



Разработка прототипа робота-манипулятора с функцией сортировки: опыт Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга

*А. Е. Рязанцев**

Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032,
г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4, Россия

Аннотация. В статье обозначена проблема исследования, связанная с разработкой прототипа робота-манипулятора с функцией сортировки, предназначенного для использования в качестве учебного оборудования при подготовке студентов в Камчатском государственном университете имени Витуса Беринга. В статье говорится, что промышленные роботы являются одним из компонентов автоматизированных производственных систем, которые позволяют увеличить производительность труда в производственной сфере страны. В статье констатируется тот факт, что промышленные роботы должны стать фундаментом новой экономики нашей страны, а для решения этой задачи необходимы новые кадры, которые должны готовить университеты страны. Кроме этого, в статье рассмотрена идея использования робота-манипулятора на занятиях по изучению дисциплины «Основы робототехники», включенной в профиль обучения «Прикладная информатика в автоматике и робототехнике» в ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга». Автор статьи делится опытом разработки прототипа робота-манипулятора, который имеет функцию сортировки предметов. В статье перечисляются составные части разработанного прототипа и описывается порядок их монтажа. Приводится алгоритм сортировки предметов данным роботом-манипулятором и кратко описывается процесс разработки программного обеспечения для его управления. Указывается, что создание программы заключалось в определении сначала положений роботизированной руки с помощью программы LeAtm, а затем - в организации выполнения последовательности этих положений программным способом с помощью системы программирования Arduino IDE. В статье указана перспективная область применения роботов-сортировщиков. .

Ключевые слова: робототехника, робот, высшее образование, роботизированные системы, роботы-манипуляторы, программирование

Получение: 19.06.2023; Исправление: 26.06.2023; Принятие: 28.06.2023; Публикация онлайн: 06.07.2023

Для цитирования. Рязанцев Е. А. Разработка прототипа робота-манипулятора с функцией сортировки: опыт Камчатского государственного университета имени Витуса Беринга // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2023. Т. 43. № 2. С. 55-68. EDN: WQVMQJ. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2023-43-2-55-68>.

Финансирование. Работа выполнялась без поддержки фондов.

Конкурирующие интересы. Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Автор участвовал в написании статьи и полностью несет ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

***Корреспонденция:**  E-mail: ege41@mail.ru

Контент публикуется на условиях Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Рязанцев Е. А., 2023

© ИКИР ДВО РАН, 2023 (оригинал-макет, дизайн, составление)





Development of a Prototype Robot-Manipulator with a Sorting Function: the Experience of Vitus Bering Kamchatka State University Coding Hierarchical Structures

*A.E. Ryazantsev**

Vitus Bering Kamchatka State University, 683032, Pogranichnaya street, 4, Russia

Abstract. The article identifies a research problem related to the development of a prototype robot manipulator with a sorting function intended for use as educational equipment in the preparation of students at the Vitus Bering Kamchatka State University. The article says that industrial robots are one of the components of automated production systems that allow increasing labor productivity in the manufacturing sector of the country. The article states the fact that industrial robots should become the foundation of the new economy of our country, and to solve this problem, new personnel are needed, which should be trained by the country's universities. In addition, the article discusses the idea of using a robot manipulator in the classroom for the study of the discipline "Fundamentals of Robotics included in the training profile "Applied Computer Science in automation and robotics" at the Vitus Bering Kamchatka State University. The author of the article shares his experience in developing a prototype robot manipulator, which has the function of sorting objects. The article lists the components of the developed prototype and describes the order of their installation. The algorithm of sorting objects by this robot manipulator is given and the process of developing software for its control is briefly described. It is indicated that the creation of the program consisted in first determining the positions of the robotic arm using the LeArm program, and then in organizing the execution of a sequence of these positions programmatically using the Arduino IDE programming system. The article indicates a promising field of application of sorting robots.

Key words: robotics, robot, higher education, robotic systems, robotic arms, programming

Received: 19.06.2023; Revised: 26.06.2023; Accepted: 28.06.2023; First online: 06.07.2023

For citation. Ryazantsev A.E. Development of a prototype robot-manipulator with a sorting function: the experience of Vitus Bering Kamchatka State University coding hierarchical structures. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2023, 43: 2, 55-68. EDN: WQVMQJ. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2023-43-2-55-68>.

