

УДК 629.1.02

DOI 10.35211/1990-5297-2024-9-292-70-74

Н. Г. Шаронов, Д. В. Бордюгов, Р. В. Крайнов

**ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО РОБОТА
С ПЕРИОДИЧЕСКИ «ЗАКЛИНИВАЮЩЕ-СКОЛЬЗЯЩИМИ» ОПОРАМИ***

Волгоградский государственный технический университет

sharonov@vstu.ru

Рассматриваются конструктивные особенности, принцип движения и система управления лабораторной установки «автономный мобильный робот». Движение робота по расположенной горизонтально или под углом направляющей осуществляется за счет согласованного системой управления перемещения линейного привода относительно двух опорных втулок, периодически фиксируемых на направляющей.

Ключевые слова: робот, заклинивание, программное обеспечение, управление движением.

© Шаронов Н. Г., Бордюгов Д. В., Крайнов Р. В., 2024.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00477, <https://rscf.ru/project/24-21-00477/>

N. G. Sharonov, D. V. Bordyugov, R. V. Krainov

ABOUT THE MOBILE ROBOT MOTION CONTROL WITH PERIODICALLY “JAMMED-SLIDING” SUPPORTS

Volgograd State Technical University

The design features, the principle of movement and the control system of the laboratory installation “autonomous mobile robot” are considered. The movement of the robot along a horizontally or at an angle guide is carried out due to the movement of a linear drive coordinated by the control system relative to two support bushings periodically fixed on the guide.

Keywords: robot, jamming, software, motion control.

Введение

Среди мобильных роботов можно выделить отдельную группу – «лазающие», сферой применения которых является перемещение по протяженным стержням или тросам, столбам, линиям электропередач, балкам, а также вертикальным поверхностям и тому подобным. В настоящее время одной из возможных сфер применения данных типов роботов является инспекция высоковольтных линий электропередач. Например, роботы типа [1–3] (рис. 1), перемещение которых осуществляется за счет непрерывного взаимодействия роликовых опор с проводом или [2] с двумя близко висящими проводами. Мобильные робототехнические системы, использующие гусеничные или колесные движители, взаимодействие с опорной поверхностью которых непрерывно, в условиях неорганизованной среды могут иметь существенные недостатки в сравнении с движителями, дискретно взаимодействующими с опорной поверхностью [4].

Конструкция «лазающих» мобильных роботов может включать разнообразные типы движителей: механические захваты [5, 6]; магниты [7]; обхватывающие механизмы [8, 9]; вакуумные присоски [10, 11], благодаря которым обеспечивается периодическое (шагающееподобное) взаимодействие опорных элементов робота с поверхностью. К шагающееподобным можно отнести и заклинивающе-скользящие движители [12, 13], применение которых основано на развитии метода перемещения механической системы, состоящей из твердых тел, по шероховатой поверхности за счет периодического наложения голономных связей (периодической остановки одного из движителей) при превышении сил трения на одном из движителей («заклинивающем») над силами трения «скользящих» движителей [13, 14]. Потенциальная востребованность подобных мобильных робототехнических систем позволяет ставить задачи разработки новых видов конструкций подобного типа автономных мобильных роботов.



a



б



в

Рис. 1. Роботы, осуществляющие инспекцию линий электропередач

Рассматривается конструкция, принцип движения и система управления лабораторной установки «автономный мобильный робот», предназначенной для исследования движителей, использующих новые физические эффекты для перемещения по расположенной горизон-

тально или наклонно направляющей в виде стержня или троса.

Принцип движения и варианты конструкции

При перемещении мобильного робота с заклинивающе-скользящим движителем (рис. 2)

двигатель 2 дискретно взаимодействует с неподвижной опорой 1; при этом корпус робота переносится относительно опоры 1 посредством функционирования линейного привода перемещения 3.

Заклинивающе-скользящий способ перемещения применен в конструкции лабораторной установки «Автономный мобильный робот» (рис. 3).

