

УДК 007.52

# КОНЦЕПЦИЯ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ МАНИПУЛЯТОРА UR3E С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАМЕРЫ ГЛУБИНЫ KINECT ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТА

**Б.Р. Аббясов**

*Институт информационных технологий и интеллектуальных систем  
Казанский федеральный университет  
Россия, 420008, Казань, Кремлевская ул., 35  
E-mail: abbyasov@it.kfu.ru*

**Е.А. Магид**

*Институт информационных технологий и интеллектуальных систем  
Казанский федеральный университет  
Россия, 420008, Казань, Кремлевская ул., 35  
E-mail: magid@it.kfu.ru*

**Ключевые слова:** медицинская робототехника, манипулятор, автономная навигация, моделирование, киберфизические системы.

**Аннотация:** Медицинская робототехника является перспективным междисциплинарным направлением в сфере автоматизации здравоохранения, сосредоточенным на создании, построении и разработке киберфизических систем для различных клинических применений. Современные робототехнические технологии обладают огромным потенциалом для проведения медицинских обследований, включая ультразвуковое исследование с использованием автономных манипуляторов. Навигация манипулятора играет ключевую роль в безопасном и эффективном исследовании человеческого тела. В данной статье представлена разработка системы автономной навигации на основе технического зрения для 6-осевого манипулятора UR3e. Разработанная система оперирует облаком точек в трехмерном пространстве и использует ПО MoveIt для планирования маршрута. Симулятор Gazebo использовался в качестве виртуальной среды для апробации разработанной системы навигации.

## 1. Введение

Благодаря развитию технологий киберфизических систем и робототехники в последние годы наблюдается значительный прогресс в области автоматизации задач здравоохранения [1, 2]. Роботы применяются в самом разнообразном спектре медицинских задач, включая хирургию [3], реабилитацию [4], диагностику [5] и доставку лекарств [6], предоставляя точность, эффективность и возможность удаленного управления [7]. Современные робототехнические технологии обладают огромным потенциалом для выполнения медицинского обследования с использованием манипуляторов [8], которые используют различные концевые инструменты для предоставления дополнительной функциональности в рамках конкретных задач.

Манипуляторы обладают высокоточными приводами и разнообразными системами управления движением, и используются в медицинских сценариях, требующих высокой точности и качества выполнения задач, например, при сшивании тканей [9], минимально инвазивной хирургии [10] и ультразвуковом исследовании [11].

Автономные манипуляторы выполняют задачи последовательно, исключая негативное влияние человеческого фактора. Последовательность важна в сценариях медицинского обследования, и навигация манипулятора играет ключевую роль в безопасном и эффективном автономном обследовании человеческого тела. Обследование подразумевает автономное перемещение, позиционирование и управление траекторией манипулятора в заданном пространстве. Визуальная навигация манипулятора основана на использовании визуальной информации для управления движением манипулятора: робототехническая система полагается на камеры или другие визуальные сенсоры для восприятия и интерпретации окружающей среды.

Данная работа посвящена разработке системы автономной навигации на основе технического зрения для медицинского обследования с использованием манипулятора UR3e. Разработанная система использует цифровые данные о трехмерном пространстве, полученные при помощи камеры глубины. Для планирования движения и управления манипулятором использовался фреймворк MoveIt. Симулятор Gazebo использовался в качестве виртуальной среды для первичной апробации системы навигации.

## 2. Настройка системы

Манипулятор UR3e [12] предоставляет возможность захвата и перемещения медицинского инструмента, обеспечивая грузоподъемность до трех килограммов. Гибкое планирование движения достигается за счет возможности манипулятора UR3e вращаться на 360 градусов во всех своих сочленениях. Для моделирования робота в виртуальной среде симулятора Gazebo [13] использовался контроллер UR3/UR3e, работающий на основе робототехнической операционной системы ROS [14].

Камера глубины представляет собой тип устройства для захвата визуальных данных в трехмерном пространстве. В отличие от традиционных камер, записывающих информацию о цвете, камеры глубины предоставляют дополнительные сведения о расстоянии от камеры до объекта. В среде моделирования Gazebo интеграция камеры глубины включает в себя настройку плагина камеры глубины. ROS/Gazebo предоставляет пакет *gazebo\_ros\_pkgs*, который содержит инструменты для использования ROS с Gazebo. В этот пакет входит плагин *gazebo\_ros\_openni\_kinect*, который служит драйвером для взаимодействия камеры глубины Kinect со средой симулятора Gazebo. Плагин камеры Gazebo публикует данные о глубине в ROS-топик типа *sensor\_msgs/Image*. Данные о глубине, записанные виртуальной камерой Kinect, используются модулем обработки трехмерного облака точек. На рис. 1 показано трехмерное облако точек живота человека.