Funding. The work was carried out without the support of funds.

Competing interests. There are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. The author participated in the writing of the article and is fully responsible for submitting the final version of the article to the press.

*Correspondence:  E-mail: ege41@mail.ru

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Ryazantsev A.E., 2023

© Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, 2023 (original layout, design, compilation)



Введение

Робототехника – относительно новое и очень бурно развивающееся научное направление, вызванное необходимостью освоения новых сфер и областей деятельности человека. Еще со времен античности люди задумывались о создании каких-либо средств для выполнения рутинной работы. Первые промышленные роботы стали появляться на рынке приблизительно в середине XX века, а первым серьезным роботом, о котором услышал весь мир, можно считать «Луноход-1» – первый в истории аппарат, успешно покоривший лунную поверхность 17 ноября 1970 года. Сейчас, спустя полвека, невозможно представить жизнь без участия в ней роботов. Они используются в медицине, в освоении космоса, в освоении океанских глубин, на производстве, в сфере услуг, в военной сфере и многих других направлениях деятельности человека. Широкое использование роботов имеет много положительных сторон, которые в комплексе приводят к повышению производительности труда. Но есть и противоположная сторона: самая главная проблема – это замена людей роботами. Так как люди могут остаться без работы из-за того, что некоторые рабочие места могут занять роботы [1].

Из теории робототехники следует, что роботы делятся на две основные категории: мобильные и манипуляционные. В данной статье мы рассмотрим робота-манипулятора.

Манипуляционный робот – автоматическая машина (стационарная или передвижная), состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и устройства программного управления, которая служит для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций. Такие роботы производятся в напольном, подвесном и порталном исполнениях [2]. Сам манипулятор – это механизм для изменения пространственного положения объектов. Значение слова «манипулятор» вошло в обиход в середине XX века, благодаря применению сложных механизмов для работы с опасными объектами в атомной промышленности [3].

В настоящее время промышленные роботы обычно являются одним из компонентов автоматизированных производственных систем, применяемых в гибком автоматизированном производстве, которые при неизменном уровне качества позволяют увеличить производительность труда в целом [4].

Промышленные роботы должны стать фундаментом новой экономики нашей страны. Для решения этой задачи необходимы новые кадры. В последние годы во многих университетах стали открываться новые специальности, связанные с робототехникой. В 2022 году в Камчатском государственном университете имени Витуса Беринга был проведен первый набор студентов на обучение по профилю «Прикладная информатика в автоматике и робототехнике». Параллельно с набором в университете велась работа по созданию материально-технической базы обеспечения учебного процесса для данного профиля обучения [5]. Одним из элементов технического оснащения учебного процесса стала разработка прототипа

робота – манипулятора с функцией сортировки. Данный проект реализовала группа преподавателей и студентов университета.

Основная функция робота заключалась в том, чтобы его роботизированная рука могла сортировать предметы (кубики) по их QR-коду (штрих-коду), т.е. переносить предметы в корзины, номера которых совпадали бы с номерами кубиков, представленных в виде QR-кодов.

Изначально мы ориентировались на создание робота, изображенного на рис. 1.



Рис. 1. Робот-манипулятор

Figure 1. Robotic arm

Составные элементы для сборки робота

Для сборки робота понадобились следующие электронные компоненты:

1) 6 сервоприводов Henge MD933 Servo Metal Gear Digital Torque Servos (рис. 2).



Рис. 2. Сервопривод

Figure 2. Servomotor

2) Плата Arduino Uno (рис. 3).

