертационного исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Во втором разделе диссертации обоснован выбор и описано основное оборудование и методы исследования. Кратко описаны использованные алгоритмы управления роботом - манипулятором для перемещения плазменного источника по заранее заданным сложным траекториям в плоскости и для реализации 3D сканирования объектов. Описан разработанный новый алгоритм распознавания сканированных изображений и реализующая его компьютерная программа для интерактивного взаимодействия с оператором робота, которая позволяет оператору во время процесса 3D сканирования задавать, тестировать и сохранять параметры процесса распознавания для дальнейшего использования в процессе автоматической обработки данных 3D сканирования.

В третьем разделе диссертации представлена схема системы 3D-сканирования лазерным триангуляционным датчиком расстояния, укрепленным на роботе-манипуляторе, описан алгоритм сегментации с построением аналитической модели поверхности и приведены результаты апробации разработанной схемы и алгоритма (данные тестирования для восстановления формы поверхности), которые подтверждают первое положение, выносимое на защиту.

В четвертом разделе диссертации описаны результаты исследований по автоматическому планированию траектории рабочего инструмента и генерации программы движения робота-манипулятора по спланированной траектории, которые подтверждают второе положение, выносимое на защиту. Представлено теоретическое обоснование, описаны алгоритмы управления и результаты практического применения разработанных алгоритмов управления при отработке технологических решений на опытном производственном роботизированном участке, приведены результаты производственных испытаний обработанных по новой технологии изделий.

В заключительных разделах диссертации приводятся основные выводы и их значимость, описывается научная новизна, научная и практическая значимость исследования.