

РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка 31 страница, 23 рисунка, 1 таблица, 29 источников.

БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, РАДИОМОДУЛЬ,
УСТРОЙСТВА ВВОДА, УДАЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ.

Объектами исследования являются широко распространенные и популярные радиомодули, доступные на современном рынке. Основными фокусами моего внимания стали радиомодули, которые применяют радиоканал или технологию Bluetooth в процессе передачи данных, а также включают в себя возможность работы с USB интерфейсом.

Эти радиомодули представляют собой важные компоненты в сфере беспроводных коммуникаций и технологий передачи данных. Выбор исследуемых модулей основан на их актуальности, практичности и способности обеспечивать эффективную передачу данных в различных контекстах.

В рамках данного исследования моя цель - проанализировать технические характеристики и функциональные возможности выбранных радиомодулей, выявить их преимущества и ограничения. Это позволит не только лучше понять текущий уровень технологического развития в данной области, но и предоставит ценные данные для разработки более эффективных и инновационных решений.

Содержание

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
Обзорный анализ радио модулей	7
1 Радиомодули на 2,4 ГГц	8
nRF24L01	8
nRF24LU1	9
JDY-40 (BK2461).....	11
TY24D (BK2461)	13
2 Bluetooth модули	15
HC-05 и HC-06 (BC417143B от Cambridge Silicon Radio (CSR))	15
JDY-31 (на чипе BK3231 от bolutek или beken)	20
CH582	22
3 Итоговое сравнение	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	28

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Радио модуль (Радиочастотный модуль) – это (обычно) небольшое электронное устройство, используемое для передачи и/или приема радиосигналов между двумя устройствами. Часто является встраиваемым компонентом системы. Беспроводная связь может осуществляться с помощью оптической связи или с помощью радиочастотной (RF) связи;

ПК – Персональный компьютер;

МК – Микроконтроллер;

SPI – Serial Peripheral Interface последовательный интерфейс для связи МК с другими внешними устройствами;

USB (Universal Serial Bus) – последовательный интерфейс для подключения периферийных устройств к вычислительной технике;

USB-HID – Human Interface Devices;

Datasheet – Техническая спецификация, карта данных, даташит. Это документ, который объединяет в себе технические характеристики продукта, материала, компонента (например, электронного) и предназначен для использования инженером-конструктором. Создается компанией-разработчиком (производителем) и начинается со вводной страницы, за которой следуют списки конкретных характеристик.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире беспроводные технологии играют все более важную роль и находят все большее применение в различных сферах нашей жизни. Одной из самых популярных и востребованных технологий является радиопередача, которая позволяет передавать данные без использования проводных подключений. В настоящее время стремительно развиваются различные беспроводные устройства, включая беспроводные устройства ввода и различные беспилотные роботизированные системы (одну из этих тем я как раз и возьму в качестве дипломной работы).

Плюс ко всему для беспроводных устройств ввода, может понадобиться интерфейс USB для создания приемной части (например, для отправки нажатых клавиш на ПК). Благо, сейчас, на рынке доступны разнообразные радио модули с поддержкой USB и радиопередачи, которые предлагают удобные встраиваемые решения для создания беспроводных устройств.

Таким образом, данная работа направлена на изучение и анализ представленных на рынке радио модулей с поддержкой радиопередачи и возможно USB. Исследование такой актуальной темы имеет большую практическую ценность, так как позволяет приобрести полезные знания о беспроводных технологиях, улучшить уровень комфорта при использовании устройств, а также расширить возможности для создания новых и инновационных проектов.

Целью данной работы является изучение различных радио модулей, описание их технических характеристик, сравнение и выбор наиболее подходящих модулей для конструирования беспроводной клавиатуры и радиоуправляемых роботизированных моделей. Также будут освещены основные принципы работы данных модулей, их возможности и ограничения. Полученные результаты и выводы помогут разработать эффективные решения для создания беспроводных устройств с использованием радио модулей с поддержкой USB и радиопередачи.

Обзорный анализ радио модулей

В первую очередь я отобрал ряд важных параметров, которые позволят понять, насколько выбранные модули подходят под намеченные мной проекты.

Итоговые характеристики модуля по выделенным критериям:

- Стоимость;
- Сложность интеграции в проект;
- Тип модуля (например, самостоятельно работающий микроконтроллер или радиомодуль, так как, опционально, в радиомодуль может работать как самостоятельный микроконтроллер, это позволит при производстве готового устройства использовать только один чип.);
- Стандарт радиопередачи;
- Примерная дальность работы;
- Наличие интерфейса USB (опционально присутствие протокола USB в чипе для того, чтобы его можно было использовать как принимающая сторона беспроводной части проекта, например для беспроводной мыши или клавиатуры).

В анализ не войдут Wi-Fi модули, так как они не подойдут для создания мыши или клавиатуры и скорее созданы для устройств интернета вещей.

1 Радиомодули на 2,4 ГГц

nRF24L01



Рисунок 1 – Внешний вид модуля nRF24L01

Наверное, самые популярные в сообществе модули радиопередачи, работающие на частоте 2.4 ГГц. Модули от известной и достаточно старой фирмы Nordic Semiconductor.

Эти модули достаточно дешевы и предоставляют отличный функционал за свою стоимость, а по тому очень популярны, и по этой причине для них в интернете можно найти огромное количество инструкций и библиотек [1],[2].

Хоть модули и используют частоту 2.4 ГГц, при этом они используют свой собственный протокол, который позволяет передавать данные на достаточно большие расстояния без потерь.

Основная особенностью модулей является их возможность соединения в сеть до 6 модулей с одним ведущим., при этом протокол поддерживает до 125 каналов (параллельно работающих сетей, при абсолютно чистом эфире) и скоростью до 2Mbps [3].

Несмотря на все эти преимущества у Nordic 24я серия считается устаревшей и вместо неё они советуют использовать Bluetooth стандарт на чипах nRF52х.

Модуль работает через протокол SPI и может работать только в связке с другими микроконтроллером выступая передающий и принимающей частью одновременно.

Также этот чип может работать и с другими микроконтроллерами 24й серии (nRF24*).

