

Модули BLE112 и BLE113.

Практические аспекты использования технологии Bluetooth 4.0

Сергей Стукало, к. т. н.
Stukalo.s@mt-system.ru

Технология с низким энергопотреблением Bluetooth low energy (Bluetooth 4.0) предложена международным объединением SIG (Bluetooth Special Interest Group) в 2010 г. и использует тот же диапазон частот, что Wi-Fi и ZigBee. Это открытая технология для радиосвязи на небольших расстояниях, специально разработанная для использования в устройствах с батарейным питанием (на скоростях до 1 Мбит/с, при размере пакета 8–27 байт, дальность связи составляет до 100 м). Технология оптимизирована для ультранизкого энергопотребления: <20 мА пиковое потребление и <5 мкА в ждущем режиме (0,4 мкА у BLE113). Модель поведения модулей при установлении соединения друг с другом и различными типами устройств, поддерживающих технологию Bluetooth, определяется их профилем. Профиль — набор функций и возможностей, используемый в качестве механизма транспортировки. Стандартизованность профилей гарантирует возможность обмена информацией между устройствами разных производителей.

В общем случае Bluetooth 4.0 несовместим со всеми предыдущими версиями Bluetooth. Выпускается две разновидности модулей, поддерживающих эту технологию: Dual mode — поддерживаются одновременно старая версия Bluetooth 2.0 и Bluetooth 4.0; Single mode — поддерживается только Bluetooth 4.0. Второе основное отличие модулей Bluetooth 4.0 от модулей Bluetooth 1.0...3.0 — возможность параллельной работы с несколькими однотипными устройствами. Теоретически у одного ведущего устройства (Master) может быть неограниченное число подчиненных устройств (Slave).

Один из ведущих производителей Bluetooth-модулей — фирма Bluegiga (Финляндия). Серия устройств Bluegiga с поддержкой Bluetooth 4.0 включает в себя модули BLE112, BLE113, USB-модем BLED112 и BT111 (первый модуль этого производителя формата Dual mode). Модули выпускаются в модификациях со встроенной антенной и с возможностью подключения внешней антенны. При разработке стандарта технология тестировалась на совместимость

с большинством устройств известных мировых производителей Bluetooth-оборудования.

Применение модулей Bluetooth 4.0

Серия Bluegiga BLE (Bluetooth Low Energy) предназначена для использования в таких приложениях, как переносное диагностическое медицинское оборудование, промышленные, спортивные и бытовые контрольные датчики, парковочные автомобильные датчики, приборы для бытовой автоматизации, аудиогарнитуры, гарнитуры для GPS-навигаторов, системы энергосбережения, безопасности и СКУД, системы ближнего опознавания, системы энергоучета и энергосбережения, системы наблюдения за детьми и пожилыми людьми, миниатюрные информационные панели, торговое оборудование и бытовая электроника, различные приложения индустрии развлечений, а также клавиатуры, мыши и принтеры. Встроенная антенна, полный стек Bluetooth-протоколов, гибкие аппаратные интерфейсы позволяют легко интегрировать модули BLE112 и BLE113 в существующее оборудование.

При этом Bluetooth 4.0 совместимые устройства Single mode по определению обладают высокой автономностью функционирования — электронные датчики, промышленные сенсоры, закладки и т. п. В качестве терминальных устройств могут выступать: iPhone 4S, MacBook Air, Mac Mini. Энергосберегающий алгоритм функционирования такого модуля иллюстрирует рис. 1 (передатчик включается только на время передачи данных).

Радиомодули технологии Bluetooth 4.0 принято различать по классам излучаемой мощности (таблица 1).

Модули Bluegiga дают лучшие результаты по дальности связи в своем классе, чем это заявлено в приведенной таблице, за счет корректного решения ВЧ-части и достигнутых при этом характеристик. Хотя следует ожидать снижения этих величин в сложной помеховой обстановке до значений, указанных в таблице.

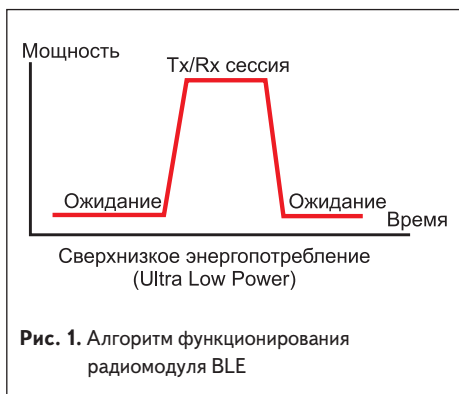


Рис. 1. Алгоритм функционирования радиомодуля BLE

Таблица 1. Классификация радиомодулей по мощности

Классы излучаемой мощности	Дальность связи, м	Излучаемая мощность, мВт
Class 1	до 100	до 100
Class 2	до 10–15	до 2,5
Class 3	до 1–5	до 1

Сравнительная характеристика основных параметров модулей BLE112 и BLE113

Bluetooth-модуль BLE112

Основой модуля BLE112, определяющей всю идеологию и отличительные особенности, является его базовый чипсет, представляющий собой однокристалльную сборку (SoC — 65 нм/2,4 ГГц), на которой находятся: встроенный стек низкого энергопотребления Bluetooth 4.0, SmartRF с поддержкой компилятора IAR (SmartRF — торговая марка Texas Instruments). Модуль ориентирован на применение в устройствах, требующих экстремально низкого энергопотребления и малых габаритов (различного рода датчики и счетчики с автономным батарейным питанием).

