

УДК 004.932, 681.5, 004.738.5

## **РАЗРАБОТКА ДОСТУПНОГО УСТРОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТА В ШРИФТ БРАЙЛЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА WEMOS D1 R2**

Сицко А.Л., Сицко В.А.

*Институт информационных технологий БГУИР, г. Минск, Республика Беларусь,  
[v.sitsko@bsuir.by](mailto:v.sitsko@bsuir.by)*

В статье представлены результаты разработки и испытаний функционального прототипа доступного по стоимости устройства для преобразования цифрового текста в тактильный шрифт Брайля. Актуальность работы обусловлена высокой стоимостью коммерческих аналогов, таких как брайлевские принтеры и дисплеи, что ограничивает их доступность для широкого круга пользователей. В качестве аппаратной платформы используется микроконтроллер Wemos D1 R2 на базе ESP8266 с модулем Wi-Fi для беспроводного приема данных. Управление механическими точками Брайля осуществляется с помощью сервоприводов. Клиентское приложение для ввода текста разработано на языке Python с использованием фреймворка Kivy.

**Ключевые слова:** шрифт Брайля; микроконтроллер; Wemos D1 R2; сервопривод; доступные технологии; инклюзивные устройства; беспроводная связь; Python; Kivy; тактильный дисплей.

Обеспечение равного доступа к информации для людей с нарушениями зрения остается одной из важнейших задач современного общества. Тактильный шрифт Брайля, являясь универсальной системой письменности, играет ключевую роль в образовании, профессиональной деятельности и повседневной жизни незрячих и слабовидящих людей [1]. Однако устройства, позволяющие отображать цифровой текст в реальном времени в виде рельефно-точечных символов (брайлевские дисплеи), обладают prohibitive стоимостью, обусловленной сложностью их электромеханической конструкции [2]. Это делает их малодоступными для многих пользователей, особенно в странах с развивающейся экономикой.

Существующие аналоги, такие как брайлевские принтеры (например, от компаний Braillo и Index Braille), обеспечивают высокое качество печати на бумаге, но лишены возможности динамического обновления контента, обладают большими габаритами и требуют специальных расходных материалов [3]. Брайлевские дисплеи (HumanWare, Freedom Scientific) лишены этих недостатков, но их стоимость исчисляется тысячами долларов, а количество одновременно отображаемых символов ограничено. Приложения для смартфонов (KNFB Reader, Seeing AI), преобразующие текст в аудио, решают проблему доступа к информации, но не обеспечивают непосредственного тактильного восприятия, критически важного для грамотности и работы с формулами или сложными текстами.

Целью данной работы является разработка, создание и испытание функционального прототипа устройства преобразования текста в шрифт Брайля, которое было бы значительно дешевле коммерческих аналогов, сохраняя при этом базовую функциональность динамического тактильного дисплея. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

Ядром разрабатываемого устройства выбран микроконтроллер Wemos S2 mini (рис. 1), представляющий собой плату развития на базе чипа ESP8266. Данный выбор обусловлен наличием интегрированного модуля Wi-Fi стандарта 802.11 b/g/n, что позволяет организовывать беспроводную связь с клиентским приложением без необходимости использования дополнительных компонентов. Микроконтроллер работает на тактовой частоте 80 МГц (с возможностью разгона до 160 МГц), обладает 4 МБ флэш-памяти и поддерживает интерфейс программирования через Arduino IDE, что значительно ускоряет процесс разработки прошивки [4].

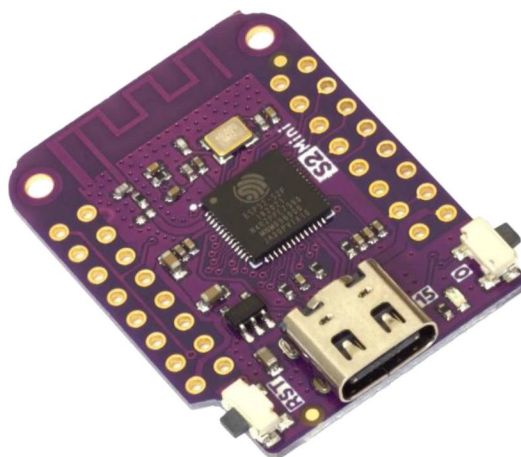


Рисунок 1 – Микроконтроллер Wemos S2 mini

Для тактильного отображения символов Брайля использованы 6 сервоприводов модельного ряда SG90 (рис. 2). Каждый сервопривод отвечает за формирование одной точки в брайлевском символе, который стандартно состоит из шести позиций, организованных в два столбца и три строки. Сервоприводы обеспечивают угол поворота до  $180^\circ$  и достаточный момент для перемещения штырей. Управление осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).