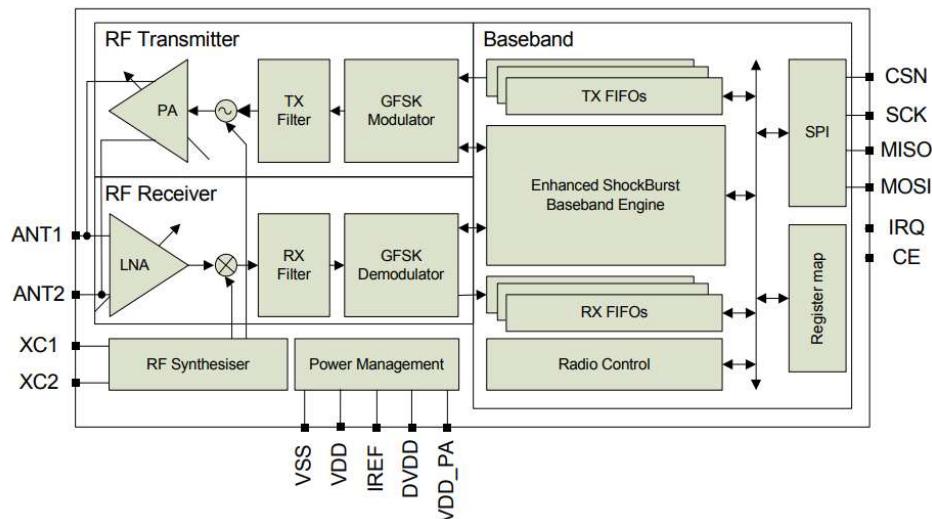


Рисунок 2 – Структурная схема nRF24L01

Структурная схема из datasheet чипа [4] очень аскетична, только антенна и SPI.

Однако помимо SPI выводов есть еще выводы IRQ и CE.

IRQ – выходной (активный - низкий уровень). При наличии одного из прерываний устанавливается низкий уровень на этой линии.

CE – Входной (активный - высокий уровень). Наличие высокого уровня на этом входе активирует режим приёма. В режиме передачи импульс не менее 10мкс начинает передачу.

Итоговые характеристики модуля по выделенным критериям:

- Стоимость: 80р;
- Сложность интеграции в проект: легкая;
- Тип: подключаемый модуль;
- Стандарт радиопередачи: 2.4ГГц;
- Наличие USB: нет.

nRF24LU1

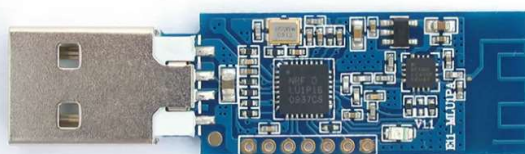


Рисунок 3 – Внешний вид отладочной платы nRF24LU1

Данный модуль содержит в себе уже не просто радиопередатчик и самостоятельный микроконтроллер на основе архитектуры 8051. В отличие от nRF24L01 этот микроконтроллер может сам выступать как управляющий компонент устройства. Он содержит как USB 2.0, UART, SPI. Также Микроконтроллер содержит портов и ввода вывода. Микроконтроллер 8051 является проверенным временем и надёжным решением.

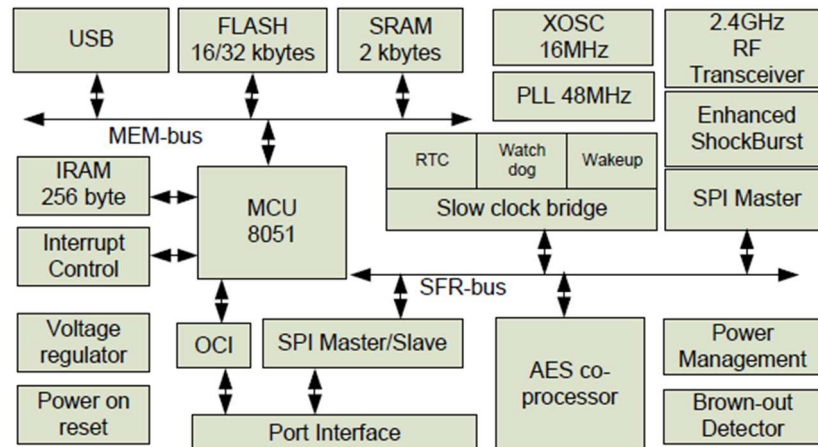


Рисунок 4 – Структурная схема nRF24LU1

Однако, не смотря на все улучшения, данный модуль плохо подходит для начинающих пользователей и для небольших проектов. контроллер программируется через среду Keil, его программирование является довольно нетривиальной задачей, поскольку в сети не так много открытых примеров программ под этот микроконтроллер, хотя несколько я все равно нашел [5], [6], [7]. Есть неплохой Datasheet [8].

Плюс ко всему данные микроконтроллер достаточно дорогой по сравнению с nRF24L01, потому и не такой распространённый.

А Nordic прекратили его поддержку и теперь официальных уроков по нему тоже нет, в этом плане лучше действительно посмотреть в сторону микроконтроллеров nRF52х.

В общем и целом, продукты от Nordic выглядят как платформа, для которой писать код должен хороший специалист, но никак не новичок.

Итоговые характеристики МК по выделенным критериям:

- Стоимость: 800р;

- Сложность интеграции в проект: сложная;
- Тип: интегрированный микроконтроллер;
- Стандарт радиопередачи: 2.4ГГц;
- Наличие USB: Есть.

JDY-40 (BK2461)

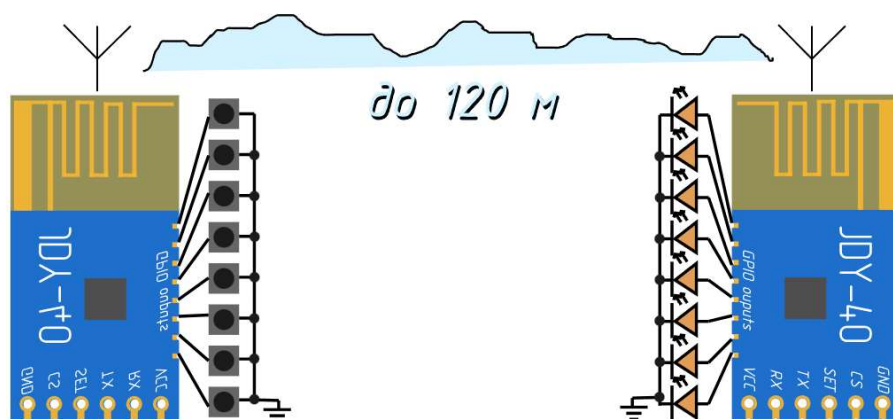


Рисунок 5 – Подключение радиомодулей в качестве пульта и приемника управляющего светодиодами

Асинхронный приёмопередатчик 200 р за пару

Частота передачи: 2,4 ГГц

Питание: 1.9-3.6V

Модуль радиопередачи, построенный на чипе BK2461. Пара таких модулей позволяет асинхронно передавать состояние 8 портов (при подтягивании к земле на модуле передачи, на модуле приема соответствующий порт подтягивается к питанию). Частота обновления до 7-8 герц. При этом модуль имеет нестабильность передачи поэтому для повышения надежности системы лучше использовать микроконтроллер, который будет отправлять и проверять контрольную сумму, чтобы убедиться в целостности полученных данных, например CRC [9], но в качестве самостоятельных устройств модули показывают себя не очень хорошо.