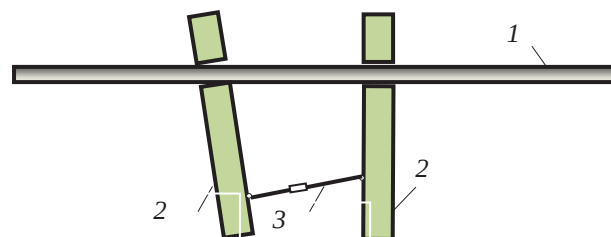


Рис. 2. Схема заклинивающе-скользящего двигателя

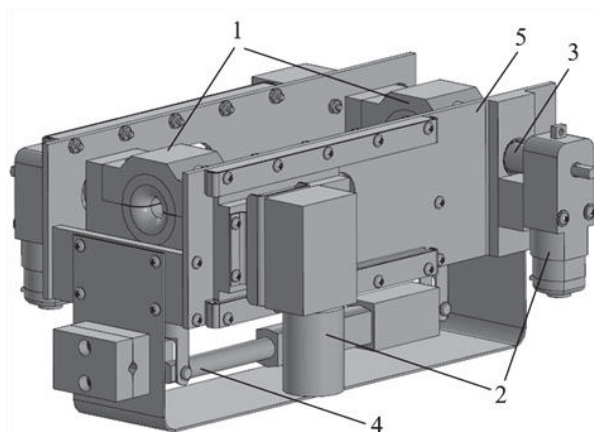
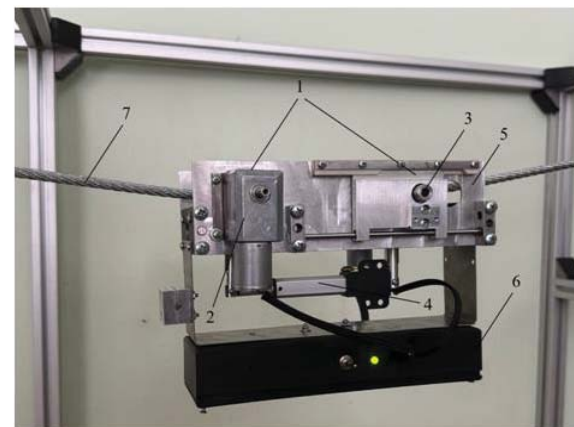


Рис. 3. Автономный мобильный робот

Автономный мобильный робот (рис. 3) перемещается по горизонтально и наклонно расположенной цилиндрической или тросовой направляющей 7. Его конструкция включает две опорные втулки 1, связанные между собой линейным приводом перемещения 4. Движение робота осуществляется за счет совместного воздействия линейного привода 4 и двигателя постоянного тока 2, закрепленного на корпусе 5, на втулки 1. Согласованное управление приводами реализуется системой управления 6.

Устройство работает следующим образом. Мобильный робот находится в состоянии покоя, опираясь на направляющую 7 опорными втулками 1. В начале движения при помощи двигателя постоянного тока 2, соединенного с втулкой 1 валом 3, происходит заклинивание одной из опорных втулок 1, в то время как другая способна свободно перемещаться по направляющей 7; далее происходит выдвижение штока линейного привода 4, вследствие чего свободная втулка движется по направляющей 7. При ее продвижении на некоторое расстояние происходит остановка линейного привода 4; двигатели постоянного тока 2 синхронно заклинивают свободную втулку 1 и освобождают заклиненную, после этого линейный привод 4 начинает задвигать шток, подтягивая освобож-



денную втулку 1. Далее цикл повторяется; таким образом происходит движение робота.

Особенностью конструкции опорной втулки, состоящей из разборного корпуса и внутренней втулки, является возможность установки внутренней втулки различной формы или материала (пластика, металла), что позволяет проводить экспериментальные исследования новых физических эффектов при движении автономного мобильного робота.

Система управления автономного мобильного робота

Система управления, расположенная в блоке 6 (рис. 3), предназначена для согласованной работы двигателей 2 и 3. Для удаленного управления используется программное обеспечение пользователя, которое представляет собой приложение с интерфейсом в виде экранной формы (рис. 4) с элементами управления работой блока управления приводами.

Управляющая программа разработана на языке программирования Java в среде Android Studio с применением кроссплатформенного фреймворка LibGDX. Основной функционал данной программы заключается в обеспечении дистанционного управления линейным приводом продольного перемещения и двигателями привода втулок мобильного робота с целью ав-

томатической смены направления действия в зависимости от требуемого направления движения робота по направляющей и времени t_n ($n = 1 \div 3$, номер двигателя), в течение которого это движение осуществляется.

Дистанционное управление автономным мобильным роботом обеспечивает универсальный SMD Bluetooth-модуль, который служит для связи между управляющей программой и низкоуровневой аппаратной частью робота (Arduino UNO), и Bluetooth-модуля ЭВМ, на которой запущена программа – например, мобильного устройства под управлением операционной системы Android 5.1+.