Рисунок 2 – Сервопривод SG90

Для навигации по тексту и переключения между символами в устройство интегрирована тактовая кнопка. Она подключена к цифровому входу микроконтроллера с использованием резистора подтяжки для обеспечения стабильного чтения состояния.

Электропитание системы осуществляется от внешнего источника питания на 5 В, способного обеспечить пиковый ток, необходимый для одновременной работы всех шести сервоприводов.

Схема электрических соединений всех компонентов была разработана в среде Fritzing (рис. 3). Сервоприводы подключены к выводам микроконтроллера, поддерживающим ШИМ-сигнал (D1, D2, D5, D6, D7, D8), кнопка – к выводу D3, а питание подается на соответствующие контакты VIN и GND.

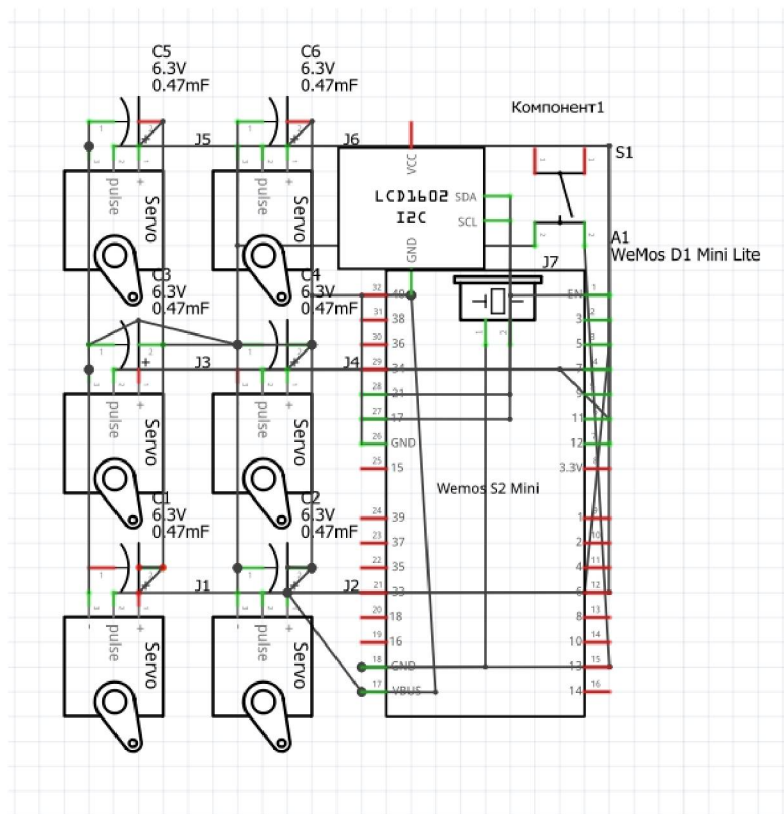


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства в Fritzing

Программная часть системы состоит из двух независимых модулей: прошивки для микроконтроллера и клиентского приложения для ПК.

Прошивка для Wemos D1 R2 была написана на языке C++ в среде Arduino IDE. Ее логика включает:

1. Подключение к беспроводной сети Wi-Fi с использованием заранее заданных учетных данных (SSID и пароля).
2. Запуск TCP-сервера на определенном порту для прослушивания входящих подключений от клиентского приложения.
3. Прием по TCP-соединению строки, представляющей собой последовательность символов.
4. Преобразование каждого полученного символа в соответствующий 6-битный код Брайля. Для хранения соответствий между символами кириллицы/латиницы и брайлевскими кодами использовался массив структур.
5. Циклическое управление сервоприводами в соответствии с текущим отображаемым символом. Каждый бит брайлевского кода соответствует положению одного сервопривода: «1» – поднятая точка (сервопривод поворачивается в заданный угол), «0» – опущенная точка.
6. Обработка нажатия кнопки для перехода к следующему символу в принятой строке.

Клиентское приложение (рис. 4) разработано на языке Python с применением фреймворка Kivy для построения кроссплатформенного графического интерфейса [5]. Его функционал включает:

- Отображение текстового поля для ввода пользователем произвольного текста.
- Кнопку «Отправить», при нажатии на которую введенный текст преобразуется в строку и отправляется по TCP-протоколу на IP-адрес микроконтроллера в сети.
- Преобразование кириллических символов в соответствующие им символы Брайля первой (базовой) степени.



