

Интеллектуальные Wi-Fi-модули производства Bluegiga

Продукция фирмы Bluegiga предназначена для системных интеграторов, которые не имеют времени и желания вдаваться в подробности работы с технологией Bluetooth, но хотят в минимальные сроки реализовать в своих изделиях все ее преимущества. Российским разработчикам хорошо знакомы Bluetooth-модули фирмы Bluegiga, управляемые как с помощью набора простых команд, так и через HCI-интерфейс. Свою идеологию «интеллектуальных модулей» Bluegiga перенесла на технологию Wi-Fi. В 2012 году в продажу поступили первые Wi-Fi модули Bluegiga — WF111 и WF121.

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.
info@telemetry.spb.ru

Введение

Часто в литературе и Интернете технологии Wi-Fi и Bluetooth рассматриваются как конкурирующие. На самом деле каждая из этих технологий имеет свои уникальные характеристики, обуславливающие их оптимальные области применения. Более того, существуют модули, использующие обе технологии.

Технология Bluetooth основана на стандарте IEEE 802.15.1. В настоящее время используются в основном три спецификации этого стандарта. Модули со спецификацией Bluetooth 2.1 + EDR, class 1 позволяют передавать данные со скоростью до 3 Мбит/с на расстоянии до 1 км (на открытом пространстве) [1]. Эти модули применяются в беспроводной аудиоаппаратуре, шлезах Bluetooth-3G и медицинской технике.

Технология Bluetooth 3.0+HS позволяет получать скорость до 24 Мбит/с. Такая скорость достигается за счет того, что роль радиопотока играет стандарт 802.11, который является основой Wi-Fi. Технология Bluetooth 2.1 (802.15.1) применяется только на начальном этапе установления связи. Основной особенностью Bluetooth 3.0+HS является AMP (асимметричная мультипроцессорная обработка), которая представляет собой высокоскоростное дополнение к 802.11. Эта технология широко используется в современных мобильных телефонах для передачи видео- и аудиофайлов.

Технология Bluetooth 4.0 специально разработана для батарейных устройств, в которых требуется продолжительная автономная работа без подзарядки. Благодаря использованию специального алгоритма работы, при котором передатчик включается только на время передачи данных, в Bluetooth 4.0 удалось достигнуть ультранизкого энергопотребления. В режиме максимальной экономии ток потребления составляет всего 0,4 мкА [3]. Однако радиус действия таких модулей не превышает 150 м. Широкое применение такие модули нашли в различного рода беспроводных датчиках и ключах.

Технология Wi-Fi более молодая. Она была разработана в 1991 году фирмой NCR Corporation/AT&T и первоначально была предназначена для использования в торговых кассовых аппаратах. В основу технологии положена методика передачи данных по радиоканалу на частоте 2,4 ГГц с помощью кодирования сигнала рабочими частотами и специальными приложениями.

Основным преимуществом Wi-Fi перед другими технологиями (Bluetooth, ZigBee) является высокая скорость передачи.

Сегодня технология Wi-Fi используется для организации высокоскоростных беспроводных локальных сетей, работающих в международном, нелицензируемом диапазоне частот (ISM) 2,4 и 5 ГГц. Области применения этой технологии связаны с сетями для выхода в Интернет, беспроводной передачей видеоинформации и промышленной телеметрии.

Широко применяется Wi-Fi в различных беспроводных телеметрических системах на транспорте. Практически все беспроводные видеокamеры и регистраторы скорости, установленные на автомагистралях, построены на основе Wi-Fi. Также эта технология применяется для организации локальных сетей между зданиями и промышленными объектами. Благодаря жесткой привязке к конкретной области, внутри которой распространяется информация, Wi-Fi является идеальной технологией для платного выхода в Интернет в кафе, ресторанах и гостиницах.

Области применения технологий Bluetooth и Wi-Fi частично перекрываются в диапазоне частот 2,4 МГц при создании беспроводных сетей для передачи аудио- и видеоинформации.

Модуль Bluegiga WF121

Модуль WF121 представляет собой Wi-Fi-устройство, поддерживающее стандарты 802.11 b, g, n на центральной частоте 2,4 ГГц. Выбор режима работы реализуется с помощью про-

граммного обеспечения [3]. Модуль может работать с использованием 13 каналов в диапазоне частот 2402–2480 МГц. Полоса частот и подчастоты для устройств стандарта 802.11 выделяются и регламентируются в каждой конкретной стране уполномоченным на то правительственным органом. Местным законодательством установлены и правила эксплуатации самих устройств, их мощность, разбиение частотного диапазона, мощность передатчика и другие характерные особенности. В Российской Федерации таким органом является Министерство связи и массовых коммуникаций. В последнем нормативном документе этого министерства прописано, что в РФ разрешена эксплуатация всех вариантов стандартов 802.11 a, b, g, n на всех базовых частотах [4].

В режиме 802.11b модуль работает на центральной частоте 2,4 ГГц с максимальной скоростью до 22 Мбит/с. В спецификации 802.11b используется метод Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) — расширение спектра радиосигнала посредством применения прямой последовательности.

Основные радиочастотные параметры модуля WF121 при работе в режиме IEEE 802.11b приведены в таблице 1.

Стандарт 802.11g предназначен для устройств, работающих на частоте 2,4 ГГц с максимальной скоростью 54 Мбит/с. Этот стандарт задумывался как универсальный. Поэтому в нем допускаются методы расширения спектра, которые используются в предыдущих версиях, а именно DSSS, OFDM, PBCC. Основные радиочастотные параметры модуля WF121 при работе в режиме IEEE 802.11g приведены в таблице 2.

