

DOI: 10.58168/OpEq2025_232-239

УДК 004

**ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА
ДЛЯ ЗАДАЧ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ
В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

**THE USE OF A ROBOTIC MANIPULATOR FOR THE TASKS OF ARTIFICIAL
FORESTRY IN THE FAR NORTH**

Тарицына Анастасия Сергеевна

преподаватель кафедры прикладной математики и кибернетики

ПетрГУ, г. Петрозаводск, Россия

Щеголева Людмила Владимировна

доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры прикладной математики и кибернетики

ПетрГУ, г. Петрозаводск, Россия

Taritsyna Anastasiia Sergeevna

Lecturer at the Department of Applied Mathematics and Cybernetics

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

Shchegoleva Liudmila Vladimirovna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

Professor of the Department of Applied Mathematics and Cybernetics

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены возможности применения роботизированного манипулятора для задач лесовосстановления. Предложена концепция определения проходимости участка лесной местности с использованием данных с резистивного датчика давления и i-mu-датчика. Определены задачи для дальнейшего исследования. Предложенная концепция

может применяться в построении карты лесной местности для уточнения наличия препятствий по ходу движения мобильной платформы.

Abstract. The article discusses the possibilities of using a robotic manipulator for forest restoration tasks. The concept is proposed to determine the patency of the area of the forest area using data from a resistive pressure sensor and IMU-sensor. The tasks for further research are defined. The proposed concept can be applied in building a forest area to clarify the presence of obstacles in the direction of the mobile platform.

Ключевые слова: лесовосстановление, роботизированные системы, роботы-манипуляторы, автоматизация технологических процессов, резистивный датчик давления.

Keywords: foresting, robotic systems, robots-manipulators, automation of technological processes, resistant pressure sensors.

Введение

Лесовосстановление является обязательным мероприятием на месте проведенных вырубок леса. Лесовосстановление бывает трех видов: естественное, искусственное и комбинированное. Искусственное лесовосстановление наиболее востребовано в районах с неблагоприятными условиями. К таким районам можно отнести районы крайнего севера. Суровые условия достаточно сильно ограничивают возможности ручного труда. В связи с этим актуальна задача роботизации лесовосстановительных работ [1].

Для проведения лесовосстановительных работ в первую очередь необходима мобильная колесная платформа, позволяющая доставить устройство, выполняющее посадочные работы, и саженцы до места проведения работ [2]. Важным элементом конструкции роботизированного устройства являются манипуляторы. Они применяются и для решения задач навигации, и для выполнения различных производственных работ. На рабочий орган манипулятора могут быть прикреплены устройства для захвата, ковш, различные датчики [3].

В статье [1] предложена концептуальная модель, позволяющая решать различные задачи, которые могут возникать при роботизации лесовосстановительных работ. К таким задачам можно отнести движение по пересеченной местности и мониторинг окружающей среды. Для этого используются различные датчики, например, датчик температуры/давления, камера и т. д.

Для выполнения посадок необходимо иметь карту местности. Построение карты может также быть возложено на роботизированное устройство. Это может быть мобильная платформа с установленными на ней лидаром и видеокамерой [4]. Такая система позволит определить препятствия, находящиеся на пути робота, например, сухой пенек, дерево или большой камень. Но также необходимо понимать, возможно ли проехать по какой-то части местности. Например, на пути может оказаться болотистый участок. Построение карты и определение почвы можно осуществлять с использованием дронов [5].

В лесной местности районов крайнего севера описанные выше решения могут быть неприменимы в случае плохих погодных условий, например, использование камер во время осадков ухудшает картинку и добавляет лишние шумы, что может привести к ошибкам идентификации. Для уточнения данных, получаемых с неустойчивых к визуальным помехам датчиков, предлагается использовать сенсорный подход.

Для определения не только факта касания, но и уточнения силы, с которой робот взаимодействует с препятствием, можно использовать резистивный датчик давления (далее-датчик силы) [6].