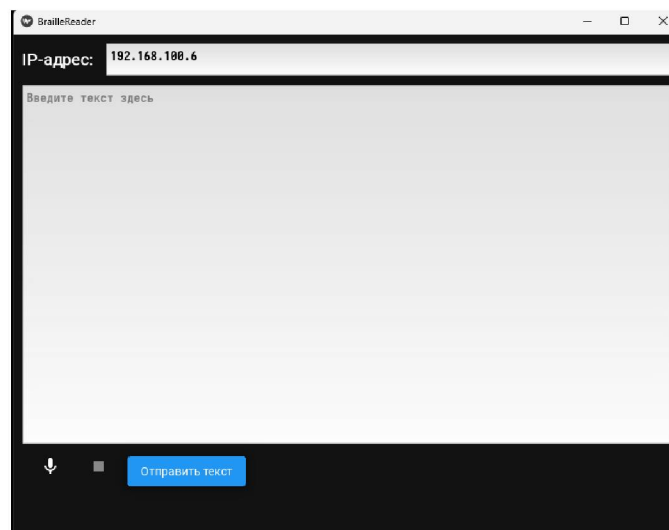


Рисунок 4 – Интерфейс клиентского приложения на Python/Kivy

Для преобразования вращательного движения сервопривода в линейное перемещение штыря, непосредственно формирующего тактильную точку, был разработан линейный редуктор. Его конструкция включает:

- Шестерню, закрепляемую на валу сервопривода.
- Зубчатую рейку (штырь), входящую в зацепление с шестерней.
- Направляющий корпус, обеспечивающий строго линейное движение рейки без перекосов.

3D-модели всех компонентов редуктора были созданы в параметрической САПР FreeCAD, что позволило легко вносить конструктивные изменения. Модели были материализованы методом послойного наплавления (FDM) на 3D-принтере с использованием пластика PLA.

Общий корпус устройства, в котором размещены микроконтроллер, блок сервоприводов с редукторами и блок питания, был изготовлен из фанеры с использованием технологии лазерной резки, что обеспечило высокую точность и скорость изготовления.

В результате проведенной работы был собран полнофункциональный прототип устройства (рис. 5). Устройство успешно подключается к локальной сети Wi-Fi, принимает текстовые данные от клиентского приложения и корректно отображает символы кириллического и латинского алфавитов, а также цифры и основные знаки препинания.



Рисунок 7 – Общий вид прототипа (вид сверху)

Функциональное тестирование подтвердило работоспособность всех компонентов системы. Время отклика – промежуток между отправкой текста с клиентского приложения и установкой сервоприводов в соответствующее положение – составило менее 1 секунды для коротких строк, что является приемлемым показателем для взаимодействия в реальном времени. Механическая часть продемонстрировала достаточную надежность: штыри четко фиксируются в крайних положениях («поднято»/«опущено»), обеспечивая тактильно различимый рельеф.

Основным достижением работы является демонстрация значительного снижения стоимости базовой функциональности брайлевского дисплея без потери надежности работы. Это открывает перспективы для создания персонализированных и образовательных устройств, ранее недоступных из-за бюджетных ограничений.

Таким образом, представленный прототип служит доказательством концепции и прочной основой для дальнейших исследований и разработок в области создания доступных технологий.

### Литература

5. World Health Organization. Blindness and vision impairment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. – Дата доступа: 24.10.2025.
6. The Global Burden of Disease. Vision Loss Expert Group. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years [Электронный ресурс] // The Lancet Global Health. – 2021. – Режим доступа: [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(20\)30489-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(20)30489-7/fulltext). – Дата доступа: 24.10.2025.
7. Braille Printers & Embossers [Электронный ресурс] // American Printing House for the Blind. – Режим доступа: <https://www.aph.org/federal-quota/braille-printers-embossers/>. – Дата доступа: 24.10.2025.
8. Wemos D1 R2 Mini – Official Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1\\_mini.html](https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html). – Дата доступа: 24.10.2025.
9. Kivy: Cross-platform Python Framework for NUI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kivy.org/doc/stable/>. – Дата доступа: 24.10.2025.
10. Arduino Programming Language Reference [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/reference/en/>. – Дата доступа: 24.10.2025.

## DEVELOPMENT OF AN AFFORDABLE TEXT-TO-BRAILLE CONVERTER BASED ON THE WEMOS D1 R2 MICROCONTROLLER

Sitscko A.L., Sitscko V.A.

*Institute of Information Technologies BSUIR, Minsk, Republic of Belarus*

The article presents the results of the development and testing of a functional prototype of an affordable device for converting digital text into tactile Braille. The relevance of the work is due to the high cost of commercial analogues such as braille printers and displays, which limits their accessibility to a wide range of users. The ESP8266-based Wemos D1 R2 microcontroller with a Wi-Fi module for wireless data reception is used as the hardware platform. The mechanical Braille dots are controlled using servos. The text input client application is developed in Python using the Kivy framework.

Key words: Braille; microcontroller; Wemos D1 R2; servo drive; affordable technology; inclusive devices; wireless communication; Python; Kivy; tactile display.