Выделенная для 802.11g полоса частот в России составляет 2400–2483,5 МГц. Частотный план (Frequency assignment plan) рассчитывается по формуле из таблицы 2. Стандарт 802.11g полностью совместим с 802.11b. Основное отличие от стандарта 802.11b заключается в методах доступа к среде и способах модуляции. В стандарте 802.11g используются технологии DSSS и PBCC, которые взяты из 802.11b. Метод OFDM принят из стандарта 802.11a. Методы модуляции DBPSK, QPSK, CCK, CCK и PBCC также взяты из 802.11a, b.

Не вдаваясь особенно в подробности, можно сказать, что стандарт 802.11g аналогичен стандарту 802.11b по частоте 2,4 ГГц и похож на стандарт 802.11a по максимальной скорости передачи 5,5 Мбит/с.

Стандарт 802.11n разработан для оборудования, функционирующего на центральных частотах 2,4 и 5 ГГц с максимально возможной скоростью вплоть до 600 Мбит/с. В модуле WF121 реализована только частота 2,4 ГГц.

Стандарт основан на технологии OFDM-MIMO. В стандарте IEEE 802.11n максимальная скорость передачи данных в несколько раз больше по сравнению с предыдущими версиями. Это достигается благодаря удвоению ширины канала с 20 до 40 МГц, а также за счет реализации технологии MIMO с множеством антенн.

В основу технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output) положена идея раздельного применения нескольких передающих и при-

емных антенн. В модуле WF121 нет поддержки MIMO. Этот модуль может работать только с одной антенной. Поэтому максимально возможная скорость передачи для модуля WF121 равна 72,2 Мбит/с, она достигается в режиме 802.11n при использовании метода модуляции 64-QAM.

Основные радиочастотные параметры модуля WF121 при работе в режиме IEEE 802.11n приведены в таблице 3.

Для стандарта 802.11n в России выделены одна полоса с центральной частотой 2,4 и две полосы в районе 5 ГГц:

- 2400–2483,5 МГц;
- 5150–5350 МГц;
- 5650–6425 МГц.

Количество поднесущих в канале определено равным 56 при ширине канала 20 МГц и равным 114 при ширине канала 40 МГц. Частотный разнос каналов разрешен как для 20 МГц, так и для 40 МГц.

Оборудование Wi-Fi в стандарте 802.11n может работать в трех режимах:

- Режим предыдущих версий (Legacy), в котором обеспечивается поддержка всех предыдущих версий стандарта 802.11a, b, g (нет поддержки 802.11n).
- Смешанный режим (Mixed), в котором обеспечивается поддержка всех предыдущих версий стандарта 802.11a, b, g и частичная поддержка 802.11n.
- Высокоскоростной режим (High Throughput, HT), в котором обеспечивается только полная поддержка 802.11n и не поддерживаются полностью все предыдущие версии.

В модуле WF121 реализованы только первые два режима. Режим HT в этом модуле не поддерживается. WF121 содержит аппаратную часть, встроенное программное обеспечение, микроконтроллер, встроенные TCP/IP-стеки (802.11 MAC). Модуль изготовлен на базе чипа Cambridge Silicon Radio CSR6031 UniFi.

Таблица 1. Основные радиочастотные параметры модуля WF121 при работе в режиме IEEE 802.11b

| Наименование параметра | Значение параметра | Метод модуляции |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Диапазон частот, МГц | 2402–2480 | |
| Метод расширения спектра | DSSS | |
| План частот | 2412 + 5(n-1), n = 1, 2... 13 | |
| Скорость передачи данных по радиоканалу, Мбит/с | 1 | DBPSK |
| | 2 | DBPSK |
| | 5,5 | CCK |
| | 11 | CCK |
| Максимальная мощность излучения передатчика, дБм | 22 | PBCC |
| | 17 | |

Таблица 2. Основные радиочастотные параметры модуля WF121 при работе в режиме IEEE 802.11g

| Наименование параметра | Значение параметра | Метод модуляции |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Диапазон частот, МГц | 2400–2483,5 | |
| План частот (центральные частоты каналов), МГц | 2412 + 5(n-1), n = 1, 2... 13 | |
| Режимы работы | DSSS, OFDM, PBCC, DSSS-OFDM | |
| Скорость передачи данных по радиоканалу и модуляции, Мбит/с | 1 | DBPSK |
| | 2 | DQPSK |
| | 5,5; 11 | CCK, PBCC |
| | 6; 9 | BPSK |
| | 12; 18 | QPSK |
| | 24; 36 | 16QAM |
| | 48; 54; 108 | 64QAM |
| Максимальная мощность излучения передатчика, дБм | 22; 33 | PBCC |
| | 15 | |

Таблица 3. Основные радиочастотные параметры модуля WF121 при работе в режиме IEEE 802.11n

| Наименование параметра | Значение параметра |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Диапазон частот, МГц | 2400–2483,5 |
| | 5150–5350; 5650–6425 |
| Метод доступа к среде | Множественный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий |
| Число потоков MIMO, не менее | Базовая станция — 2 |
| | Абонентская станция — 1 |
| Число потоков MIMO, не более | 4 |
| Метод расширения спектра | OFDM |
| Частотный разнос каналов, МГц | 20 и/или 40 |
| Количество поднесущих в канале | 56 (при ширине канала 20 МГц) |
| Максимальная мощность передатчика, работающего в диапазоне 2400–2483,5 МГц | 15 дБм |



Рис. 1. Внешний вид модуля WF121-A со встроенной антенной

В модуле используется 32-разрядный микроконтроллер PIC32MX695H, имеющий следующие характеристики: MIPS-архитектура, 80 МГц, 128 кбайт RAM и 512 кбайт Flash.