С помощью датчика силы можно определять не только класс объекта, находящегося на пути [7], но и повлиять на саму местность, внести корректировки в расположение подвижных объектов. Например, можно определить, что если препятствие представляет собой непреодолимый объект, то его нужно обязательно объезжать, а если, препятствие можно сдвинуть, то его можно вообще удалить из рассматриваемой местности, а если его можно

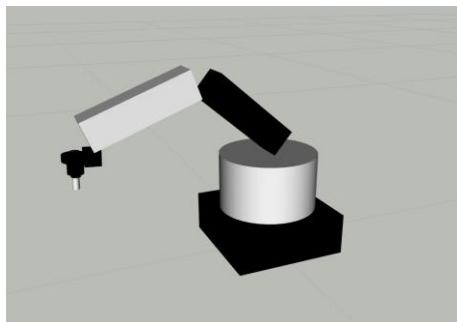
наклонить, то в этом случае оно является преодолимым и «сквозь» него можно проехать.

Определение проходимости участка лесной местности

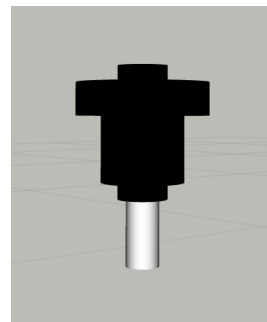
Рассмотрим применение датчика силы для определения возможности прохода по земельному участку при выполнении лесовосстановительных работ. В первую очередь необходимо определить, является ли почва достаточно твердой для прохода мобильной платформы. Для принятия такого решения предназначены специальные устройства такие, как электронные твердомеры почвы или же пенетрометры, измеряющие плотность/сопротивление почвы при его введении в почву. Но такие датчики не позволяют вести мониторинг показаний, вследствие чего невозможен и анализ данных.

Для определения возможности прохода по участку, предназначенному для лесовосстановления, предлагается использовать комбинацию датчика силы и *imu*-датчика.

Предполагаем, что платформа с установленным на ней манипулятором движется по горизонтальной поверхности. На конечный эффектор манипулятора крепится щуп. При этом щуп содержит датчик силы и *imu*-датчик (рисунок 1).



(a)



(b)

Рис. 1. (a) - модель манипулятора с 4 степенями свободы, (b) - модель щупа, прикрепленного на конечный эффектор манипулятора.

Участок для лесовосстановления разбивается на небольшие по площади зоны. Если в зоне по ходу движения находится визуально определяемое

препятствие (например, дерево или большой камень), то этот участок не посещается. Проверяются только визуально свободные участки.

Определение возможности движения платформы в каждой зоне может происходить следующим образом. Манипулятор совершает движение щупа ровно сверху вниз в визуально свободную зону. Датчик силы фиксирует факт касания препятствия, которое может находиться в почве, также возможно фиксирование плотности почвы. Если почва слабо или среднеплотная, то импедансный датчик поможет определить глубину проникновения щупа. Если окажется, что щуп погружен ниже уровня земли, на которой стоит платформа, плюс высота колес, то этот участок платформа преодолеть не сможет.

При этом возникает ряд вопросов, которые требуют дальнейшего исследования:

- как осуществить прямолинейное вертикальное движение манипулятора;
- в какой момент манипулятору следует остановиться;
- как разделить участок на зоны;
- какого размера должны быть зоны;
- достаточно ли одного маневра щупа для принятия решения о типе всей зоны;
- что считать слабым, средним и сильным давлением;
- следует уточнить характеристики участка, где платформа сможет пройти, а где – нет.

Решение многих из этих вопросов требует натурных экспериментов, которые достаточно сложно провести, так как они требуют наличия разнообразных по условиям почвы участков, а также готовый для эксплуатации манипулятор с установленными щупом, датчиками, аппаратным и программным обеспечением для сбора и обработки данных. В качестве альтернативы можно использовать подход на основе моделирования поверхности земельного участка и манипулятора. Подходящей средой для этого может стать симулятор Gazebo [8].

Он полностью учитывает все физические характеристики объектов и позволяет программировать действия оборудования.

Заключение

Предложен подход для решения задачи картирования участков лесовосстановления с использованием мобильной роботизированной платформы. На платформе должен быть установлен манипулятор, на концевом эффекторе которого размещены резистивный датчик давления и imu-датчик. Предложенная конструкция применима для определения проходимости участка лесной местности.