BLE112 предлагает пользователю все функции, предусмотренные стандартом Bluetooth Low Energy: радиочастотную часть (чипсет Texas Instruments CC2540), периферийные блоки и интерфейсы, а также встроенные средства разработки, позволяющие создавать потребительские приложения (встроенное программное обеспечение (ПО), встроенные профили и ресурсы для размещения собственных приложений пользователя). Таким образом, в ряде случаев модуль BLE112 может выступать в качестве полностью самостоятельного устройства, не нуждающегося во внешнем контроллере. Модуль также предлагает гибкий аппаратный интерфейс для подключения внешних цифровых и аналоговых

датчиков и простой пользовательский интерфейс. Встроенное в модуль ПО позволяет производить разработку и отладку пользовательских приложений с помощью программного пакета BG Profile Toolkit, предлагающего специальную среду для быстрой разработки профилей Bluetooth. Пакет BG Script разработки компании Bluegiga позволяет пользователю разрабатывать ПО, встраиваемое непосредственно в модуль, что делает стек Bluetooth Low Energy действительно универсальным, а использование возможностей модуля BLE112 — достаточно простым.

Управление модулем BLE112 осуществляется через порты UART, USB, SPI посредством бинарных команд (Binary command) на уровне API (application programming interface). Для прямого программирования центрального процессора можно использовать библиотеку кодов на языке C (стандарт ANSI). Вместе с тем модуль BLE112 не имеет поддержки привычного для Bluegiga ASCII-интерфейса, позволяющего управлять им с помощью простых команд. В серии BLE использована другая идеология управления — Binary command, предоставляющая разработчикам значительно больше возможностей для создания прикладного ПО. Набор этих команд предназначен для управления потоками двоичных данных. Таким образом, в модулях серии BLE команды посылаются не в ASCII-кодировке, а формируются первоначально в определенные последовательности байтов, вида: «команда 1 + параметр 1»; «команда 2 + параметр 2» и т. д.



Рис. 2. Внешний вид модуля BLE112

При работе с бинарными командами используются «бинарные таблицы», содержащие двоичные коды для различных массивов данных и графических символов. С бинарными командами можно работать непосредственно в среде Windows. Специальные программные приложения, функционирующие под управлением этой ОС, позволяют даже неспециалисту легко создавать собственные программы, предназначенные для стыковки модулей BLE с внешними устройствами. Внешний вид модуля BLE112 представлен на рис. 2.

Структурная схема модулей BLE112 и BLE113 показана на рис. 3.

Bluetooth-модуль BLE113

BLE113 — смарт-модуль от Bluegiga Technologies, поддерживающий стандарт Bluetooth 4.0. Модуль BLE113 содержит в себе программный стек