Чувствительность приемника составляет -97 дБм (опорный уровень на мВт). Максимальная мощность передатчика — $+17$ дБм. Питание модуля — 3,3 В. Максимальное пиковое значение тока потребления составляет 400 мА. В режиме передачи модуль расходует 300 мА. В режиме приема ток потребления равен 120 мА.

Модуль выполнен в форм-факторе для печатного монтажа. На его корпусе имеются 13 контактных площадок для постоянных сигналов: питание, «земля», антенна совместной работы с Bluetooth, USB VBUS INPUT, Reset и др. Кроме того, имеются 38 конфигурируемых вводов/выводов.

Диапазон рабочих температур — от -40 до 85 °С. Габаритные размеры модуля: $15,4 \times 26,2 \times 2,1$ мм.

Модуль соответствует всем международным стандартам и имеет сертификаты CE, FCC, IC и Telec.

Внешний вид модуля показан на рис. 1.

Встроенные стеки TCP/IP и 802.11 MAC позволяют поддерживать следующие протоколы: IP, TCP, UDP, DHCP, DNS, Bluegiga BGAPI и Bluegiga BGscript.

Различные стандарты семейства IEEE 802 строго регламентируют два нижних уровня семиуровневой модели OSI — физический и канальный, которые характеризуют особенности конкретных локальных сетей. Верхние уровни совпадают по своей структуре как для беспроводных, так и для проводных локальных сетей. Как и все стандарты этого семейства, Wi-Fi 802.11 работает на двух нижних уровнях модели ISO/OSI, физическом и канальном уровнях [6]. Поэтому сетевые приложения и сетевые протоколы, которые работают в Ethernet (стандарт 802.3), такие, например, как TCP/IP, могут аналогичным образом использоваться и в Wi-Fi-сетях 802.11. Иными словами, если есть некий Ethernet-роутер с несколькими входами, то для сети безразлично, будет ли к нему подключено проводное устройство стандарта 802.3 или беспроводное Wi-Fi-устройство стандарта 802.11. Все периферийные устройства будут «видеть» друг друга и правильно взаимодействовать.

Особенности различных локальных сетей отражены в разделении канального уровня (Data Link Layer) на два подуровня: уровень логической передачи данных (Logical Link Control, LLC) и уровень управления доступом к среде (Media Access Control, MAC) [6].

Уровень MAC обеспечивает корректное совместное использование общей среды. После получения доступа к среде ею может пользоваться более высокий уровень LLC, который

реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. Протоколы уровней MAC и LLC взаимно независимы. Поэтому каждый протокол уровня MAC можно применять с любым протоколом уровня LLC, и наоборот.

В стандарте 802.11 MAC похож на уровень, реализованный в 802.3 для Ethernet-сетей. Принципиальное отличие заключается в том, что в стандарте 802.11 применяется полудуплексный режим приемопередачи, не позволяющий обнаружить коллизии во время сеанса связи.

Для поддержки потокового видео в MAC 802.11 реализована функция Point Coordination Function (PCF). В режиме PCF только точка доступа управляет передачей данных по конкретному каналу. В этом случае точка доступа опрашивает все станции, и на каждую из них выделяется фиксированный промежуток времени. Ни одна из других станций не может осуществлять передачу в этот период.

Каждая точка доступа имеет свой уникальный ESS ID (WLAN Service Area ID), который необходим для установки соединения. На MAC-уровне предусмотрен контроль доступа и его ограничение. Протокол Bluegiga BGAPI предназначен для создания приложений с помощью встроенного микроконтроллера. Подробнее об этом будет сказано ниже. Для работы модуля в минимальной конфигурации достаточно подать на него питание и подключить линии UART (рис. 2).

В модуле поддерживаются следующие интерфейсы:

- конфигурируемые вводы/выводы;
- USB-OTG;
- UART (до четырех);
- PC;

