

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА В РОБОТОТЕХНИКЕ ДЛЯ  
ОРИЕНТАЦИИ РОБОТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ВИДЕОКАМЕРЫ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 2 курса 271 группы  
направления 09.04.01 — Информатика и вычислительная техника  
факультета КНиИТ  
Жар Светланы Анатольевны

Научный руководитель  
доцент, к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

В. А. Поздняков

Заведующий кафедрой  
доцент, к. ф.-м. н.

\_\_\_\_\_

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2020

**Введение.** На протяжении многих лет использование роботов в различных областях человеческой деятельности становится все более заметным и необходимым. Одной из наиболее быстро развивающейся области робототехники является мобильная робототехника. Мобильную робототехнику можно разделить на два класса. Первый класс – это управляемые дистанционно оператором роботы, и второй класс – это роботы, способные выполнять определенные действия в автономном режиме. В большинстве случаев управление роботом осуществляет человек-оператор на уровне движений, при этом от человека требуется непрерывное наблюдение за роботом и оперативное управление его действиями. Такой подход определяется неспособностью робота принимать самостоятельные решения и имеет ряд недостатков. К ним можно отнести необходимость организации и постоянной поддержки канала связи с человеком-оператором (кабельная связь или радиосвязь), что существенно ограничивает область применения робота. Кроме того, человек не всегда может правильно оценить обстановку по данным телеметрии и осуществить адекватное управление. Возможны ситуации, когда мобильный робот оказывается вне зоны наблюдения или связь с ним теряется. В этих случаях робот должен автоматически определять типы возникающих перед ним препятствий и выбирать соответствующий способ их преодоления. Тем самым происходит снижение зависимости робота от человека. Два этих класса тесно связаны друг с другом, но постепенно идет переход от роботов первого класса, к полностью автоматическим мобильным роботам.

В настоящее время, в частности, особый интерес проявляется к автономным мобильным системам, главная черта которых заключается в самостоятельном определении местоположения, ориентировании и движении в пространстве.

Целью магистерской диссертации является реализация алгоритма в робототехнике для ориентации роботов в пространстве с использованием видеокамеры.

Для реализации поставленной цели, в рамках диссертации сформулированы следующие задачи:

1. Обзор и выбор инструментария для изучения робототехники.
2. Изучение языка программирования Python с целью реализации скриптов.

3. Изучение алгоритмов для программирования поведения роботов.
4. Создание виртуальной модели мобильного робота и рабочей сцены в робосимуляторе V-REP.
5. Реализация ориентирования робота в пространстве.

В разделе 1 "Основы робототехники" приводится информация об основных классах роботов и их различных приводах, а также описание областей применения роботов.

В разделе 2 "Компьютерное зрение и его применение в робототехнике" основное внимание уделяется этапам развития теории. Также в данной главе идет речь об области применения компьютерного зрения.

В разделе 3 "Методы планирования и управления движением мобильных роботов" представлена классификация и функциональные блоки мобильных роботов, также кратко описаны основные способы управления роботами.

В разделе 4 "Алгоритмы обхода препятствий" приведен список существующих алгоритмов, предназначенных для обхода роботом препятствий, и рассмотрены более подробно некоторые из приведенных алгоритмов.

В разделе 5 представлен обзор используемого инструментария для разработки. В этой главе приводится описание робосимулятора V-REP, пакета прикладных программ для решения задач технических вычислений Matlab, высокоуровневого языка программирования Python, Remote API, библиотеки компьютерного зрения OpenCV, а также библиотек NumPy и Matplotlib.

Раздел 6 посвящен последовательному описанию хода реализации ориентации робота в пространстве с использованием видеокамеры.

**1 Основы робототехники.** Робототехника - сравнительно новое и интенсивно развивающееся научное направление, вызванное к жизни необходимостью освоения новых сфер и областей деятельности человека, а также потребностью широкой автоматизации современного производства, направленной на резкое повышение его эффективности.