Подключение управляющей программы к роботу происходит в несколько этапов. Сразу же после запуска программы автоматически производится поиск доступных поблизости Bluetooth устройств. Затем выбирается устройство с именем SMD Bluetooth-модуля из списка 1 с именами найденных поблизости Bluetooth устройств. Поле 2 «Поиск Bluetooth устройств...»/«Подключение...» информирует о статусе соединения. При нажатии на кнопку 2 «Подключиться» производится попытка подключения к выбранному из списка устройству. Панель конфигурации 4 реализована в вариантах выбора «Конфигурации 1» с задаваемым временем и «Конфигурации 2» с вводом углов (при использовании серводвигателей). Блок кнопок 5 предназначен для управления двигателями по отдельности « Mn_f » и « Mn_b », где n – номер двигателя; « f » и « b » – направление движения. Блок 6 кнопок-счетчиков (spinners) предназначен для задания времени вращения двигателей в секундах. Кнопки 7 «Запуск» и «Стоп» используются соответственно для запуска и остановки алгоритма автоматической смены направления вращения двигателей.

При успешном подключении устанавливается соединение, которое образует канал побитовой передачи данных (строк-команд, конвертированных в массив битов) между двумя устройствами. Все данные, которые поступают в модуль, по UART передаются на Arduino UNO для управления двигателями робота. Интерфейс программы обновляется: кнопки «Запуск» и «Стоп» становятся доступными для нажатия.

Алгоритм автоматической смены направления вращения двигателей реализован поэтапно следующим образом:

1) при нажатии на кнопку «Запуск» (рис. 4, поз. 7) программа инициализирует запуск алгоритма;

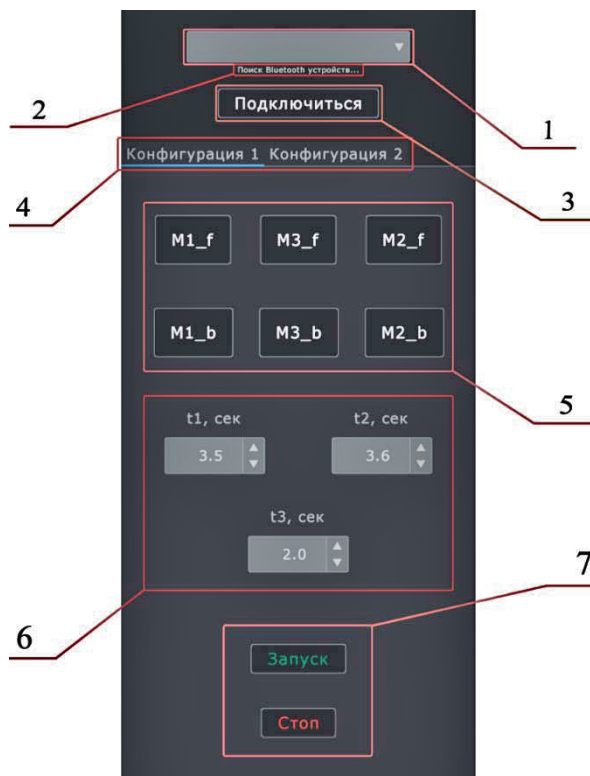


Рис. 4. Интерфейс программы

2) запускаются двигатели постоянного тока, вращающиеся в противоположные относительно друг друга стороны и работающие в таком состоянии t_1 и t_2 секунд соответственно;

3) по окончании времени t_1 и t_2 работы двигателей втулок запускается линейный привод на время t_3 ;

4) через время t_3 при неподвижном линейном приводе включаются двигатели втулок на время t_1 и t_2 , но со сменой направления вращения, отличной от направления на этапе 2;

5) далее запускается линейный привод с направлением движения штока, противоположным от направления на этапе 3;

6) алгоритм циклически повторяется, начиная с этапа 2.

Для выхода из цикла реализации алгоритма предусмотрена кнопка «Стоп» (рис. 4, поз. 7).

Программа предусматривает возможность ручного управления каждым из трех элементов (рис. 4, поз. 5). В ручном режиме пользователь может самостоятельно выбирать нужный ему двигатель или линейный привод и задавать его направление вращения и параметры движения, удерживая при этом соответствующую кнопку.