Симуляционная среда содержит виртуальную модель манипулятора UR3e. UR3e установлен на опорной базе, позволяющей эффективно охватывать стол для обследования. Модель камеры глубины Kinect захватывает геометрические и визуальные данные человеческого тела. Модель тела обследуемого пациента размещена на столе в пределах рабочей области манипулятора и диапазона камеры глубины Kinect.

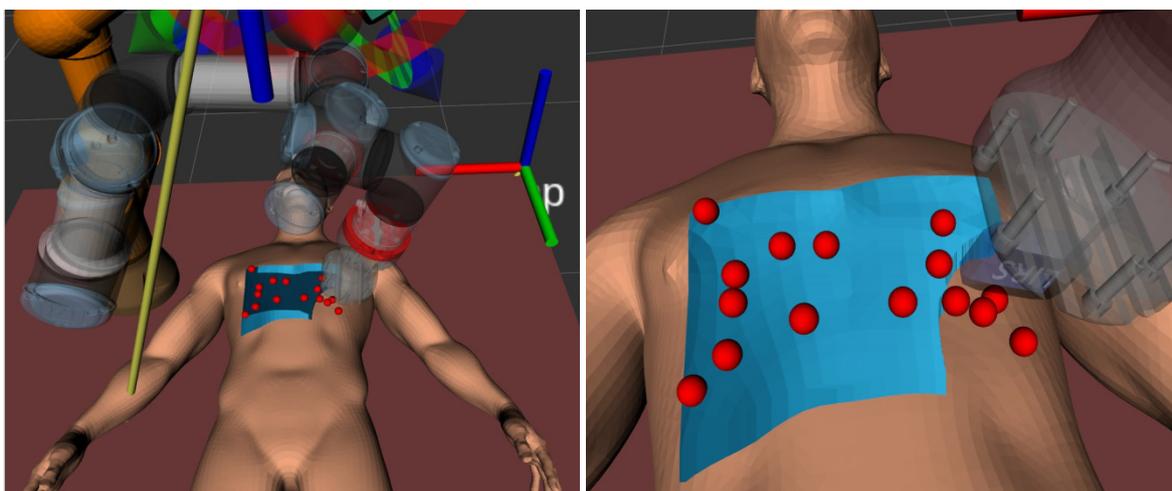
## 3. Навигация

Система навигации манипулятора состоит из трех программных модулей: модуль обработки трехмерного облака точек; модуль планирования маршрута; модуль планирования движения. Первый модуль служит основой для пространственного восприятия. Второй модуль, ответственный за генерацию промежуточных точек движения, берет обработанные 3D-данные о пространстве (облако точек) и вычисляет последовательность точек для навигации. Третий модуль фокусируется на преобразовании запланированного маршрута в исполняемые команды движения для манипулятора.

Облако точек представляет собой набор или группу точек, которые могут быть разбросаны в пространстве или расположены в определенном порядке. Каждая точка в облаке точек будет обладать трехмерными координатами  $(x, y, z)$ , представляя положение видимой датчику поверхности в трехмерном пространстве, и может включать дополнительную информацию, например, цвет или интенсивность. Модуль обработки фильтрует данные глубины и удаляет недопустимые точки. Для обработки данных облака точек использовалась библиотека Point Cloud Library [15].

Генерация промежуточных точек движения определяет набор точек, представляющих желаемый маршрут для манипулятора. Модуль отвечает за создание промежуточных точек и использует обработанную трехмерную модель облака точек в качестве входных данных. Результатом является последовательность выполнимых путевых точек для планирования движения.

Процесс планирования движения включает в себя преобразование траектории в последовательность команд на движение. Модуль планирования движения использует программное обеспечение MoveIt [16] для планирования движения манипулятора, валидации и последующего выполнения плана движения. MoveIt использует алгоритмы обратной кинематики для определения конфигураций сочленений и выполняет проверку траектории на возможные столкновения, чтобы обеспечить безопасное движение манипулятора UR3e [17]. Программное обеспечение RViz [18] используется совместно с MoveIt для визуализации задач по планированию движения (рис. 1).



**Рис. 1.** Навигация в RViz: красные маркеры обозначают промежуточные точки движения, которые использует MoveIt для планирования движения в трехмерном пространстве.