Изучение робототехники позволяет решить следующие задачи, которые стоят перед информатикой как учебным предметом. А именно, алгоритмизация и программирование, основы логики и логические основы компьютера. Также изучение робототехники возможно в курсе математики (реализация основных математических операций, конструирование роботов), технологии (конструирование роботов, как по стандартным сборкам, так и произвольно), физики (например, сборка деталей конструктора, необходимых для движения робота-шасси).

Выделяют два основных класса роботов:

1. Манипуляционный робот.
2. Мобильный робот.

Основные датчики роботов:

- датчики касания;
- датчики освещённости;
- датчик-гироскоп;
- датчик расстояния.

Области применения роботов следующие: образование, промышленность, сельское хозяйство, медицина, космонавтика, спорт, транспорт, военное дело, пожарная безопасность.

## **2 Компьютерное зрение и его применение в робототехнике.**

Прогресс в области компьютерного зрения определяется двумя факторами: развитие теории, методов, и развитие аппаратного обеспечения.

Система компьютерного зрения включает основные компоненты:

- подсистему формирования изображений (которая сама может включать разные компоненты, например объектив и ПЗС- или КМОП-матрицу);
- вычислитель;
- алгоритмы анализа изображений.

Робототехника является основной областью применения компьютерного зрения. Современная робототехника требует решения широкого круга за-

дач компьютерного зрения, включающего, в частности:

- набор задач, связанных с ориентацией во внешнем пространстве (например, задачу одновременной локализации и картографирования — SLAM), определением расстояний до объектов и т. д;
- задачи по распознаванию различных объектов и интерпретации сцен;
- задачи по обнаружению людей, распознаванию их лиц и анализу эмоций.

**3 Методы планирования и управления движением мобильных роботов.** Мобильные автономные роботы должны постоянно перемещаться для выполнения поставленных перед ними задач, непрерывно получая и обрабатывая информацию, полученную с установленных на них сенсоров.

Существует огромное число мобильных роботов различного назначения, которые используются практически во всех окружающих нас средах, будь то вода, воздух, земля или космос. Несмотря на огромные различия все роботы имеют три основные общие черты, на которые необходимо опираться при проектировании:

1. Все роботы имеют определенный набор механических свойств, необходимых для выполнения поставленных задач.
2. Все роботы имеют определенный набор электронных компонентов. Данный аспект используется для движения (через двигатели), очувствления (электрические сигналы используются для измерения тепла, звука, положения и состояния энергии) и управления (роботы нуждаются в определенном уровне электрической энергии, подаваемой на двигатели и датчики, для активации и выполнения основных операций).
3. Все роботы содержат определенный уровень компьютерного программного кода. Программы являются основной сущностью робота, так как без программы невозможна работоспособность робототехнической системы. Есть три различных типа роботизированных программ: дистанционное управление, искусственный интеллект и гибрид.

Мобильных роботов можно классифицировать по признаку использования в рабочей среде:

- Наземные или домашние роботы, которые обычно принято называть беспилотные транспортные средства (БТС). Наиболее часто встречающиеся это колесные или гусеничные, а также шагающие (человекопо-

добные или насекомоподобные).

- Транспортные роботы, которые перемещаются только в рабочей области.
- Воздушные роботы, или как принято называть – беспилотные летательные аппараты (БЛА).
- Подводные роботы, или автономные подводные аппараты (АПА).
- Полярные роботы, которые предназначены для перемещения в снегах.

Основные свойства мобильного робота, которые следует учитывать при проектировании движений мобильного робота:

- скоростные свойства;
- влияние ускорения;
- надежность;
- уровень потребления энергии.

Под управлением роботом понимается решение комплекса задач, связанных с адаптацией робота к кругу решаемых им задач, программированием движений, синтезом системы управления и её программного обеспечения.

По типу управления робототехнические системы подразделяются на:

1. Биотехнические - управляет человек:

- командные (кнопочное и рычажное управление отдельными звеньями робота);
- копирующие (повтор движения человека, возможна реализация обратной связи, передающей прилагаемое усилие, экзоскелеты);
- полуавтоматические (управление одним командным органом, например, рукояткой всей кинематической схемой робота).