Также у модулей есть выводы RS232 TTL, что позволит микроконтроллерам обмениваться информацией через протокол UART.

Из datasheet на чип [10] можно понять, что USB у модуля нет, а также что у модуля есть 8КБ встроенной памяти, в которую сохраняются все его настройки. Также есть I2C, но про его подключение информации в сети нет.

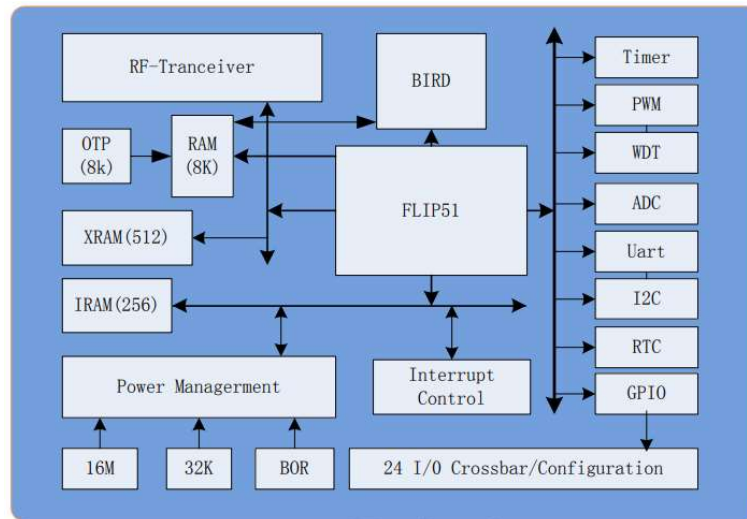


Рисунок 6 – Структурная схема VK2461

Более того в интернете есть проект отладочной платы для работы с VK2461 как с самостоятельным микроконтроллером [11], но способ этот экспериментальный и автор не добился большого успеха.

Есть отличная статья по подключению и настройке этих модулей [12], в которой также описывается, как UART может использоваться для настройки радиомодуля, а именно скорости и мощности передачи, идентификатора сети, идентификатора устройства, канала, и т.д.

Более того, для того чтобы модули успешно общались, у них должны быть одинаковые:

- AT+BAUD Скорость обмена (1200 - 19200 бод/с) (для UART);
- AT+RFID Идентификатор сети (0-65535);
- AT+DVID Идентификатор устройства (0-65535);
- AT+RFC Канал (1-128).

Кстати, для чипа лучше поставит конденсатор по питанию на 220 мкФ, так как модуль может делать скачки потребления тока.

При этом модуль можно погружать в спящий режим, подавая логическую единицу на вывод CS, естественно при спящем режиме потребление меньше, правда в режиме восьмиканального пульта спящий режим не работает. Потребление чипа при различных режимах передачи представлены ниже.

Режим A0 – передача данных через УАПП между модулями (напряжение питания 3.3В)

- Ток при передаче: 26 мА;
- Ток при приеме: 22 мА;
- Ток покоя (спящий режим): 9-12 мкА.

Режим C1 (пульт управления)

- Ток в режиме ожидания: 1.66 мА;
- Ток в режиме управления (один канал): 4.8 мА.

Режим C4 (приемник команд)

- Ток в режиме ожидания: 24.7 мА;
- Ток во время приема команды (один канал, с учетом СИД): 25.7 мА.

Список остальных режимов приведен в руководстве [12].

Итоговые характеристики модуля по выделенным критериям:

- Стоимость: 120р;
- Сложность интеграции в проект: легкая;
- Тип: подключаемый модуль;
- Стандарт радиопередачи: 2.4 ГГц;
- Наличие USB: Нет.

TY24D (BK2461)



Рисунок 7 – Внешний вид пары модулей TY24D

Данные модули представляют из себя урезанную непрограммируемую версию JDY-40 и содержат тот же самый BK2461, но уже с другими прошивками (только для приема и только для передачи). Модули не программируемые, так как отсутствует возможность подключения RS232 и

позволяют работать только в режиме пульт-приёмник. Также модуль поддерживает переключение режима приемника: триггер или прямая передача значений на входах.

Синхронизация модулей происходит посредством замыкания вывода 7 на землю на обоих модулях одновременно. Это автоматизирует процесс выбора идентификаторов и каналов.

В модуле сохраняется нестабильность радиопередачи для использования в моих целях модули не подходят, гораздо лучше здесь подойдут JDY-40 в связке с микроконтроллером. При той же стоимости плата JDY-40 может куда больше.

Напряжение питания и логических уровней 2.5-3.6В.

Подробнее про подключение данных модулей есть небольшой статье [13].

Итоговые характеристики модуля по выделенным критериям:

- Стоимость: 120р;
- Сложность интеграции в проект: легкая (ненадежное решение);
- Тип: модуль пульта;
- Стандарт радиопередачи: 2,4 ГГц;
- Наличие USB: Нет.

2 Bluetooth модули

HC-05 и HC-06 (BC417143B от Cambridge Silicon Radio (CSR))



Рисунок 8 – Внешний вид отладочных плат HC-05 и HC-06

Наверное, одни из самых популярных Bluetooth модулей, на которых строится огромное количество проектов хоббистов.

Управляет этим модулем чип радиопередачи CSR BC417 для хранения настроек, которого, используется внешняя микросхема flash-памяти на 1 Мб (на рисунке отмечена жёлтой галочкой).

В рознице чаще всего эти чипы встречаются в виде готовых модулей, которые представляют из себя две платы napayнные друг на друга. Каждая из плат предоставляет разные функционал и имеет разный подключаемый набор интерфейсов.

Устройство отладочных плат.

Чип памяти и чип радиопередачи распаяны на плату с антенной, на ней разведена необходимая для чипа обвязка и антенна. Данная плата имеет выводы для всех интерфейсов присутствующих на борту чипа BC417.

Маленькая плата распаяна на более большой отладочной плате, на которой есть обвязка для работы от напряжения 5V и конверторы уровней сигналов, светодиоды сигнализирующие о наличии питания и кнопка для вывода KEY (о нем ниже).

Есть две версии этой отладочной платы HC-05 и HC-06, Bluetooth чипы одинаковые и имеют одинаковую прошивку (зеленые платы тоже одинаковые). Модули отличаются наличием выводов Enable и State (управление питанием и индикация работы). И отдельно на HC-05 присутствует кнопка, замыкающая

вывод Key к питанию (3v3), что позволит редактировать настройки модуля через UART.

HC-05 отличается от HC-06 тем, что ему доступны оба режима работы: ведомый (master) и ведущий (slave). А вот HC-06 работает только ведомым, то есть он не способен находить другие устройства и самостоятельно устанавливать с ними связь (но это можно исправить допайкой внешней кнопки на вывод key).