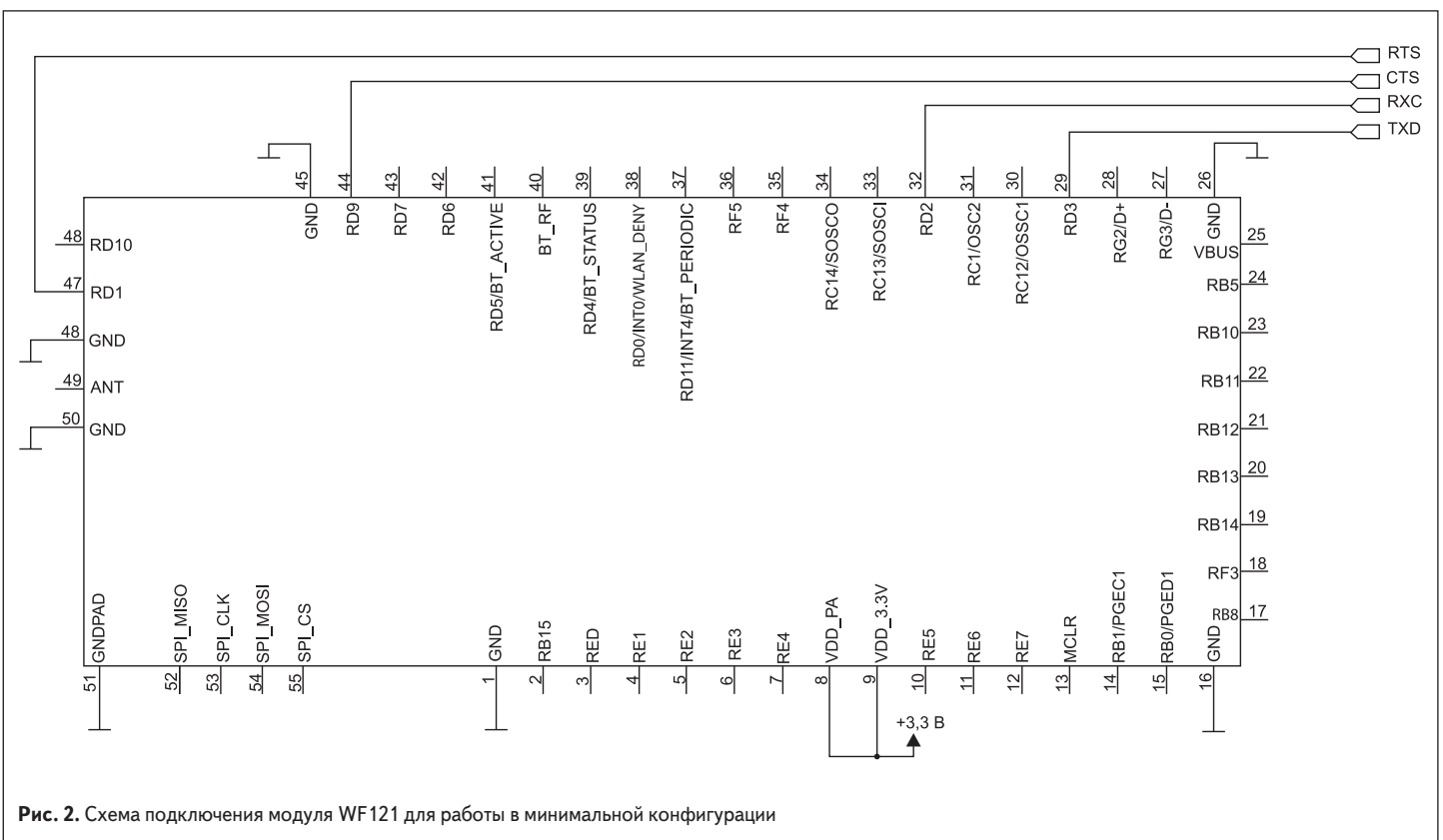


Рис. 2. Схема подключения модуля WF121 для работы в минимальной конфигурации

- SPI (до двух);
- Ethernet;
- цифровые программируемые входы/выходы;
- АЦП;
- пять таймеров;
- 8-разрядный параллельный порт (master/slave);
- программируемый интерфейс микроконтроллера;
- Bluetooth co-existence (контрольные линии для работы в зоне действия Bluetooth-устройств).

GPIO

В модуле WF121 поддерживается до 38 конфигурируемых вводов/выводов. Эти линии могут быть использованы в качестве вводов/выводов общего назначения, аналоговых вводов, а также в качестве исполнительных вводов встроенных функций. В модуле поддерживается функционирование следующих портов: USB-OTG, I²C, SPI, UART, Ethernet (MAC — RMII). Часть выводов совместимы с пятивольтовой логикой. Четыре вывода предназначены для разделения сигналов Wi-Fi- и Bluetooth-устройств, одновременно работающих в данном радиусе действия. Выводы конфигурируются с помощью прикладного программного обеспечения. При этом одни и те же выводы могут быть использованы для реализации различных интерфейсов.

Часть выводов можно конфигурировать с помощью ПО модуля WF121 с таким расчетом, чтобы они работали в качестве повышающей (pull-up) или понижающей (pull-down) линий. Все GPIO при перезагрузке модуля по умолчанию конфигурируются как понижающие входы (pull-down).

UART

Модуль WF121 имеет два 4-проводных интерфейса UART. Интерфейс UART (3,3 В) предназначен для обмена данными с внешними устройствами по последовательному порту с помощью контрольных линий RTS/CTS. Этот интерфейс позволяет передавать данные со скоростью от 1 до 20 Мбит/с. Он служит также для конфигурирования модема.

При стандартной работе UART используются четыре базовых сигнала. В том случае, когда модуль WF121 подключен по последовательному порту к другому внешнему устройству, будут задействованы два сигнала — UART_RX и UART_TX, обеспечивающие передачу данных между двумя устройствами. Если не нужны сигналы контроля установления связи UART_CTS и UART_RTS, то можно сконфигурировать четыре последовательных порта.

Аппаратная часть UART выполнена на основе CMOS-технологии и имеет сигнальные уровни, соответствующие 0V и VDD.

Программное обеспечение модуля позволяет менять базовые параметры UART, такие как скорость передачи, формат пакета, Data bits, Stop bit и HW handshaking. Следует обратить внимание на то, что для работы с внешним ПК на максимальной скорости необходимо использовать дополнительный адаптер последовательного порта.

Для работы в режиме UART bypass mode в модуле предусмотрена специальная ASCII-команда BCCMD.

USB OTG

В модуле поддерживается интерфейс USB OTG (On-The-Go 20 Мбит/с), который является расширением спецификации USB 2.0. С помощью этого интерфейса к модулю можно подключать периферийные USB-устройства, не требующие дополнительных драйверов.

Интерфейс USB OTG представляет собой законченную версию высокоскоростного устройства со скоростью передачи до 20 Мбит/с. Для работы с этим интерфейсом не требуется внешний USB-преобразователь. Модуль можно напрямую подключать к другим USB-устройствам. При работе с USB модуль WF121 действует как периферийное устройство, отвечающее «мастеру», например обычному ПК. При этом поддерживаются стандарты OHCI и UHCI.