2. Автоматические - робот действует автономно:

- программные (функционируют по заранее заданной программе, в основном предназначены для решения однообразных задач в неизменных условиях окружения);
- адаптивные (решают типовые задачи, но адаптируются под условия функционирования);
- интеллектуальные (наиболее развитые автоматические системы).

3. Интерактивные - управление может быть переключено между автоматическим и биотехническим режимами:

- автоматизированные;

- супервизорные (автоматические системы, в которых человек выполняет только целеуказательные функции);
- диалоговые (робот участвует в диалоге с человеком по выбору стратегии поведения, при этом как правило робот оснащается экспертной системой, способной прогнозировать результаты манипуляций и дающей советы по выбору цели).

Под управлением роботом понимается решение комплекса задач, связанных с адаптацией робота к кругу решаемых им задач, программированием движений, синтезом системы управления и её программного обеспечения.

По типу управления робототехнические системы подразделяются на:

1. Биотехнические - управляет человек:

- командные (кнопочное и рычажное управление отдельными звеньями робота);
- копирующие (повтор движения человека, возможна реализация обратной связи);
- полуавтоматические (управление одним командным органом).

2. Автоматические - робот действует автономно:

- программные;
- адаптивные;
- интеллектуальные.

3. Интерактивные - управление может быть переключено между автоматическим и биотехническим режимами:

- автоматизированные;
- супервизорные (автоматические системы, в которых человек выполняет только целеуказательные функции);
- диалоговые (робот участвует в диалоге с человеком по выбору стратегии поведения).

**4 Алгоритмы обхода препятствий.** Существует важная задача в робототехнике - обход препятствий. Алгоритмы, предназначенные для обхода роботом препятствий можно разделить на несколько классов:

- гипотеза-тест;
- штрафная функция;
- метод скелетирования;
- нечеткая логика;

- нейронные сети;
- генетические алгоритмы.

Алгоритм обхода препятствий выдает задание на исполнительный модуль робота, при этом выполняя сразу две функции: во-первых, следует спланированной траектории, обходя статические препятствия, а, во-вторых, прогнозирует движение подвижных препятствий и выполняет соответствующие маневры, чтобы избежать столкновения.

**5 Обзор используемого инструментария для разработки.** Существует ряд программных решений для робототехнических систем, которые позволяют создавать симуляции с высокой точностью. В данной главе представлен обзор используемого инструментария для реализации поставленной цели.

V-REP (Virtual Robot Experimentation Platform) — 3D робосимулятор от швейцарской компании Coppelia Robotics. Данная среда позволяет использовать готовые модели роботов или создать своего робота и программно управлять моделью. Программа пропагандируется как самая многофункциональная в данной области, поддерживается всеми основными операционными системами (Windows, Linux, MacOS X). Она является бесплатной, распространяется с открытым исходным кодом. В системе V-REP имеются библиотеки для программирования роботов с помощью C/C++, Python, Java, Matlab и некоторых других языков.

Python — высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Синтаксис ядра Python минималистичен. Python поддерживает структурное, объектно-ориентированное, функциональное, императивное и аспектно-ориентированное программирование.

MATLAB — это среда и язык технических расчетов, предназначенный для решения широкого спектра инженерных и научных задач любой сложности в любых отраслях.

Remote API является частью платформы V-REP API framework. Он позволяет осуществлять связь между V-REP и внешним приложением (т. е. приложением, работающим в другом процессе или на другой машине), является кроссплатформенным и поддерживает служебные вызовы и двунаправленную потоковую передачу данных.



OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library, библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом) — библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом.

NumPy — библиотека с открытым исходным кодом для языка программирования Python.

Matplotlib – один из самых популярных пакетов Python, используемых для визуализации данных. Это кроссплатформенная библиотека для создания 2D графиков из данных в массивах.

**6 Реализация ориентации робота в пространстве.** В качестве симулятора был выбран V-REP, так как он является менее аппаратно-зависимым, чем другие имеющиеся в общем доступе робосимуляторы, имеет больше дополнительных функций и более интуитивно понятный пользовательский интерфейс. Симулятор V-REP поддерживает эмуляцию физики действий робота, что позволяет более точно представить поведение робота в реальности.