Модули поддерживают BT версии 2.0. Их максимальная скорость работы – 3 Мегабита в секунду. Питание модулей: 1.8 - 3.6В для самих чипов, но на отладочной плате распаян стабилизатор питания от 5В и конверторы уровней. Передающая частота 2,4 ГГц.

Продаваемая отладочная плата работает со следующими протоколами:

- Bluetooth v2.0
- RS232 TTL

Маленькая плата распаянная на отладочной сама по себе имеет гораздо больше функций, которые представлены на рисунке (в том числе аппаратный USB)

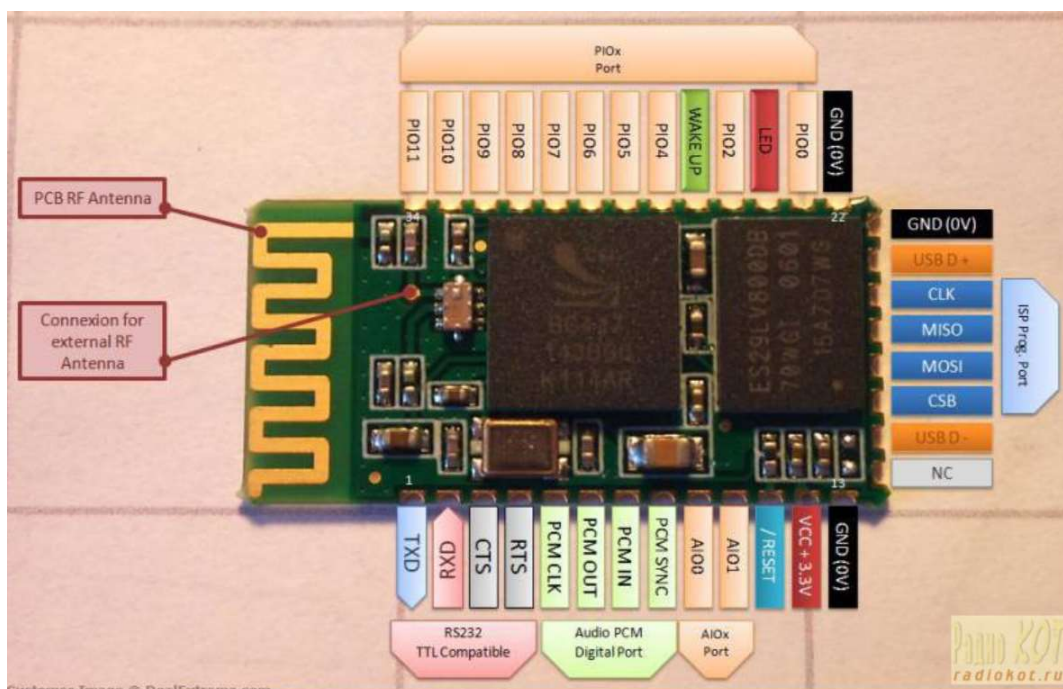


Рисунок 9 – Назначение выводов платы модуля CSR BC417

Есть официальный datasheet, из которого я узнал, что память у чипа, может быть, только внешняя и что тип его корпуса относится к BGA [14].

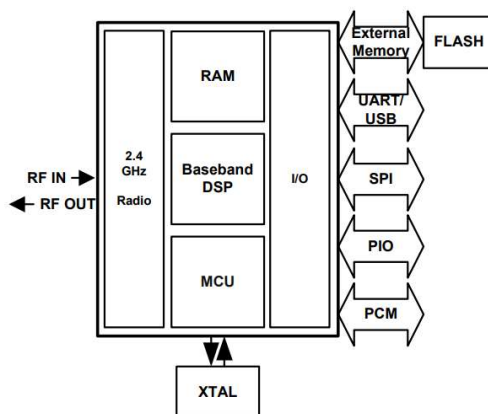


Рисунок 10 – Внутреннее устройство BC417143B

Работа с модулями и перепрошивка.

Есть хорошее руководство по работе с модулями HC-05 и 06 [15].

А также подробная инструкция по работе с отдельным модулем CSR BC417 с гораздо большим числом функций и прошивкой в него более функциональных прошивок от самой CSR [16].

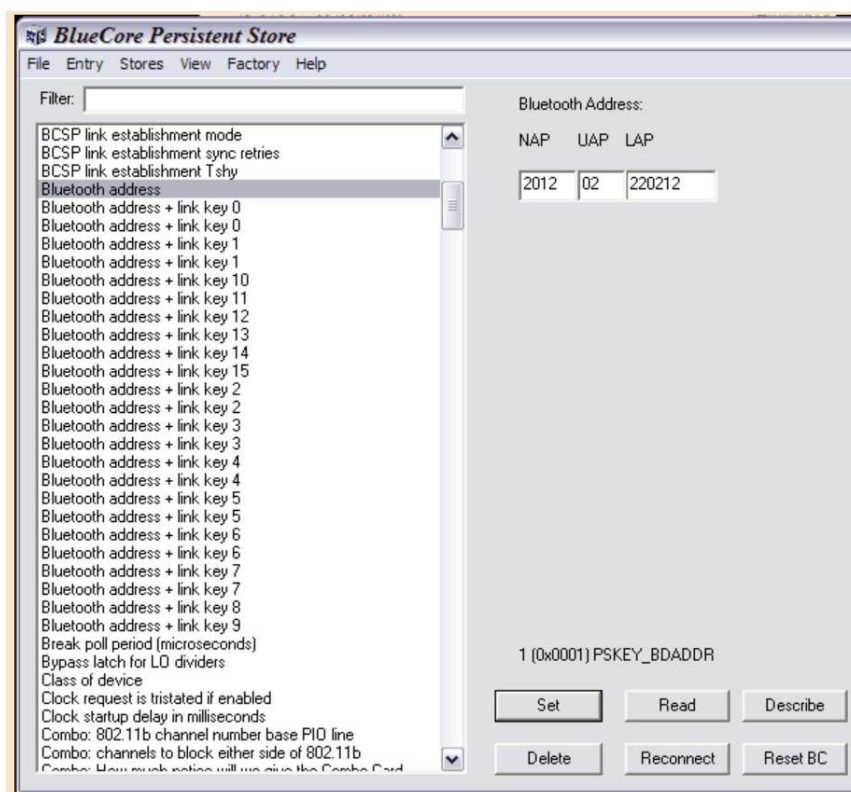


Рисунок 11 – Программа настройки модуля с прошивкой от CSR

Также при наличии прошивки от RN-42 (более функционального модуля за 2000р.), можно прошить её в HC-05, так как RN-42 основан на BC417, то есть у этих модулей одинаковая компонентная база, но разная стоимость как раз из-за прошивки [17], [18]

После таких манипуляций модуль сможет работать как хост устройство для различных устройств ввода, таких как клавиатура и мышь.