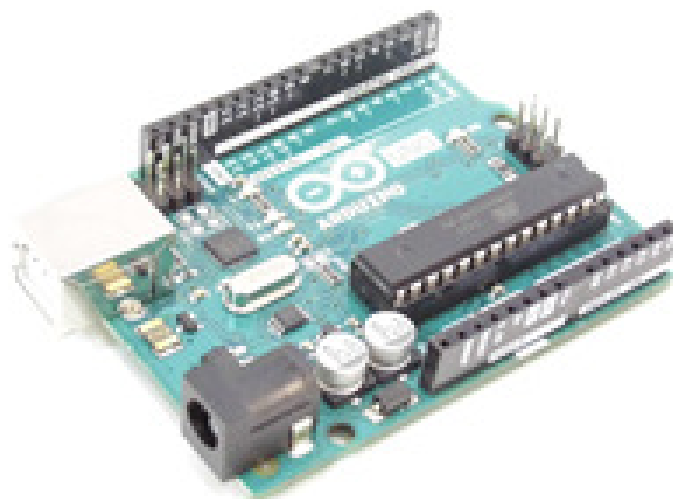


Рис. 3. Плата Arduino Uno
Figure 3. Arduino Uno Board

3) 6-ти канальный микроконтроллер сервоприводов (рис. 4).



Рис. 4. Микроконтроллер сервоприводов
Figure 4. Servo microcontroller

4) Сканер штрих-кодов (рис. 5).



Рис. 5. Сканер штрих-кодов
Figure 5. Barcode Scanner

5) Блок питания (рис. 6).



Рис. 6. Блок питания
Figure 6. Power unit

6) Фоторезистор (рис. 7).



Рис. 7. Фоторезистор
Figure 7. Photoresistor

7) Монтажная плата (рис. 8).



Рис. 8. Монтажная плата
Figure 8. Circuit board

Принципиальная схема подключения деталей представлена на рис. 9.

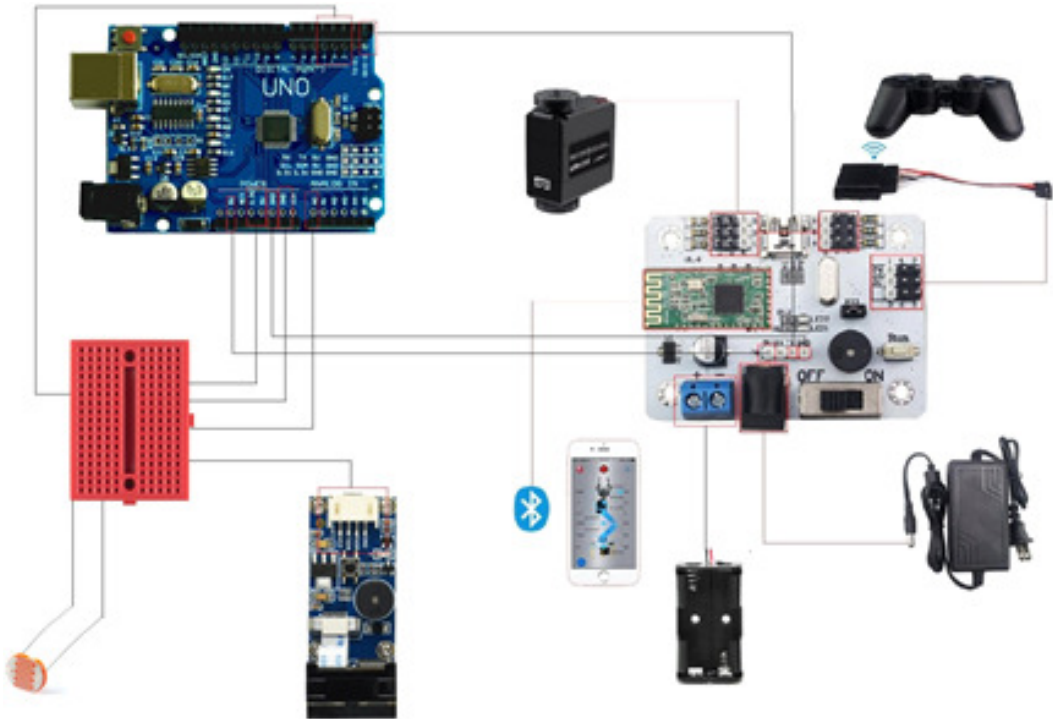


Рис. 9. Схема соединение основных деталей робота
Figure 9. Scheme of connection of the main parts of the robot

После сборки основных деталей получился робот, представленный на рис. 10.