Список литературы

1. Рого Г.Э., Корзун Д.Ж., Щеголева Л.В. Проект «Лесной робот»: концептуальная модель анализа движения мобильной робототехнической системы для лесовосстановления и рубок ухода // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Астрахань, 2022. С. 206–210.
2. Долганов, А. Г. Общие проектные решения по применению роботов в лесной индустрии = General design solutions for application of robots in the forest industry / А. Г. Долганов // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : материалы XIII Международной научно-технической конференции / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург, 2021. – С. 498–502.
3. Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н., Богданов А.П., Воронин В.В., Шумилова Ю.Н. Применения экскаваторов для обработки почвы при искусственном лесовосстановлении в таежной зоне // Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 248–251.

4. Xuexi Zhang, Jiajun Lai, Dongliang Xu, Huaijun Li, Minyue Fu “2D Lidar-Based SLAM and Path Planning for Indoor Rescue Using Mobile Robots” // Journal of Advanced Transportation. Volume 2020. Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8867937>.
5. Haizhou Ding, Baohua Zhang, Jun Zhou “Recent developments and applications of simultaneous localization and mapping in agriculture” // Journal of Field Robotics. 2022. DOI: 10.1002/rob.22077.
6. Тарицына А.С. Selection of Equipment for the Force Sensitive Resistor 0.5 Sensor / А.С. Тарицына, Л.В. Щеголева // Proceeding of the 36th conference of FRUCT Association. - Lappeenranta, Finland, 2024. - P.945-949. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=74802703>. - ISSN 2305-7254.
7. Щеголева Л. В., Тарицына А. С. Разработка алгоритма определения класса препятствия в процессе взаимодействия его с манипулятором // Программная инженерия. 2024. Том 15, № 10. С. 532—538. DOI: 10.17587/prin.15.532-538.
8. Manuel Sanchez, Jesus Morales, Jorge L. Martinez “Automatically Annotated Dataset of a Ground Mobile Robot in Natural Environments via Gazebo Simulations” // Sensors. 2022. DOI: 10.3390/s22155599.

References

1. Rego G.E., Korzun D.Zh., Schegoleva L.V. The Forest Robot project: a conceptual model for the analysis of the movement of a mobile robotics system for forestry and carriage of care // Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Astrakhan, 2022. С. 206–210.
2. Dolganov, A. G. General design solutions for the use of robots in the forest industry = General Design Solutions for Application of Robots in the Forest Industry / A. G. Dolganov // Effective response to modern challenges, taking into account the interaction of man and nature, man and technology: socio-economic and environmental

problems Forest complex: Materials of the XIII International Scientific and Technical Conference / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forestry University. - Yekaterinburg, 2021. - C. 498–502.

3. Ilyintsev A.S., Nakvasina E.N., Bogdanov A.P., Voronin V.V., Shumilova Yu.N. The use of excavators for soil processing for artificial forestry in the taiga zone // Materials of the VIII All-Russian Scientific and Technical Conference. St. Petersburg, 2023. M. 248–251.

4. Xuexi Zhang, Jiajun Lai, Dongliang Xu, Huaijun Li, Minyue Fu “2D Lidar-Based SLAM and Path Planning for Indoor Rescue Using Mobile Robots” // Journal of Advanced Transportation. Volume 2020. Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8867937>.

5. Haizhou Ding, Baohua Zhang, Jun Zhou “Recent developments and applications of simultaneous localization and mapping in agriculture” // Journal of Field Robotics. 2022. DOI: 10.1002/rob.22077.

6. Taritsyna A.S. Selection of Equipment for the Force Sensitive Resistor 0.5 Sensor / A.S. Taritsyna, L.V. Shchegoleva // ProCeeDing of the 36th Conference of Fruct Association. - Lappeenranta, Finland, 2024. - C. 945-949. - URL: <https://www.elibary.ru/item.asp?id=74802703>. - ISSN 2305-7254.

7. Schegoleva L.V., Taritsyna A. S. Development of an algorithm for determining the obstacle class in the process of interaction with the manipulator // Software engineering. 2024. Volume 15, No. 10. C. 532-538. DOI: 10.17587/prin.15.532-538.

8. Manuel Sanchez, Jesus Morales, Jorge L. Martinez “Automatically Annotated Dataset of a Ground Mobile Robot in Natural Environments via Gazebo Simulations” // Sensors. 2022. DOI: 10.3390/s22155599.