Прошивка плат с загрузчиком по Bluetooth

Кстати, так как эти модули фактически представляют из себя Bluetooth драйвер последовательного порта UART (TTL), то при наличии в микроконтроллере (который управляет радио модулем) Arduino загрузчика, этот микроконтроллер можно прошить по Bluetooth [19]

Поддельные модули

Я провел небольшое исследование рынка, и оказалось, что среди таких модулей часто встречаются подделки

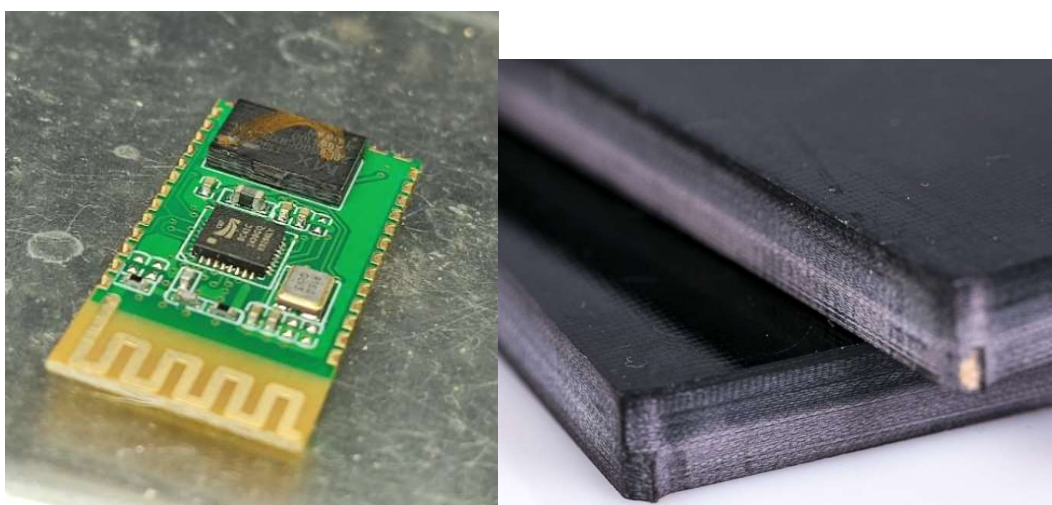


Рисунок 12 – Внешний вид поддельного модуля с бруском текстолита вместо чипа памяти (слева), промышленный текстолит на срезе справа

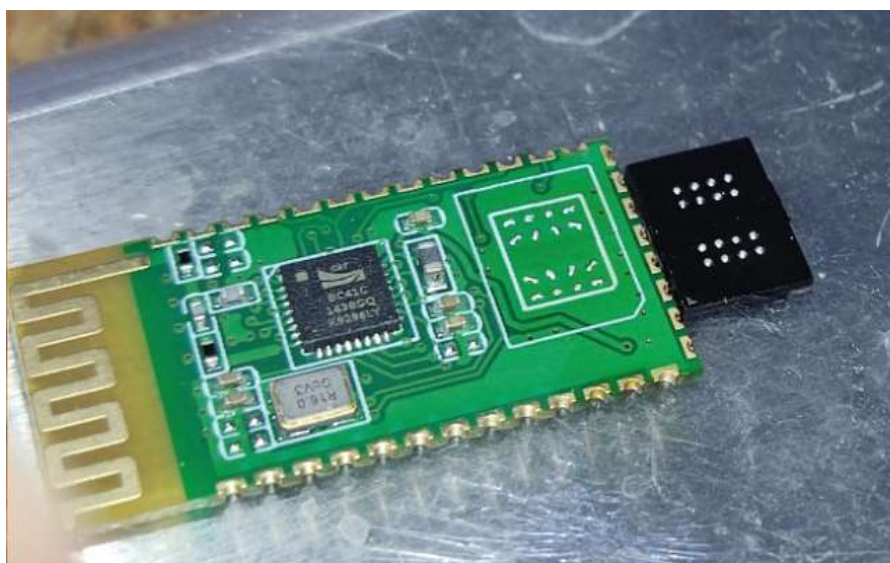


Рисунок 13 – Отпаянный чип памяти. Как видно на плате все выводы замкнуты на полигон земли

Про подделки модулей на CSR (HC-05 и HC-06) чип памяти не настоящий, сделан из бруска текстолита и припаян на общую шину (все выводы замкнуты).

Поскольку в поддельном модуле нет чипа памяти, то и хранить настройки нигде. Такие модули нельзя настроить через UART с помощью AT-команд, соответственно пропадает часть возможностей использования модуля, в том числе работа в режиме ведущего.

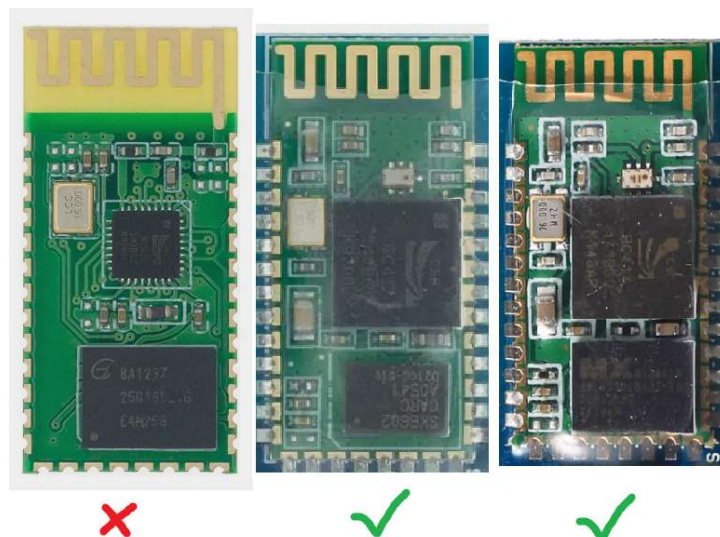


Рисунок 14 – Внешние различия оригинального модуля и поддельного (поддельный отмечен красным крестом)

У поддельного нет части элементов обвязки необходимых для чипа памяти и относительно большое расстояние между чипом Bluetooth и чипом памяти. Смотреть, естественно, стоит фотографии из отзывов покупателей, а не фотографии на странице товара.

Итоговые характеристики модуля по выделенным критериям:

- Стоимость: 300р;
- Сложность интеграции в проект: легкая (но с USB сложная);
- Тип: подключаемый модуль;
- Стандарт радиопередачи: Bluetooth;
- Наличие USB: есть (но только как хост для подключаемых устройств ввода и только после перепрошивки).