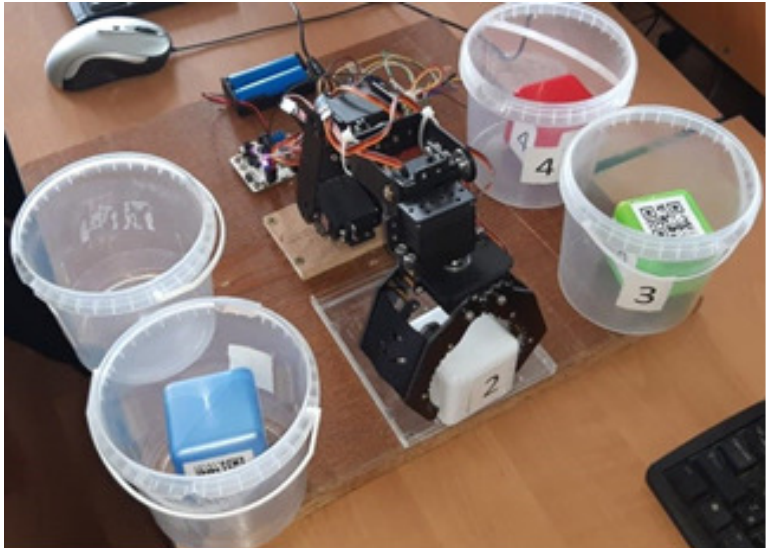


Рис. 10. Робот-манипулятор с функцией сортировки
Figure 10. Robotic arm with sorting function

Описание алгоритма работы робота

Созданный робот-сортировщик состоит из роботизированной руки, сканера штрих-кодов и четырех пластиковых корзин, каждая из которых имеет свой номер от 1 до 4. Работа робота заключается в том, чтобы сортировать пластиковые кубики (размером 6 см на 6 см), промаркированных числами от 1 до 4. Сортировка осуществляется с помощью роботизированной руки. Принцип сортировки заключается в том, чтобы поместить кубик в ту корзину, номер которой совпадает с номером кубика. Для того, чтобы определить номер кубика на одну из его граней был помещен QR-код номера кубика. Сами QR-коды были получены с использованием программы генерации QR-кодов. Чтение QR-кода кубика осуществлялось с помощью сканера штрих-кодов (QR-кодов).

Алгоритм работы робота-сортировщика состоит из следующих шагов:

1. Включение питания.
2. Роботизированная рука занимает исходное положение.
3. Кубик размещается на рабочую площадку и перекрывает фоторезистор.
4. Сканер штрих-кодов считывает номер кубика.
5. Роботизированная рука выполняет один из 4 алгоритмов, которые состоят из следующих шагов:
 - а) взять кубик захватом;
 - б) поднять кубик вверх;
 - в) повернуть роботизированную руку по горизонтали на определенный угол, величина которого зависит от номера кубика;
 - г) опустить кубик в корзину;
 - д) роботизированная рука занимает исходное положение.

Блок-схема работы робота сортировщика выглядит следующим образом (рис. 11):

Программирование робота

Для программирования робота-манипулятора использовалась программа LeArm [6]. Интерфейс программы LeArm представлен на рис. 12. В данной программе программируются сервоприводы роботизированной руки, которые принимают нужное положение в пространстве в зависимости от выбранных пользователем параметров [7].

Ниже приведен примеры исходного положения робота-манипулятора и значений его сервоприводов в программе LeArm (рис.13).

С помощью программы LeArm мы получили наборы значений сервоприводов для реализации нашего алгоритма.