## 4. Заключение

В данной работе представлена робототехническая система для автономной навигации на основе технического зрения, предназначенная для выполнения медицинского обследования с использованием 6-осевого манипулятора UR3e. Разработанная навигационная система использует камеру глубины для получения трехмерного облака точек. Для планирования маршрута и управления движением манипулятора использовался фреймворк MoveIt. Апробация разработанной системы проводилась в виртуальной среде симулятора Gazebo. В дальнейшем планируется проверить предложенную систему навигации на реальном роботе UR3e с использованием камеры глубины Kinect и медицинского манекена.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00564.

## Список литературы

1. Holland J., Kingston L., McCarthy C., Armstrong E., O'Dwyer P., Merz F., McConnell M. Service robots in the healthcare sector // *Robotics*. 2021. Vol. 10 (1). P. 47.
2. Kolpashchikov D., Gerget O., Meshcheryakov R. Robotics in healthcare // *Handbook of Artificial Intelligence in Healthcare*. 2022. Vol. 2: Practicalities and Prospects. P. 281-306.
3. Li H., Nie X., Duan D., Li Y., Zhang J., Zhou M., Magid E. An admittance - controlled amplified force tracking scheme for collaborative lumbar puncture surgical robot system // *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*. 2022. Vol. 18 (5). P. e2428.
4. Liu Q., Zuo J., Zhu C., Xie S. Q. Design and control of soft rehabilitation robots actuated by pneumatic muscles: State of the art // *Future Generation Computer Systems*. 2020. Vol. 113. P. 620-634.
5. Simaan N., Yasin R. M., Wang L. Medical technologies and challenges of robot-assisted minimally invasive intervention and diagnostics // *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*. 2018. Vol. 1. P. 465-490.
6. Joyee E. B., Pan Y. Additive manufacturing of multi-material soft robot for on-demand drug delivery applications // *Journal of Manufacturing Processes*. 2020. Vol. 56. P. 1178-1184.
7. Kong X., Gao P., Wang J., Fang Y., Hwang K. C. Advances of medical nanorobots for future cancer treatments // *Journal of Hematology & Oncology*. 2023. Vol. 16 (1). P. 74.
8. Afrisal H., Setiyadi A. D., Riyadi M. A., Ismail R., Toirov O., Setiawan I. Performance Analysis of 4-DOF RPRR Robot Manipulator Actuation Strategy for Pick and Place Application in Healthcare Environment // *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2022. Vol. 12 (6). P. 2258-2265.
9. Sagitov A., Tsoy T., Li H., Magid E. Automated open wound suturing: detection and planning algorithm // *J. Robotics Netw. Artif. Life*. 2018. Vol. 5 (2). P. 144-148.
10. Zhu J., Lyu L., Xu Y., Liang H., Zhang X., Ding H., Wu Z. Intelligent soft surgical robots for next - generation minimally invasive surgery // *Advanced Intelligent Systems*. 2021. Vol. 3 (5). P. 2100011.
11. Cornejo J., Perales-Villarreal J. P., Sebastian R., Cornejo-Aguilar J. A. Conceptual design of space biosurgeon for robotic surgery and aerospace medicine // *2020 IEEE ANDESCON*. 2020. P. 1-6.
12. Wolniakowski A., Quintana J. J., Diaz M., Miatliuk K., Ferrer M. A. Towards human-like kinematics in industrial robotic arms: A case study on a UR3 robot // *2021 International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*. IEEE. 2021. P. 1-5.
13. Koenig N., Howard A. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator // *2004 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS)*. 2004. Vol. 3. P. 2149-2154.
14. Cashmore M., Fox M., Long D., Magazzeni D., Ridder B., Carrera A., Palomeras N., Hurtos N., Carreras M. Rosplan: Planning in the robot operating system // *Proceedings of the international conference on automated planning and scheduling*. 2015. Vol. 25. P. 333-341.
15. Holz D., Ichim A. E., Tombari F., Rusu R. B., Behnke S. Registration with the point cloud library: A modular framework for aligning in 3-D // *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2015. Vol. 22. P. 110-124.
16. Asadi K., Haritsa V. R., Han K., Ore J. P. Automated object manipulation using vision-based mobile robotic system for construction applications // *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2021. Vol. 35 (1). P. 04020058.
17. Görner M., Haschke R., Ritter H., Zhang J. Moveit! task constructor for task-level motion planning // *2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 2019. P. 190-196.
18. Dobrokvashina A., Lavrenov R., Magid E., Bai Y., Svinin M. How to Create a New Model of a Mobile Robot in ROS/Gazebo Environment: An Extended Tutorial // *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. 2023. Vol. 12, No. 4. P. 192-199.