Для передачи данных через USB-интерфейс используется линия USB_DP–USB_DN. Контакты этой линии подключены непосредственно к буферу USB базового чипа, который имеет низкий выходной импеданс. Поэтому при подключении модуля через USB-интерфейс к устройствам с высоким импедансом необходим согласующий резистор между кабелем и выводом USB_DP/USB_DN.

SPI

В модуле WF121 имеется два порта SPI, предназначенных для отладки и программирования, а также замены прошивки модуля. Порт SPI служит для конфигурирования PSKEY. При подключении SPI-интерфейса используются стандартные выводы MOSI, MISO, CSB и CLK (табл. 4). Через порты SPI можно передавать данные со скоростью до 40 Мбит/с.

I²C

Три порта I²C поддерживают скорость передачи от 100 до 400 кГц. Эти последовательные шины данных необходимы для соединения низкоскоростных периферийных компонентов с базовым чипом. Назначение сигналов приведено в таблице 5.

Ethernet

Входы/выводы могут быть сконфигурированы для интерфейса Ethernet (RMII). Уровень PHY должен поддерживать EREFCLK с частотой 50 МГц.

АЦП

С помощью микроконтроллера PIC32MX695H в модуле поддерживается 10-разрядный АЦП, работающий со скоростью до 1 Мбит/с. Измеряемый аналоговый сигнал может быть снят с выводов общего назначения. К этим выводам можно подключать аналоговые датчики и считывать их показания с помощью специальных команд. Подробно эта процедура описана в [5].

JTAG

На корпус модуля выведены программируемые входы/выводы, позволяющие работать с микроконтроллером с помощью отладочных средств Microchip. Назначение выводов приведено в таблице 4.

Bluetooth co-existence

При работе модуля WT121 на частотах 2402–2480 МГц могут возникать помехи от Bluetooth-устройств, которые работают в частотном диапазоне 2400–2483,5 МГц. Эти сигналы модуль WT121 может воспринимать как полезные и пытаться их обрабатывать. В результате связь будет постоянно прерываться. Существует несколько способов, предотвращающих подобные ситуации. В одних случаях используются специальные хост-драйверы, контролируемые временные и частотные параметры устройств. В других — дополнительные аппаратные средства, позволяющие разделять Bluetooth и Wi-Fi сигналы. В модуле WT121 реализована поддержка нескольких различных методов с помощью контрольных сигналов BT_PERIODIC, WLAN_DENY, BT_STATUS, BT_ACTIVE. Эти сигналы выведены на соответствующие контактные площадки. Подробно метод разделения рассмотрен в [5]. Также в модуле WT121 поддерживается дополнительная антенна, которая позволяет выделить и исключить из обработки Bluetooth-сигналы.

Для настройки оборудования, разрабатываемого на базе модулей WF121, используется отладочный комплект WF121 Evaluation kit [5].

В состав отладочного комплекта входят плата с модулем WF121-A, отладочные кабели и блок питания. На отладочной плате имеются: последовательный порт, встроенный USB-RS232 конвертер, Ethernet, место для макетирования. Важной особенностью является возможность питания платы по шине USB. Множество контрольных точек позволяет измерять напряжение и логические параметры в наиболее важных местах схемы. В комплект документации входят принципиальная и печатная схемы. Управление

Таблица 4. Назначение вводов/выводов портов SPI и I²C

| Номер вывода | I ² C | SPI |
|--------------|---------------------------------|--------------------------|
| 17 | | SS4 — Slave select SPI 4 |
| 19 | | SCK4 — Clock SPI 4 |
| 29 | SCL3 — Clock I ² C 3 | SDO3 — Data out SPI 3 |
| 32 | SDA3 — Data I ² C 3 | SDI3 — Data in SPI 3 |
| 35 | SDA5 — Data I ² C 5 | SDI4 — Data in SPI 4 |
| 36 | SCL5 — Clock I ² C 5 | SDO4 — Data out SPI 4 |
| 46 | SCL1 — Clock I ² C 1 | |
| 44 | SDA1 — Data I ² C 1 | SS3 — Slave select SPI 3 |
| 47 | | SCK3 — Clock SPI 3 |

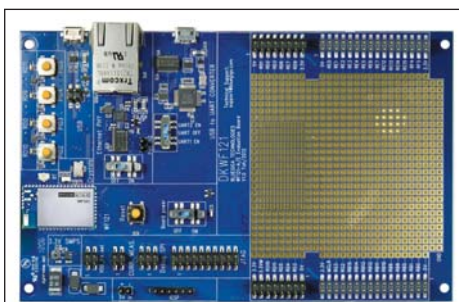


Рис. 3. Внешний вид отладочного комплекта WF121

модулем осуществляется через порты UART и USB. Внешний вид отладочного комплекта показан на рис. 3.

На штыревые разъемы выведены все пользовательские I/O. Кроме того, все I/O выведены на специальные контактные площадки, расположенные в виде решетки с шагом 1,27 мм (рис. 3). Такая конструкция позволяет легко подключать к модулю WF121-A внешние сенсоры и исполнительные устройства, имеющие SMD-корпуса.

Отладочный комплект дает возможность создавать собственные приложения пользователя, работающие на встроенном микроконтроллере модуля. С помощью отладочного комплекта можно разрабатывать конкретные схемы предотвращения коллизий с Bluetooth-устройствами. В модуле WF121 поддерживаются промышленные стандарты 2-wire и 3-wire, а также схемы разделения Wi-Fi- и Bluetooth-сигналов в соответствии с утилитами Unity-3, Unity-4, Unity-3e, Unity+-extension. Есть также встроенный переключатель Wi-Fi- и Bluetooth-антенн. Соответствующие сигналы выведены на контрольные площадки.