Заключение

Приведенная конструкция автономного мобильного робота с «заклинивающе-скользящи-

ми» движителями позволяет перемещаться по протяженной направляющей. Периодическое «заклинивание» одной из опор и относительное «скольжение» другой обеспечивается реализацией циклического «шагающе-подобного» алгоритма движения.

Авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук, профессору Брискину Евгению Самуиловичу за постановку задачи исследования автономного мобильного робота с «заклинивающе-скользящим движителем».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Rebecca, M.* Power line robotic device for overhead line inspection and maintenance / M. Rebecca, A. Farshid, J. Mohammadpour Velni // *Industrial Robot : An International Journal*. – 2016. – 44 (1). – Pp. 75–84.
2. *Richard, P. L.* LineRanger : Analysis and Field Testing of an Innovative Robot for Efficient Assessment of Bundled High-Voltage Powerlines / P. L. Richard // 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – 2019. – Pp. 9130–9136.
3. *Nicolas, P.* LineScout Technology Opens the Way to Robotic Inspection and Maintenance of High-Voltage Power Lines / P. Nicolas, R. Pierre-Luc, S. Montambault // *Power and Energy Technology Systems Journal*. – 2015. – Pp. 99.
4. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин / Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов // *Робототехника и техническая кибернетика*. – 2013. – № 1 (1). – С. 6–14.
5. Development of Rotary Type Movers Discretely Interacting with Supporting Surface and Problems of Control Their Movement / Е. С. Брискин, А. В. Малолетов, Н. Г. Шаронов, С. С. Фоменко, Я. В. Калинин, А. В. Леонард // *ROMANSY 21 – Robot Design, Dynamics and Control: Proceedings of the 21st CISM-IFTOMM Symposium (Udine, Italy, June 20-23, 2016)* / ed. by V. Parenti-Castelli, W. Schiehlen. – [Switzerland]: Springer International Publishing, 2016. – Pp. 351–359. – (Ser. CISM International Centre for Mechanical Science. Courses and Lectures; Vol. 569).
6. *Parker, R.* Robotics in forestry / R. Parker, K. Bayne, P. Clinton // *New Zealand Journal of Forestry*. – № 60 (4). – 2016. – С. 8–14.
7. *Яцун, С. Ф.* Вибрационный мобильный робот для движения по вертикальной ферромагнитной стене / С. Ф. Яцун, А. А. Черепанов // *Естественные и технические науки*. – 2010. – № 6 (50). – С. 400–401.
8. *Голубев, Ю. Ф.* Управление инсектоморфным роботом при залезании на вершину вертикального угла и при движении по приставной лестнице / Ю. Ф. Голубев, В. В. Корянов // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. – 2008. – № 1. – С. 148–157.
9. Пат. на полезную модель № 195302 U1 Российская Федерация, МПК B66F 1/00, B66F 7/00. Шаговый подъемник / Калинин Я. В., Брискин Е. С., Арыканцев В. В., Малолетов А. В. : заявитель и патентообладатель «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ). – № 2019125000 ; заявл. 07.08.2019 ; опубл. 22.01.2020.
10. Перспективный мобильный робототехнический комплекс для проведения регламентных операций по очистке корпусов судов от обрастаний / И. Л. Ермолов, М. М. Князьков, Е. А. Семенов, А. Н. Суханов // *Морские интеллектуальные технологии*. – 2023. – № 2–1 (60). – С. 53–59.
11. *Градецкий, В. Г.* Роботы вертикального перемещения / В. Г. Градецкий, М. Ю. Рачков ; Рос. акад. наук, Отд-ние проблем машиностроения, механики и процессов упр., Ин-т проблем механики. – М.: ИПМ, 1997. – 223 с.
12. Об управлении движением мобильных роботов с движителями, дискретно взаимодействующими с опорной поверхностью / Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов, Я. В. Калинин [и др.] // *Экстремальная робототехника*. – 2017. – Т. 1. – № 1. – С. 265–275.
13. *Бордюгов, Д. В.* Об управлении движением мобильного робота с движителями, работающими на эффекте периодического заклинивания / Д. В. Бордюгов, Е. С. Брискин, Н. Г. Шаронов // *Известия ВолГТУ : научный журнал* № 4(275) / ВолГТУ. – Волгоград, 2023. – С. 23–28.
14. *Черноусько, Ф. Л.* Мобильные роботы, управляемые движением внутренних тел / Ф. Л. Черноусько, Н. Н. Болотник // *Тр. ИММУРОПАН*, 2010. – Т. 16. – № 5. – С. 213–222.