JDY-31 (на чипе BK3231 от bolutek или beken)

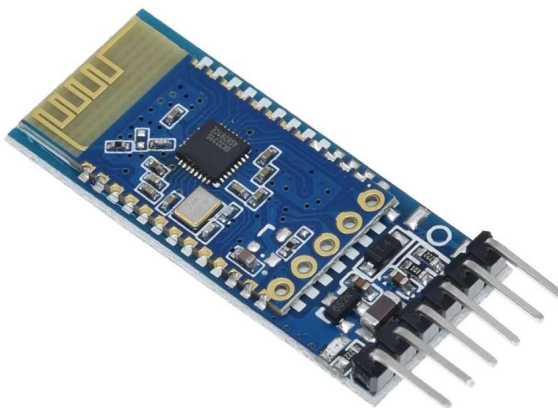


Рисунок 15 – Внешний вид модуля JDY-31

Модуль является аналогом HC-05 и имеет достаточно неплохой список команд в базовой прошивке, есть хорошая статья по знакомству с этим модулем [20].

Command	Description
AT	Check if the command terminal work normally
AT+RESET	Software reboot
AT+VERSION	Get firmware, bluetooth, HCI and LMP version
AT+HELP	List all the commands
AT+NAME	Get/Set local device name
AT+PIN	Get/Set pin code for pairing
AT+BAUD	Get/Set baud rate
AT+CLEAR	Remove the remembered remote address
AT+LADDR	Get local bluetooth address
AT+DEFAULT	Restore factory default
AT+COD	Get/Set local class of device
AT+IAC	Get/Set inquiry access code
AT+ROLE	Get/Set master or slave mode
AT+STATE	Get current state
AT+UARTMODE	Get/Set uart stop bits and parity
AT+ENABLEIND	Enable/Disable Indication print
AT+LSP	List Paired Device List
AT+RESETPDL	Reset Paired Device List
AT+REMOVEPDL	Remove one entry from Paired Device List

Рисунок 16 – На том же сайте есть замеры объема передаваемых данных на различных скоростях: 230400 бод — 185 Кб/сек, 9600 бод — 8 Кб/сек.

Вот структура чипа BK3231 представленная в Datasheet [21].

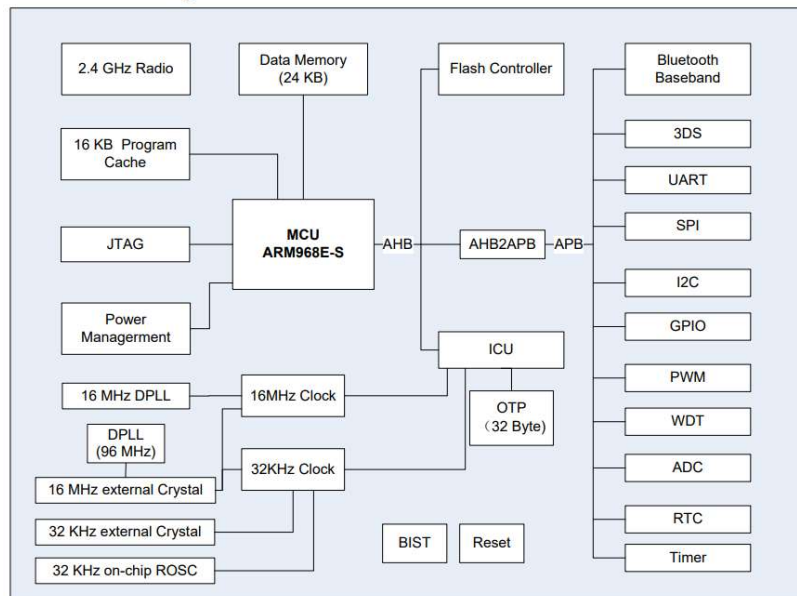


Рисунок 17 – Структурная схема чипа BK3231

В отличие от BC417 (HC-05), у этого модуля встроенная память, что уменьшает минимально необходимую обвязку. Также отсутствует интерфейс USB. Режим мастера при этом работает и все настройки меняются.

Есть еще одна инструкция с более подробными характеристиками модуля [22]:

- Напряжение питания: 3.6-6V;
- Ток потребления: 5 мА в режиме поиска, ~8 мА в режиме передачи;
- Логический уровень: 3.3V;
- Дальность связи: 30м;
- Версия Bluetooth: 3.0 SPP;
- Чувствительность антенны: -97dbm;
- Скорость UART: 9600-128000.

Итоговые характеристики модуля по выделенным критериям:

- Стоимость: 150р;
- Сложность интеграции в проект: легкая;
- Тип: подключаемый модуль;
- Стандарт радиопередачи: Bluetooth;
- Наличие USB: отсутствует.

CH582

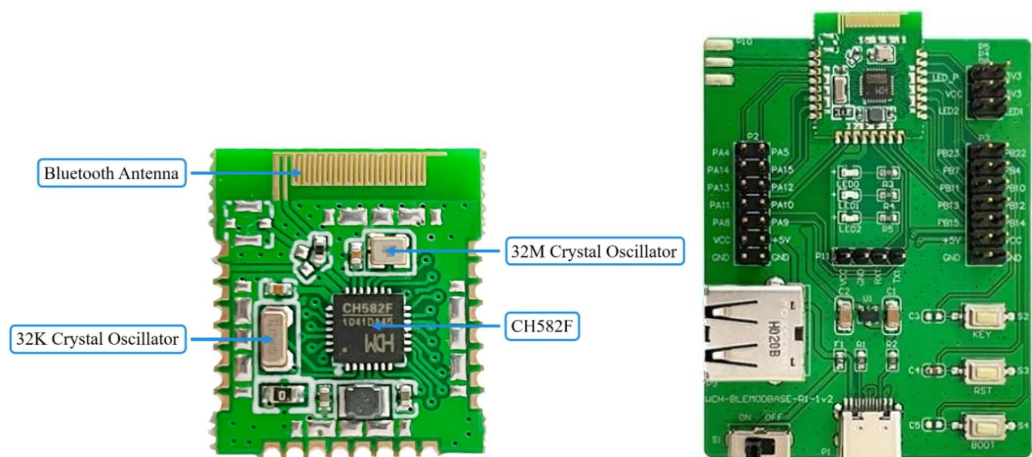


Рисунок 18 – Внешний вид отладочной платы CH582

CH582, наверное, самый лучший микроконтроллер в подборке по соотношению цена-качество (стоимость микроконтроллера в магазинах «Чип и Дип» 120р). Сделала его компания WCH которая также создала популярный USB TTL адаптер CH340