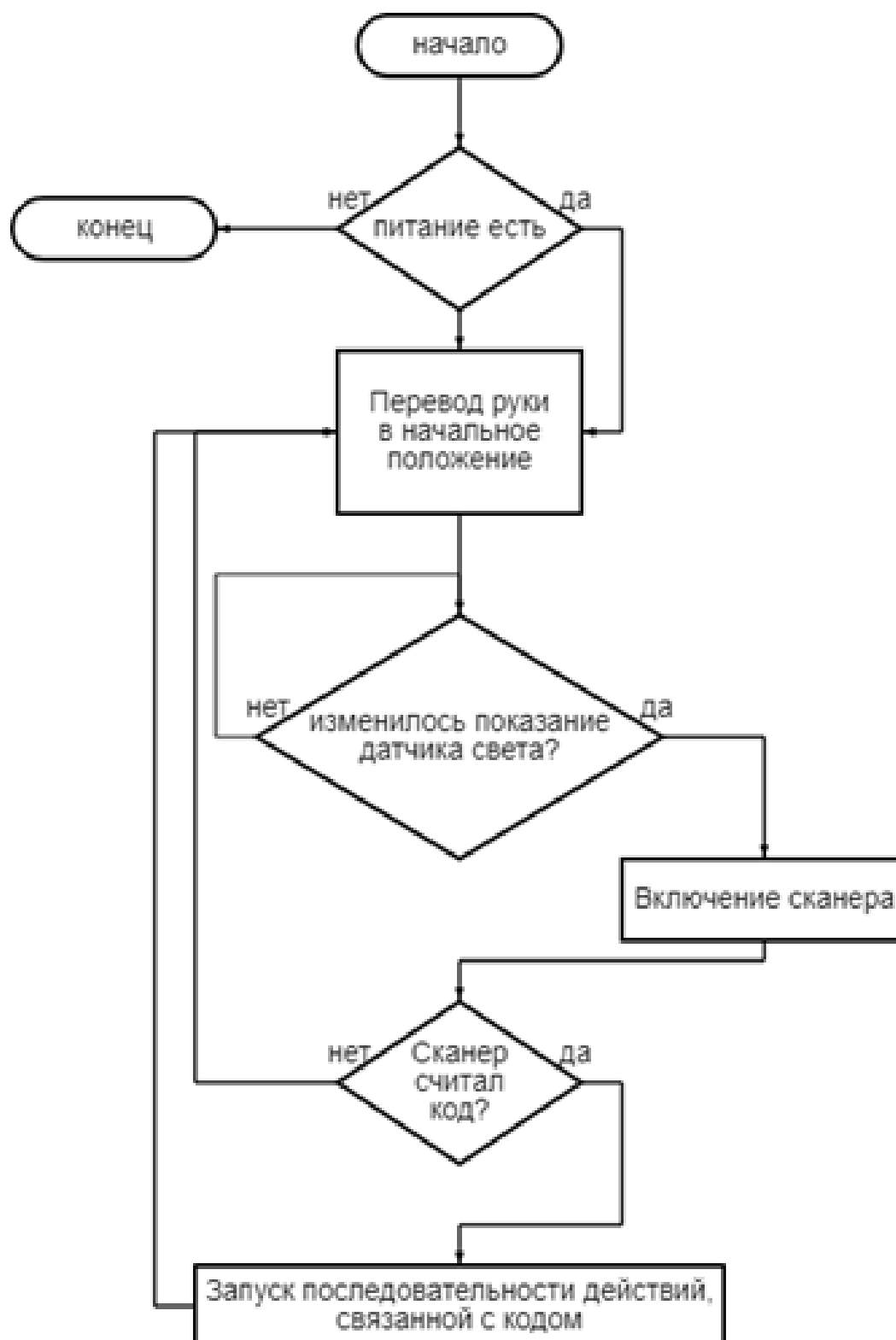


Рис. 11. Блок-схема работы робота - манипулятора с функцией сортировки
Figure 11. Block diagram of the robot - a manipulator with a sorting function

Суть создания программы заключается в определении сначала положений роботизированной руки, а затем - в организации выполнения последовательности