В ходе выполнения практической части магистерской работы, используя возможности программы V-REP, была использована модель мобильного робота Pioneer 3-DX. Pioneer 3-DX - это небольшой двухколесный двухмоторный с дифференциальными приводами робот, идеально подходящий для использования в различных исследованиях.

В данной работе используется дистрибутив Python(x,y), который включает в себя научно-ориентированную интегрированную среду разработки Spyder и большое количество модулей, в том числе для обработки массивов (numpy, scipy), машинного обучения, визуализации данных (matplotlib).

Создаем в виртуальной среде V-REP сцену, на нее добавляем модель мобильного робота Pioneer 3-DX, камеру (vision sensor) и различные объекты, которые для робота представляются в виде препятствий. Когда основные элементы на виртуальной сцене добавлены и им выставлены все необходимые свойства и параметры, то далее переходим к подключению к удаленному API серверу.

Далее необходимо передать управление роботом на его двигатели, то есть на левое и правое колесо. Задаем ускорение.

Робот Pioneer 3-DX имеет 16 ультразвуковых датчиков, которые расположены по всей площади на передней и задней панели робота и представ-

лены желтым цветом. Ультразвуковые датчики обеспечивают обнаружение объектов и получают информацию о дальности для предотвращения столкновений, распознавания объектов, локализации и навигации. Получаем доступ к информации с данных датчиков и передаем полученную информацию на Python для дальнейшего взаимодействия робота с виртуальной сценой. На основании данных, полученных с датчиков, оценивается расстояние до препятствий. Датчик, к которому препятствие наиболее близко расположено, видит это препятствие и передает управление на колеса для поворота робота в зависимости от того, где находится обнаруженный объект.

Словесно обход препятствий роботом можно описать следующим образом: в каждый момент времени робот движется по виртуальной сцене с препятствиями; если на пути появляется какое-либо препятствие, то датчиками определяется его расположение относительно робота; если препятствие на пути у робота, ему необходимо повернуть в ту сторону, где препятствия нет; если же препятствие зафиксировано справа или слева от робота, то он продолжает двигаться прямо.

Далее необходимо реализовать python скрипт, который будет выполнять распознавание объектов с помощью библиотеки OpenCV, и будет выводить маркер вокруг найденного объекта. Составим архитектуру виртуальной сцены при распознавании объектов. «Мозг» робота получает изображение с камеры, распознаёт необходимый объект (посредством библиотеки OpenCV) и передаёт управляющие команды на колеса.

Ориентация в пространстве мобильного робота Pioneer 3-DX заключается в следующем: робот движется по виртуальной сцене, обнаруживая и объезжая различные препятствия, и при обнаружении камерой объекта красного цвета останавливается, так как в данной работе объект красного цвета является целью для завершения движения робота.

**Заключение.** В процессе выполнения магистерской работы на тему: "Реализация алгоритма в робототехнике для ориентации роботов в пространстве с использованием видеокамеры" в робосимуляторе V-REP было выполнено моделирование мобильного двухколесного робота Pioneer 3-DX и, с помощью языка программирования Python и необходимых библиотек, разработано поведение робота в случае обнаружения препятствий, а также реализовано распознавание объекта с использованием библиотеки OpenCV.

В рамках данной работы произведен обзор существующих систем для изучения робототехники и управления мобильными роботами; изучены основы языка программирования Python с целью реализации скриптов в робототехнике; изучены основы компьютерного зрения в робототехнике с использованием библиотеки OpenCV и рассмотрены существующие алгоритмы для программирования поведения роботов.

В ходе выполнения данной работы ее промежуточные результаты были представлены в статье "Robotics as an integral part of the life" на научной конференции для молодых ученых "Presenting Academic Achievements to the World", проходящей в Саратовском национальном исследовательском государственном университете имени Н.Г. Чернышевского.