В отладочном комплекте есть пять светодиодов, предназначенных для контроля работы модуля. В памяти модуля WF121 прошито фирменное программное обеспечение, с помощью которого поддерживается полный TCP/IP-стек и реализуется управление работой модуля. Существуют три основных способа работы с модулем: управление через центральный хост, управление с помощью программ пользователя и управление с помощью команд машинного языка встроенного процессора.

Управление через центральный хост осуществляется в том случае, когда модуль физически подсоединен к внешнему процессору через один из описанных выше интерфейсов. Тогда управление реализуется с помощью простых команд.

Для работы с модулем WF121 специалисты фирмы Bluegiga разработали специальное программное обеспечение, позволяющее управлять модулем с помощью простых команд. На основе этого ПО можно создавать приложения пользователя и обрабатывать их непосредственно на самом модуле. Для использования этого ПО необходимо 64 кбайт RAM и 256 кбайт Flash.

Программное обеспечение Wi-Fi Bluegiga поддерживает полную функциональность стандарта 802.11 и различные сетевые протоколы, такие, например, как TCP/IP, TCP, UDP, DHCP, IP и ICMP.

ПО Wi-Fi Bluegiga имеет удобный в работе командный интерфейс и состоит из двух основных блоков — ANSI BGLib и BGScript. Утилита BGLib написана на языке ANSI C. Она управляет хостом и обеспечивает передачу данных на основе протоколов верхнего уровня. Для работы с этой утилитой имеется отладочный комплект GUI tools и библиотека для языка python.

Программное обеспечение позволяет устанавливать Wi-Fi-соединение между устройствами и передавать данные в заданном режиме.

Небольшое приложения пользователя можно создавать с помощью BGScript. Эти приложения обрабатываются непосредственно на модуле без использования внешнего компьютера.

Подробно ПО BG Wi-Fi Software описано в [9]. Для разработки собственного ПО можно использовать Wi-Fi Software Development Kit.

Модуль Bluegiga WF111

Модуль WF111 изготовлен на базе такого же чипа CSR6031, что и модуль WF121. Поэтому радиочастотные характеристики этих модулей совпадают. Различие между модулями заклю-

чается прежде всего в наличии встроенного микроконтроллера, в типах интерфейсов, операционной системе и поддержке прикладного программного обеспечения. Сравнительные характеристики модулей WF111 и WF121 приведены в таблице 5.

В модуле WF111 нет встроенного микроконтроллера. Поэтому в нем не поддерживаются прикладное программное обеспечение и соответствующие интерфейсы программирования. В этом модуле нет UART, USB, SPI, Ethernet и I²C.

SDIO

В модуле поддерживаются хост-интерфейсы SDIO 4-bit, SDIO 1-bit. Модуль работает с драйверами «SDIO drivers for Linux 2.6, 3.x kernel». Напряжение питания модуля — 3,3 и 1,8 В. Стандарт SDIO (Secure Digital Input/Output) был предназначен для работы со слотом расширения формата SD/MMS. Первоначально стандарт SDIO был разработан для того, чтобы совместить различные карты памяти по основным параметрам: конструкция разъема, основные электрические сигналы, протоколы передачи

Таблица 5. Сравнительные характеристики модулей WF111 и WF121

| Наименование | WF111 | WF121 |
|----------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Параметры радиоканала | | |
| Максимальная мощность передатчика, дБм | +17 | +17 |
| Максимальная чувствительность приемника, дБм | -91 | -91 |
| Радиус действия, м | 300–500 | 300–500 |
| Хост-интерфейсы | | |
| SDIO | Да | Нет |
| CSPI | Да | Нет |
| UART | Нет | Да |
| USB | Нет | Да |
| Интерфейсы пользователя | | |
| SPI | Нет | До 2 |
| UART | Нет | До 4* |
| USB | Нет | 1xOTG |
| Ethernet MAC | Нет | 1 |
| I ² C | Нет | До 2 |
| GPIO | 6 | До 38 |
| AIO | Нет | До 10 |
| Микроконтроллер | Нет | Да |
| Архитектура | Нет | Mips 4K |
| Частота, МГц | — | 80 |
| Память RAM | Нет | 128 кбайт (64 кбайт свободно) |
| Память Flash | Нет | 512 кбайт (256 кбайт свободно) |
| Базовое напряжение питания, В | 1,8 и 3,3 | 2,7–3,6 |
| Интерфейс программирования | | |
| Bluegiga BGAPI binary protocol | Нет | Да |
| Bluegiga BGLib host library | Нет | Да |
| Драйверы ОС | | |
| Linux | Да | Не нужен |
| Windows | Нет | Не нужен |
| Прикладное программное обеспечение | | |
| On-board applications | Нет | Да |
| Bluegiga BGScript support | Нет | Да |
| Firmware development service | Нет | Да |
| Отладочный комплект | Linux wireless tools | Bluegiga SDK |
| Габаритные размеры, мм | 12,0×19,0×2,1 | 15,4×26,2×2,1 |

данных, питание, программное обеспечение. Основная задача этого стандарта заключалась в создании быстродействующего интерфейса для вводов/выводов с низким энергопотреблением.

Аббревиатура SDIO указывает на возможность контроллера использовать не только карты памяти, но и периферийные устройства, совместимые с этим разъемом. Большинство современных моделей беспроводных систем позволяют вставлять в гнездо SD такие устройства, как Wi-Fi, Bluetooth точки доступа, GPS-адаптеры, цифровые камеры, RFID-приемники и другие. При этом любое внешнее устройство, совместимое по разъему со стандартом SDIO, не должно вызывать нарушение работы основного устройства на программном и физическом уровнях. Сразу после того как карта будет вставлена в слот, начнется процесс ее идентификации. В этом состоянии ток потребления карты не превышает 15 мА. Если внешнее устройство не соответствует стандарту, то оно будет просто проигнорировано основным устройством.