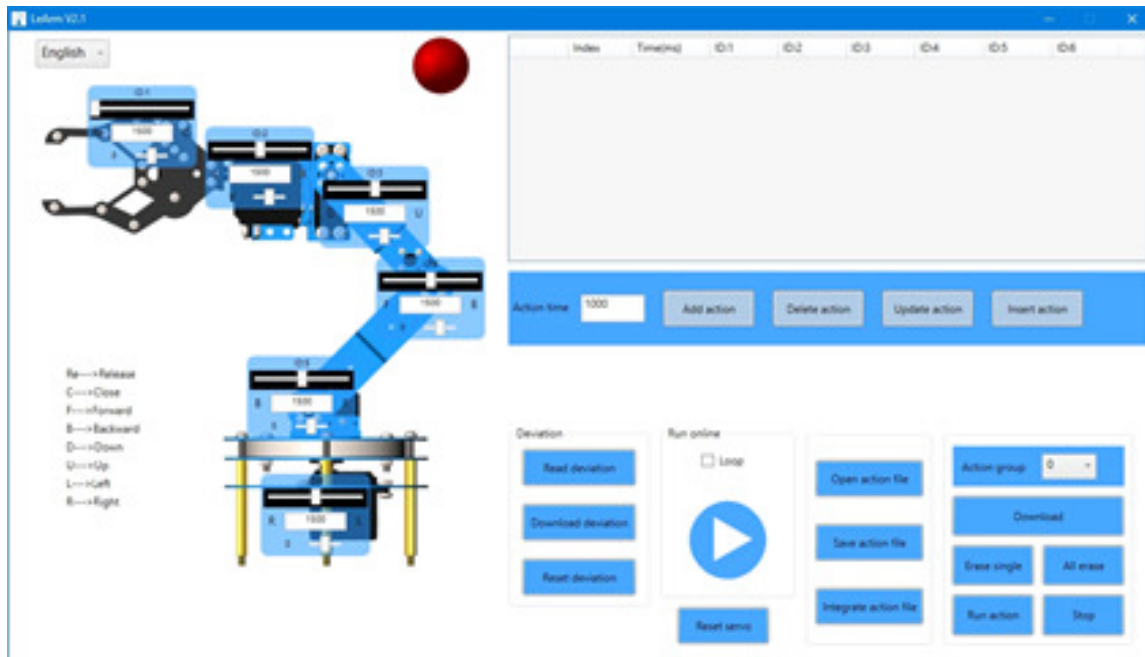


Рис. 12. Интерфейс программы LeArm

Figure 12. LeArm interface



Рис. 13. Исходного положения роботизированной руки

Figure 13. Starting position of the robotic arm

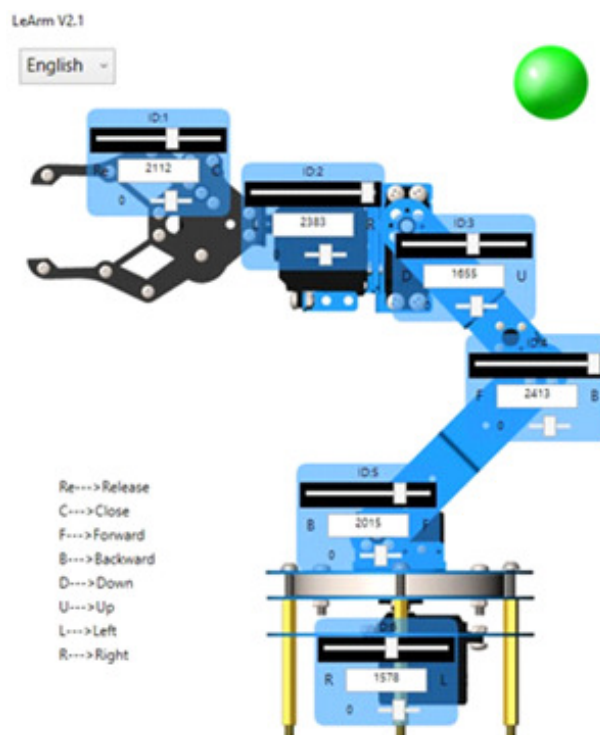


Рис. 14. Значения сервоприводов в программе LeArm при исходном положении роботизированной руки

Figure 14. Values of servos in the LeArm program at the initial position of the robotic arm

этих положений программным способом с помощью выбранной системы программирования. В качестве такой системы была использована программная оболочка Arduino IDE.