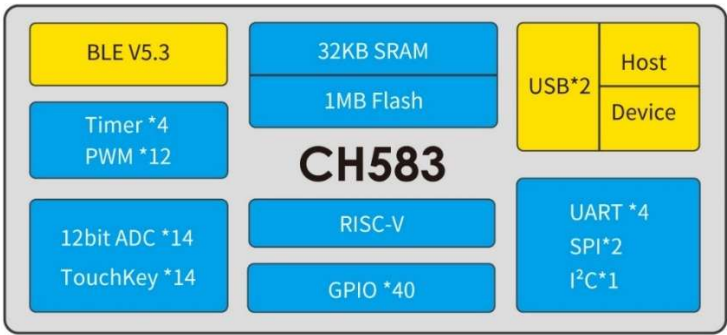


Рисунок 19 – Структура микроконтроллера CH58xx

Микроконтроллер построен на современной архитектуре RISC-V и имеет тактовую частоту в 20 МГц. По сравнению с другими микроконтроллерами из подборки обладает огромным количеством памяти в 448 КБ, и не менее огромным количеством оперативной памяти в 32 КБ.

Правда существует несколько вариаций микроконтроллера и среди них периферия и объем памяти может разниться, что описано в datasheet [23].

Part No.	CodeFlash +BootLoader +DataFlash	RAM	RT C	Timer	Capture	PWM	UA RT	SPI	I2C master slave	BLE	ADC and TS	Capacitive Touch-key	USB host	USB device	DC - DC	Min. supply voltage	GPIO	Package
CH583M	448+24+32K	30+2K	√	4	4	4+8	4	2	√	√	14+1	14	2	2	√	1.7V	40	QFN48
CH582M	448+24+32K	30+2K			4	4+8		master -slave	√		14+1	14	2	2	√	2.3V	40	QFN48
CH582F	448+24+32K	30+2K			4	4+6			√		8+1	8	2	2	√	2.3V	20	QFN28
CH581F	192+24+32K	30+2K			4	4+6	2		×		6+1	×	×	√	√	2.3V	20	QFN28

Рисунок 20 – Характеристики различных чипов CH58xx

Присутствуют все необходимые для построения беспроводных устройств ввода интерфейсы, SPI, I²C, UART, USB (device/host), BLE.

На портале Хабр есть отличная статья [24] рассказывающая, как начать работать с этим микроконтроллером и его Bluetooth стеком.

Есть библиотека с примерами от самой WCH [25], которая включает в себя большое количество примеров в том числе Bluetooth UART, а также USB HID (host/device). Что позволит сделать огромное количество различных разнообразных беспроводных устройств ввода.

Также есть ядро для работы с этим микроконтроллером в PlatformIO [26] и за время своего существования микроконтроллеры обросли огромным количеством библиотек в совершенно разных средах.

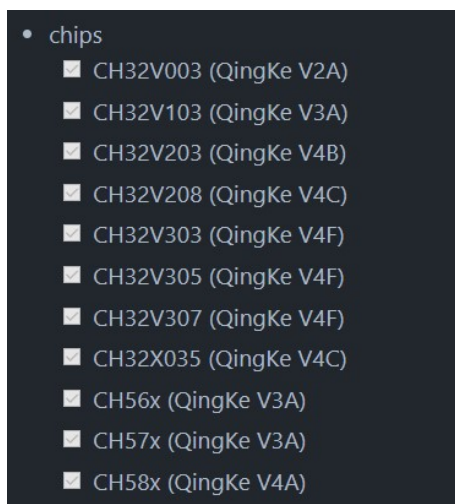


Рисунок 21 – Поддерживаемые в Platform IO микроконтроллеры

Для начала работы с микроконтроллером существует большое количество отладочных плат с удобным подключением периферии в том числе с USB и Bluetooth антенной.

А уже после разработки устройства отдельный микроконтроллер с разведённой на плате устройства обвязкой, или миниатюрный модуль, содержащий минимальную обвязку удобная более удобное подключение выводов который напаивается сверху платы

У WCH есть и множество других микроконтроллеров и все они удивляют своей низкой ценой и количеством реализованной периферии [27].



Рисунок 22 – Структура микроконтроллера CH32V003

Например, для микроконтроллера CH32V003 в сети даже есть ядро для программирования в Arduino-ide [28].

При этом хочется подчеркнуть, что микроконтроллеры построены на RISC-V архитектуре, а стоят при этом от 50 рублей.

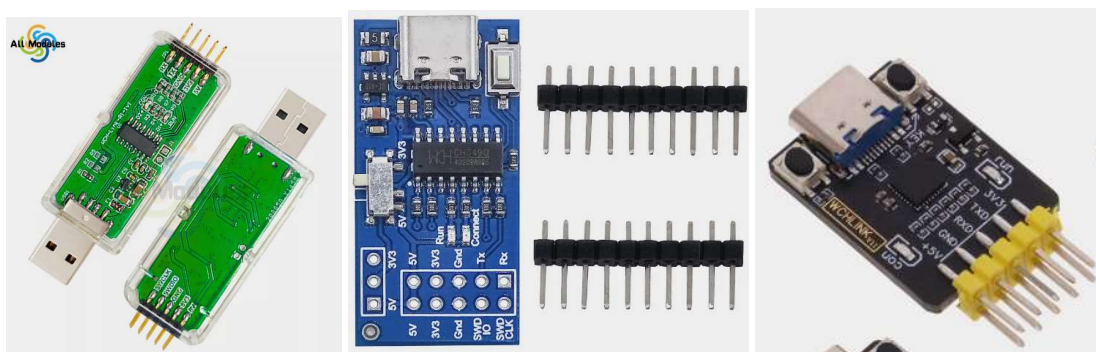


Рисунок 23 – программатор для контроллеров WCH, WCH-link

Естественно для микроконтроллера понадобится программатор, который тоже стоит недорого, порядка 150 рублей.

Также сообществом [29] были произведены замеры потребления питания чипа CH582M на плате YD-CH58x: Режим sleep - 2.7мкА (3 сек); Активность - чуть менее 3 мс - пробуждающий импульс включения в режим активности более 6 мА (с емкостным спадом ~0,4 мс); Потребление после включения - 1.2 мА (~1 мс); Передача - три пакета при 6..7.5 мА (~1.1 мс, 0дБ); Среднее потребление от 3.3В при интервале рекламы 3 сек - 6.75 мкА

Итоговые характеристики МК по выделенным критериям:

- Стоимость: 300р;
- Сложность интеграции в проект: средняя;
- Тип: интегрированный микроконтроллер;
- Стандарт радиопередачи: Bluetooth;
- Наличие USB: Есть.