А также было принято участие в ежегодной студенческой научной конференции факультета КНиИТ со статьей "Компьютерное зрение с OpenCV".

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Коных В.Л. Основы робототехники. Учеб. пособие для вузов. – Ростов на Дону: Феникс, 2008. – 281 с.
- 2 Юревич Е.И. Основы робототехники. - 2-е изд., перераб. и доп. - Спб.: БХВ-Петербург, 2005. - 416 с.
- 3 Применение робототехники [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/robototehnika> (Дата обращения: 17.02.2020).
- 4 Системы компьютерного зрения: современные задачи и методы [Электронный ресурс]. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/sistemy-komp-yuternogo-zreniya-sovremennyye-zadachi-i-metody/> (Дата обращения: 18.02.2020).
- 5 Aibo – робот от Sony [Электронный ресурс]. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5a20825dad0f22233a285e05/aibo--legendarnaia-sobakarobot-ot-sony> (Дата обращения: 18.02.2020).
- 6 Методы управления роботами [Электронный ресурс]. URL: <http://masters.donntu.org/2010/fknt/stepanenko/library/article10.htm> (Дата обращения: 19.02.2020).
- 7 Классификация мобильных роботов [Электронный ресурс]. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/robototehnika/promy-shlenny-e-roboty-trendy-i-tipy/> (Дата обращения: 19.02.2020).
- 8 Сорокин С.В., Солдатенко И.С. Основы разработки и программирования робототехнических систем. Тверь, 2017. - 173 с.
- 9 Килибарда Г., Кудрявцев В.Б., Ушчюмлич Ш. Независимые системы автоматов в лабиринте. Дискретная математика. 2003. - 225 с.
- 10 Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
- 11 Нейронная сеть для обхода препятствий [Электронный ресурс]. URL: <http://stswoon.blogspot.com/2010/05/blog-post.html> (Дата обращения: 20.02.2020).

- 12 Coppelia Robotics. Virtual Robot Experimentation Platform User manual [Электронный ресурс]. URL: <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html> (Дата обращения: 17.02.2020).
- 13 V-REP – гибкая и масштабируемая платформа для робо моделирования [Электронный ресурс]. URL: <https://geektimes.ru/post/260370/> (Дата обращения: 17.02.2020).
- 14 Объекты моделирования V-REP [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/news/2015/v-rep-gibkaya-masshtabiruемая-platforma> (Дата обращения: 17.02.2020).
- 15 Ревинская О.Г. Основы программирования в Matlab. Учебное пособие. 2016. - 207 с.
- 16 Python — официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: [python.org](http://python.org) (Дата обращения: 20.02.2020).
- 17 Python — краткий обзор языка и его назначения [Электронный ресурс]. URL: <https://techrocks.ru/2019/01/21/about-python-briefly/> (Дата обращения: 20.02.2020).
- 18 Python(x,y) - the scientific Python distribution [Электронный ресурс]. URL: <https://python-xy.github.io/> (Дата обращения: 20.02.2020).
- 19 Remote API [Электронный ресурс]. URL: <https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/remoteApiFunctionsPython> (Дата обращения: 21.02.2020).
- 20 Gary Bradski, Adrian Kaehler. Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media. 2008. - 580 p.
- 21 NumPy [Электронный ресурс]. URL: <https://numpy.org/> (Дата обращения: 21.02.2020).
- 22 Matplotlib – Краткое руководство [Электронный ресурс]. URL: <https://coderlessons.com/tutorials/python-technologies/vyuchit-matplotlib/matplotlib-kratkoe-rukovodstvo> (Дата обращения: 21.02.2020).
- 23 Matplotlib [Электронный ресурс]. URL: <https://matplotlib.org/> (Дата обращения: 21.02.2020).

24 Официальная документация Pioneer 3-DX [Электронный ресурс]. URL: [https://www.inf.ufrgs.br/~prestes/Courses/Robotics/manual\\_pioneer.pdf](https://www.inf.ufrgs.br/~prestes/Courses/Robotics/manual_pioneer.pdf) (Дата обращения: 27.02.2020).