Arduino IDE – это простой, но функциональный продукт для создания ПО, которым управляются многочисленные устройства, собранные специалистами. Соединение ПК с микроконтроллером реализовано через интерфейс USB. Код программ пишется в редакторе на языке C++ с использованием многочисленных библиотек [8].

Результатом проделанной работы стал код основной программы управления роботом-манипулятором с функцией сортировки:

```
#include "SoftwareSerial.h" SoftwareSerial softSerial(2, 3);
byte cmd_ag_0[] = {0x55, 0x55, 0x05, 0x06, 0x00, 0x01, 0x00};
byte cmd_ag_1[] = {0x55, 0x55, 0x05, 0x06, 0x01, 0x01, 0x00};
byte cmd_ag_2[] = {0x55, 0x55, 0x05, 0x06, 0x02, 0x01, 0x00};
byte cmd_ag_3[] = {0x55, 0x55, 0x05, 0x06, 0x03, 0x01, 0x00};
byte cmd_ag_4[] = {0x55, 0x55, 0x05, 0x06, 0x04, 0x01, 0x00};
byte scan[] = {0x7E,0x00,0x08,0x01,0x00,0x02,0x01,0xAB,0xCD};
byte cur; char cur_ch;
int breakLight;
```

```
void setup()
{ Serial.begin(9600); softSerial.begin(9600);
  Serial.write(cmd_ag_0, 7); delay(500);
  breakLight = analogRead(A0) / 2;}
void loop()
{ if(analogRead(A0) < breakLight)
{ //Serial.println("scanning..."); softSerial.write(scan, 9);
  delay(100);
  for (int i=0; i<7; i++)
  {softSerial.read(); //Пропуск ответа на команду (2|0|0|1|0|51|49)
  }
  for (int i=0; i<30; i++)
  {if (softSerial.available())
  {while (softSerial.available())
  {cur = softSerial.read(); if (cur != 13)
  {cur_ch = cur; // Перевод номера ASCII в char
  switch (cur_ch)
  {case '1':
  Serial.write(cmd_ag_1, 7); delay(3000);
  break; case ' ':
  Serial.write(cmd_ag_2, 7); delay(3000);
  break; case '3':
  Serial.write(cmd_ag_3, 7); delay(3000);
  break; case '4':
  Serial.write(cmd_ag_4, 7); delay(3000);
  break;
  }}}
  delay(3000); break;}
  delay(100);}}
  delay(500);
}
```

Заключение

Созданный прототип робота-манипулятора с функцией сортировки с успехом используется в качестве технического средства обучения в учебном процессе при изучении дисциплины «Основы робототехники» профиля подготовки «Прикладная информатика в автоматике и робототехнике» в КамГУ им. Витуса Беринга.

Процесс сортировки снят на видео и размещен в сети Интернет. С данным видеороликом можно ознакомиться по ссылке, приведенной в библиографическом списке [9].

Роботы-сортировщики имеют большую практическую значимость в современном мире, например, на данный момент, в мире полностью не решена проблема переработки твердых отходов. Ежегодно в мире собирается около 2 млрд. тонн мусора. Роботы-сортировщики могли бы внести большой вклад в улучшение экологии нашей планеты, осуществляя предварительную сортировку мусора перед его переработкой [4].


Поэтому мы продолжаем работу по разработке нового прототипа робота-сортировщика, работа которого будет основана на интеллектуальном анализе видеoinформации о предметах, поступающих на сортировку [10].