3 Итоговое сравнение

Таблица 1 – Сравнение радиомодулей по выделенным критериям

Название модуля	Примерная стоимость	Сложность интеграции	Тип	Стандарт передачи	USB
nRF24L01	80p	легкая	подключаемый модуль	2.4ГГц	Нет
nRF24LU1	800p	сложная	интегрированный микроконтроллер	2.4ГГц	Есть
JDY-40	120p	легкая	подключаемый модуль	2.4ГГц	Нет
TY24D	120p	легкая (ненадежное решение)	модуль пульта	2,4 ГГц	Нет
HC-05 и HC-06	300p	легкая (с USB сложная)	подключаемый модуль	Bluetooth	* есть
JDY-31	150p	легкая	подключаемый модуль	Bluetooth	Нет
CH582	300p	средняя	интегрированный микроконтроллер	Bluetooth	Есть

* есть (но только как хост для подключаемых устройств ввода и только после перепрошивки).

Как видно из таблицы, самый хороший вариант по трудозатратам/бюджету/функциональности для проектирования устройств ввода будет микроконтроллер CH582 от компании WCH.

Причем при переходе от прототипа к созданию готового устройства лучше отказаться от отладочных плат и проектировать устройство под отдельный чип и свою обвязку, что при массовом производстве будет дешевле, из-за меньшей элементной базы.

А для построения радиоуправляемых роботизированных систем, при условии обязательного наличия в таких системах платы драйвера, лучше всего

подойдут модули JDY-40 и nRF24L01. Причем именно в виде готовых модулей, а не отдельных чипов. Такой подход позволит на ходу менять передающие модули у роботизированной системы под потребности заказчика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе данного исследования был проведен анализ рынка радиомодулей, ориентированных на управление роботами и создание устройств ввода. Полученные результаты позволяют подобрать оптимальную элементную базу.

В целом, исследование позволяет сделать вывод о том, что рынок радиомодулей стремительно развивается, предоставляя множество возможностей для решения актуальных задач. А что самое главное радиопередающие чипы доступны и массовому потребителю, и производитель в этом случае может предложить хорошую цену.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Подключение модулей связи 2,4ГГц на базе чипов nRF24L01+ к микроконтроллеру, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aterlux.ru/article/nrf24l01p> (дата обращения: 20.11.2023);
2. Модули беспроводной связи nRF24L01, настройка и примеры, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/AlexGyver/nRF24L01> (дата обращения: 20.11.2023);
3. Беспроводная сеть на Arduino и нескольких модулях NRF24L01, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/besprovodnaya-set-na-arduino-i-neskolkih-modulyah-nrf24l01/?amp=1> (дата обращения: 20.11.2023);
4. nRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://narodstream.ru/arm/download/LESSON103/nRF24L01%20datasheet.pdf> (дата обращения: 20.11.2023);
5. Работаем с USB стеком nRF24LU1+. Часть 1, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/382873/> (дата обращения: 20.11.2023);
6. Работаем с USB стеком nRF24LU1+. Часть 2, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/367955/> (дата обращения: 20.11.2023);
7. 8051 Programming Using Keil UVision IDE, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.instructables.com/8051-Programming-Using-Keil-UVision-IDE/> (дата обращения: 20.11.2023);
8. nRF24LU1+ Single Chip 2.4GHz Transceiver with USB, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Nordic/nRF24LU1P_1_0.pdf (дата обращения: 20.11.2023);

9. ЦЕЛОСТНОСТЬ ДАННЫХ, CRC, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alexgyver.ru/lessons/crc/> (дата обращения: 20.11.2023);
10. ВК2461 Datasheet, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arduinolab.pw/wp-content/uploads/2019/05/ВК2461-Beken.pdf> (дата обращения: 20.11.2023);
11. Own firmware for JDY-40 (ВК2461), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elektroda.com/rtvforum/topic3758492.html> (дата обращения: 20.11.2023);
12. Беспроводной модуль 2.4 ГГц JDY-40, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cxemka.com/40-besprovodnoi-modul-2-4-ggc-jdy-40-uartdistancionnoe-upravlenie.html> (дата обращения: 20.11.2023);
13. Модули дистанционного управления TY24D, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bestdiy.ru/moduli-distantsionnogo-upravleniya-ty24d-na-2-4-ggts.html> (дата обращения: 20.11.2023);
14. Single Chip Bluetooth v2.0+EDR System, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Bluetooth/CSR-BC417-datasheet.pdf> (дата обращения: 20.11.2023);
15. Arduino и модули Bluetooth HC-05/06, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://voltiq.ru/arduino-and-hc-05-hc-06/> (дата обращения: 20.11.2023);
16. Bluetooth по-китайски: теория и практика, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.radiokot.ru/circuit/digital/psmod/39/> (дата обращения: 20.11.2023);
17. Новые Bluetooth модули на чипе bk3231, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://forum.easyelectronics.ru/viewtopic.php?f=9&t=30187> (дата обращения: 20.11.2023);

18. Bluetooth HID gamepad using HC-05 module, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mitxela.com/projects/bluetooth_hid_gamepad (дата обращения: 20.11.2023);
19. Загрузка скетчей в Arduino через Bluetooth, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/235727/> (дата обращения: 20.11.2023);
20. Bluetooth-модуль bolutek для Arduino с UART-интерфейсом, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mysku.club/blog/aliexpress/40268.html> (дата обращения: 20.11.2023);
21. BK3231S Bluetooth SoC Datasheet, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://robojax.com/download/datasheet/robojax_bluetooth_relay12V_BK3231_blueooth_chip.pdf (дата обращения: 20.11.2023);
22. Arduino и Bluetooth JDY-31, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kit.alexgyver.ru/tutorials/bluetooth-jdy31/> (дата обращения: 20.11.2023);
23. CH583/CH582/CH581 Datasheet, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wch-ic.com/downloads/file/329.html?time=2022-04-27> (дата обращения: 20.11.2023);
24. BLE под микроскопом. WCH forever :-), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/729818/> (дата обращения: 20.11.2023);
25. RISC-V Core BLE5.3 MCU, CH583, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/openwch/ch583/tree/main> (дата обращения: 20.11.2023);
26. CH32V: development platform for PlatformIO, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/Community-PIO-CH32V/platform-ch32v> (дата обращения: 20.11.2023);

27. Обзор популярных 32-разрядных микроконтроллеров WCH, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://radiodetali.com/media/Пlya_2023/Documents/Обзор%20микроконтроллеров%20WCH.pdf (дата обращения: 20.11.2023);
28. Arduino Core for CH32V003, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/AlexanderMandera/arduino-wch32v003?tab=readme-ov-file> (дата обращения: 20.11.2023);
29. CH582M (CH581, CH582, CH583), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://esp8266.ru/forum/threads/ch582m-sh581-ch582-sh583.6371/page-2> (дата обращения: 20.11.2023).