Если внешнее устройство идентифицировано как соответствующее стандарту SDIO, на него подается полное питание, и подключаются соответствующие драйверы, предоставляющие доступ к основному программному обеспечению.

Базовый стандарт SDIO поддерживает два типа SD: SPI, 1-bit SD и 4-bit SD. Полоса частот — от 0 до 25 МГц. Высокоскоростные карты (4-bit SD) имеют скорость передачи до 100 Мбит/с.

Для работы другого типа карт (Low-Speed SDIO card) достаточно интерфейса SPI и однобитового варианта SD-интерфейса. Медленные карты дешевле и их интерфейс значительно проще, чем у высокоскоростных карт. Медленные карты предназначены для работы с модемами, считывателями бар-кодов, GPS-приемниками.

В модуле WF111 поддерживаются оба вида интерфейсов — высокоскоростной (4 бит) и медленный (1 бит).

В интерфейсе SDIO модуля WF111 реализованы две основные функции. Функция «0» контролирует режим работы (sleep, wakeup, signaling), а функция «1» обеспечивает поддержку стандарта IEEE 802.11. С ее помощью реализуется доступ к внутренним регистрам.

Описание сигналов SDIO модуля WF111 показано в таблице 6. Подробно интерфейс SDIO рассмотрен в [8].

CSPI

В модуле DWF111 поддерживается также интерфейс CSR Serial Peripheral Interface (CSPI), разработанный и запатентованный фирмой CSR. Сигналы этого интерфейса аналогичны сигналам SDIO (таблица 6).

По существу CSPI — это расширение классического интерфейса SPI. Его параметры:

- команда — 8 бит;
- адрес — 24 бит;
- длина пакета — 16 бит.

Интерфейс CSPI объединяет ряд модификаций SDIO SPI и имеет следующие преимущества по сравнению со SDIO:

- Передача данных осуществляется в непрерывном режиме.
- Используется фиксированный набор тактовых частот.
- При передаче данных используется одна команда 16 бит.
- Осуществляется автоматическое прерывание связи при отсутствии доступа к памяти.

Описание сигналов CSPI-модуля WF111 приведено в таблице [6].

В модуле предусмотрен режим «засыпания» в случае, когда через интерфейсы SDIO/CSPI в течение заданного времени нет передачи данных. В этом режиме отключен микроконтроллер, генератор тактовой частоты, аналоговая часть и большинство цифровых вводов/выводов. При этом работает система связи через интерфейс, реализующая только режим «function 0». Возвращение модуля к нормальному режиму работы осуществляется через регистр «CCCR Vendor Unique Register».

Интерфейс SPI в модуле WF111 предназначен только для отладки и обновления программного обеспечения и не может быть использован в качестве хост-интерфейса.

Bluetooth co-existence

В модуле WF111 поддерживается описанный выше для модуля WF121 интерфейс параллельной работы Wi-Fi- и Bluetooth-устройств. В модуле WT111 также реализована поддержка различных методов с помощью контрольных сигналов BT_PERIODIC, WLAN_DENY, BT_STATUS, BT_ACTIVE. Так же, как и в WF121, в модуле WF111 могут быть реализованы несколько методов разделения Wi-Fi- и Bluetooth-сигналов, в соответствии с утилитами Unity-3, Unity-4, Unity-3e и Unity+extension. Встроенный переключатель Wi-Fi- и Bluetooth-антенн позволяет принимать на один и тот же усилитель сигнал этих двух стандартов.

Для работы в зоне действия устройств Bluetooth (BC4 to BC6), имеющих программное обеспечение выше version 21, рекомендуется использовать Unity-3e.

I/O

В модуле WT111 может быть реализовано до шести программируемых, двунаправленных вводов/выводов. Эти I/O могут быть запрограммированы как вводы/выводы общего назначения или как выходы специальной функциональности. Например, I/O могут быть сконфигурированы как «Bluetooth параллельная работа», линии прерывания и линии пробуждения.

При использовании в качестве вводов общего назначения к каждой линии подключается повышающий или понижающий резисторы. Подробно работа и программирование I/O рассмотрены в [5].

RESET

Модуль WF111 можно перезагрузить несколькими способами:

- через ввод RESET;
- путем отключения и включения питания;
- через SDIO/CSPI-интерфейс.

Таблица 6. Сигналы интерфейса SPIO/CSPI-модуля WF111

| Наименование сигналов интерфейса SDIO/CSPI | Номер вывода | Тип вывода | Описание | |
|--------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| SDIO_DATA[0] | 2 | Двунаправленный, с тремя состояниями, встроенный медленный подтягивающий резистор (pull-up) | Синхронизированные данные ввод/вывод (Synchronous data input/output) | |
| SDIO_SPI_DI | | | Вывод данных SDIO SPI (SDIO SPI data output) | |
| CSPI_MISO | | | Вывод данных CSPI (CSPI data output) | |
| SDIO_DATA[1] | 3 | | Синхронизированные данные ввод/вывод (Synchronous data input/output) | |
| SDIO_SPI_INT | | | Прерывание SDIO SPI (SDIO SPI interrupt output) | |
| CSPI_INT | | | Ввод данных CSPI (CSPI data input) | |
| SDIO_DATA[2] | 4 | Двунаправленный, универсальный (weak/strong), встроенный подтягивающий резистор (pull-up) | Синхронизированные данные ввод/вывод (Synchronous data input/output) | |
| SDIO_DATA[3] | | | Синхронизированные данные ввод/вывод (Synchronous data input/output) | |
| SDIO_SPI_CS# | 5 | | Идентификация соответствия стандарту SDIO SPI; минимальная функциональность (SDIO SPI chip select, active low) | |
| CSPI_CS# | | | Идентификация соответствия стандарту CSPI; минимальная функциональность (CSPI chip select, active low) | |
| SDIO_CLK | 6 | | Вход, встроенный медленный подтягивающий резистор (pull-up) | Тактовая частота SDIO (SDIO clock) |
| SDIO_SPI_SCLK | | | | Тактовая частота SDIO (SDIO clock) |
| CSPI_CLK | | Тактовая частота CSPI (CSPI clock) | | |
| SDIO_CMD | 7 | Двунаправленный, встроенный медленный подтягивающий резистор (pull-up) | | Ввод данных SDIO (SDIO data input) |
| SDIO_SPI_MOSI | | | | Ввод данных SDIO SPI (SDIO SPI data input) |
| CSPI_MOSI | | | | Ввод данных CSPI (CSPI data input) |