Список литературы

1. Амирханов Д. Р., Буевич А. Э. *Робототехнические системы*, Конспект лекций. Витебск: УО «ВГТУ», 2010. 100 с.
2. Ступина Е.Е., Ступин А.А., Чупин Д.Ю., Каменев Р.В. *Основы робототехники*, учебное пособие. Новосибирск: Агентство «Сибпринт», 2019. 160 с.
3. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. *Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами*, Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 400 с.
4. *Автоматизированные роботы для складских работ и их преимущество для бизнеса* <https://vc.ru/u/777913-newss/229600-avtomatizirovannye-roboty-dlya-skladskih-rabot-i-ih-preimushchestvo-dlya-biznesa> (дата обращения: 18.06.2023).
5. Рязанцев А. Е., Гринченко М. Р., Редутов Е. В. Разработка учебного робота для занятий по образовательной робототехнике в коррекционных школах, *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 2020. Т. 31, № 2, С. 168-178 DOI:10.26117/2079-6641-2020-31-2-168-178.
6. *Download LeArm* <https://www.itunesforwindows.com/app/1192117647/learn> (дата обращения: 18.06.2023).
7. *Конструктор робот-манипулятор LeArm Single Robot*, Инструкция по эксплуатации https://supereyes.ru/img/instructions/LeArm_Single_Robot.pdf (дата обращения: 18.06.2023).
8. Сорокин С.В., Солдатенко И.С. *Основы разработки и программирования робототехнических систем*, учеб. пособие. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. 157 с.
9. *Демонстрация робота-сортировщика*, Электронный ресурс <https://www.youtube.com/watch?v=miYMtGowu04> (дата обращения: 18.06.2023).
10. Костин С.В., Шамраев А.А., Якимайнен Д.С. Автоматическая классификация и сортировка бытовых отходов Современные наукоемкие технологии, 2022. № 5-2., С. 204-208.

Информация об авторе




Рязанцев Александр Евгеньевич ✉ – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математики, Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский, Россия,  ORCID 0009-0006-8965-4300.

References

- [1] Amirkhanov D. R., Buevich A. E. Robototekhnicheskiye sistemy [Robotic systems], Lecture notes, Vitebsk: EE "VGTU 2010, p. 100 (Russian).
- [2] Stupina Ye.Ye., Stupin A.A., Chupin D.Yu., Kamenev R.V. Osnovy robototekhniki [Fundamentals of robotics]: uchebnoye posobiye. Novosibirsk: Agentstvo «Sibprint», 2019, p. 160 (Russian).
- [3] Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. Upravleniye robotami. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami [Robot control. Fundamentals of managing manipulation robots], Uchebnik dlya vuzov, Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2000, p. 400 (Russian).
- [4] Avtomatizirovannyye roboty dlya skladskikh rabot i ikh preimushchestvo dlya biznesa <https://vc.ru/u/777913-newss/229600-avtomatizirovannyye-roboty-dlya-skladskih-rabot-i-ih-preimushchestvo-dlya-biznesa> data obrashcheniya: 18.06.2023 (Russian).
- [5] Ryazantsev A. E., Grinchenko M. R., Redutov E.V. Development of a training robot for classes in educational robotics in special schools. Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki. 2020, 31:2, 168-178. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-31-2-168-178 (Russian).
- [6] Download LeArm. Electronic resource. Access Mode: <https://www.itunesforwindows.com/app/1192117647/learn> (accessed 06/18/2023).
- [7] Konstruktor robot-manipulyator LeArm Single Robot. Instruktsiya po ekspluatatsii [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: https://supereyes.ru/img/instructions/LeArm_Single_Robot.pdf (data obrashcheniya: 18.06.2023) (Russian).
- [8] Sorokin S.V., Soldatenko I.S. Osnovy razrabotki i programmirovaniya robototekhnicheskikh sistem: ucheb. posobiye [Fundamentals of development and programming of robotic systems]. Tver': Tver. gos. un-t, 2017, p. 157 (Russian).
- [9] Demonstratsiya robota-sortirovshchika [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.youtube.com/watch?v=miYMtGowyO4> (data obrashcheniya: 18.06.2023) (Russian).
- [10] Kostin S.V., Shamrayev A.A., Yakimaynen D.S. Avtomaticheskaya klassifikatsiya i sortirovka bytovykh otkhodov. Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii, 2022, 5-2, 204-208 (Russian).



Information about author

Ryazantsev Alexander Evgenievich ✉ – Ph. D. (Phys. & Math.), Associate Professor, Department of Informatics and Mathematics, Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia,  ORCID 0009-0006-8965-4300.