Рис. 4. Внешний вид модуля WF111-A



Рис. 5. Внешний вид отладочного комплекта DKWF111

Подробно каждый из способов перезагрузки описан в [5].

Габаритные размеры модуля — 12,0×19,0×2,1 мм. Интервал рабочих температур — -40... +85 °С. Внешний вид модуля WF111-A показан на рис. 4.

Модуль поставляется в следующих модификациях:

- WF111-A, встроенная антенна;
- WF111-E, U.FL разъем для подключения внешней антенны;
- WF111-N, специальный вывод на корпусе для подключения внешней антенны.

Для разработки изделий на базе WF111 поставляется отладочный комплект DKWF111, выполненный в форм-факторе SDIO, что дает возможность вставлять DKWF111 непосредственно в слот, предназначенный для SD-карт. Внешний вид отладочного комплекта DKWF111 показан на рис. 5.

Кроме того, на плату дополнительно выведены все контакты этого интерфейса (рис. 6). На плате отладочного комплекта есть входы Bluetooth co-existence, позволяющие отлаживать схему параллельной работы Wi-Fi- и Bluetooth-устройств. Питание платы может подаваться как от внешнего источника, так и через разъем SDIO. Режимы работы блока контролируются с помощью светодиодов.

Модуль WF111 работает под управлением операционной системы Linux. В комплект поставки входят драйверы Linux MMC/SD/SDIO,

которые поддерживают версии от “kernel v 2.6.24” до “v2.6.37”. Режим «клиент» поддерживается версиями начиная с v 2.6.28. Для нормальной работы модуля необходимо, чтобы в используемой версии Linux поддерживались функции CONFIG_WIRELESS_EXT, CONFIG_MODULES и CONFIG_FW_LOADER. Подробно драйверы и их установка описаны в [10].

Информацию о ценах и сроках поставки можно найти на сайте российского дистрибьютора www.telemetry.spb.ru. Технические консультации можно получить по электронной почте info@telemetry.spb.ru. ■

Литература

1. http://www.bluegiga.com/WT41_Long_Range_Bluetooth_Module
2. <http://www.bluetooth.com/Pages/Searchresults.aspx/Results.aspx?k=Bluetooth%203>
3. WF121 Wi-Fi module. Data sheet. Version 1.0. 24 May 2012.
4. Министерство связи и массовых коммуникаций. Приказ от 14.09.2010 № 124 «Об утверждении правил применения оборудования радиодоступа. Ч. I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц». (Зарегистр. в Минюсте РФ 12.10.2010 № 18695.)
5. DKWF121 — WF121-A 802.11 B/G/N module Evaluation board. Data sheet. Version 0.5. 27 Aug. 2012.
6. WF111 — 802.11 B/G/N module. Data sheet. 09 May 2012.
7. SD Specifications Part E1 SDIO Simplified Specification. Version 2.00.
8. WF111 Development kit. Data sheet. Version 1.0. 24 May 2012.
9. Bluegiga Wi-Fi Software. V.1.0 API documentation. Version 0.8.0. 9 June 2012.
10. WF111 Linux driver Installation. Application note. Version 1.0. 24 May 2012.

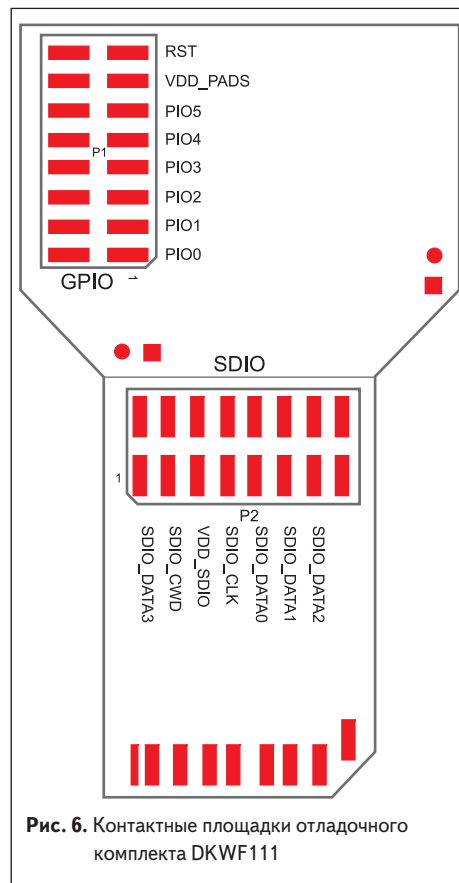


Рис. 6. Контактные площадки отладочного комплекта DKWF111