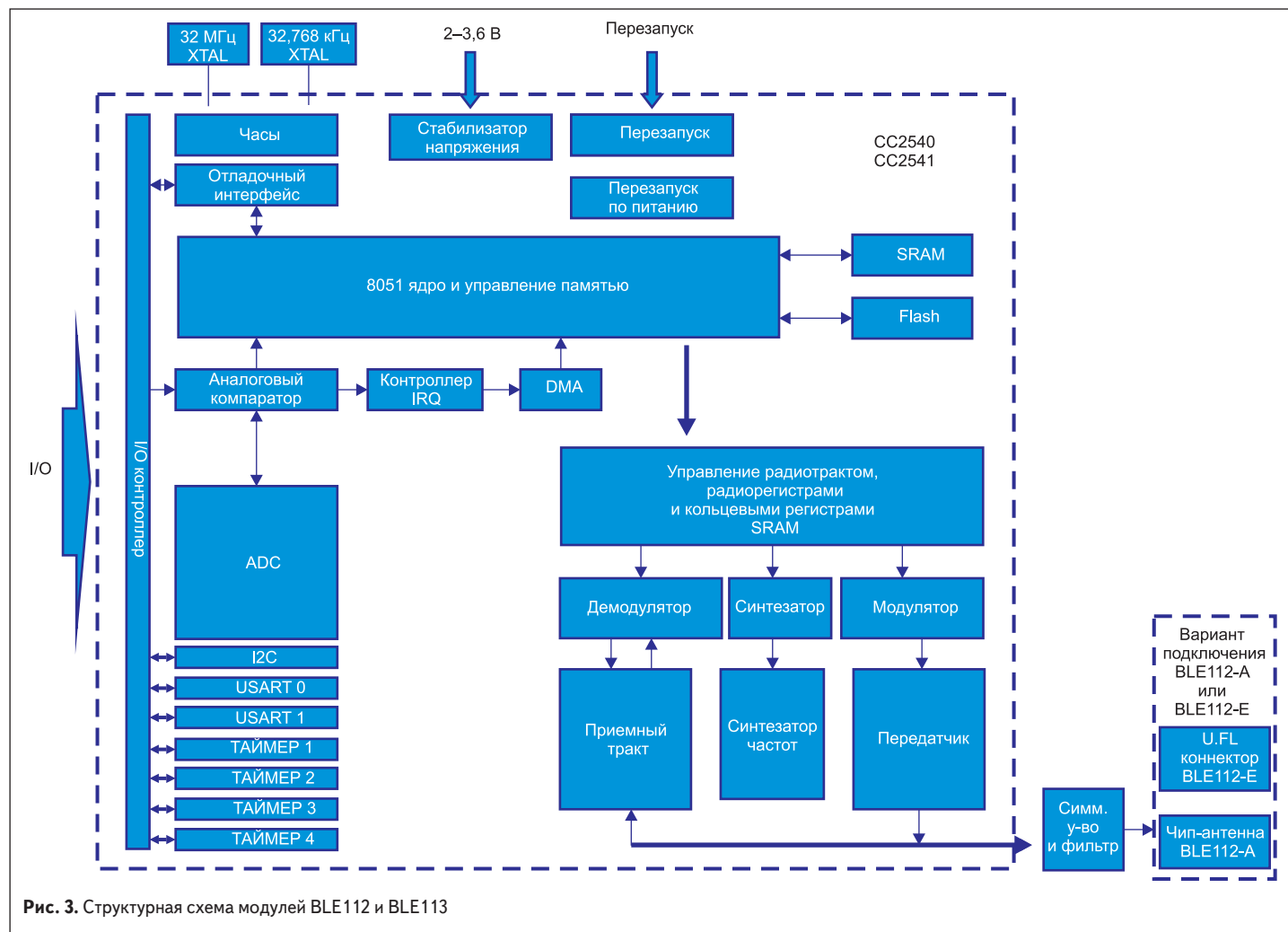


Рис. 3. Структурная схема модулей BLE112 и BLE113

стандарта (встроенное ПО, GATT-профили и возможность размещения собственных приложений пользователя) и ориентирован на применение в устройствах, требующих экстремально низкого энергопотребления и малых габаритов (различного рода датчики и счетчики, прочие аксессуары с автономным батарейным питанием). Модуль BLE113 потребляет примерно на 30% меньше энергии и имеет меньшие размеры в сравнении с модулем BLE112 (таблица 2). Модуль оптимизирован для работы от батарейки типа «таблетка» CR2032. Диапазон рабочих напряжений 2,0–3,6 В соответствует использованию двух стандартных батареек типа AA.

Модуль BLE113 является полностью самостоятельным устройством, в ряде случаев не нуждающимся во внешнем контроллере. Модуль также предлагает гибкий аппаратный интерфейс для подключения внешних цифровых и аналоговых датчиков и простой пользовательский интерфейс. Встроенное в модуль ПО позволяет производить разработку и отладку автономных пользовательских приложений (Smart Bluetooth профилей) с помощью программного пакета BG Profile Toolkit, предлагающего специальную среду для быстрой разработки профилей Bluetooth. Пакет BG Script разработки компании Bluegiga позволяет пользователю разрабатывать ПО, встраиваемое непосредственно в модуль, что делает стек BLE достаточно универсальным, а использование модуля BLE113 — предельно простым. Автономные приложения могут быть созданы с помощью ANSI C и IAR Embedded Workbench SDK.

Модуль BLE113 имеет гибкий аппаратный интерфейс для подключения различных периферийных устройств и датчиков, в режиме пониженного энергопотребления он потребляет не более 400 нА. Выход из этого режима занимает всего лишь несколько сотен микросекунд. Встроенные механизмы по снижению энергопотребления позволяют модулю работать от автономных батарейных источников питания в течение года и дольше.

Смарт-модуль BLE113 также может выступать платформой для приложений конечного пользователя (с сохранением этих приложений и настроек во flash-памяти), что означает отсутствие необходимости во внешнем микроконтроллере и, как следствие, экономию в цене конечного устройства и еще один шаг в сторону его миниатюризации. Внешний вид модуля BLE113 представлен на рис. 4.

Структурно-алгоритмическое построение модулей BLE112 и BLE113 иллюстрирует рис. 5.



Рис. 4. Внешний вид модуля BLE113

Таблица 2. Сравнение характеристик модулей BLE112 и BLE113

Характеристики модулей	BLE112	BLE113
Интегрированные стеки и архитектурная разновидность модуля	Bluetooth 4.0 Low Energy radio, single mode	Bluetooth 4.0 Low Energy radio и Bluegiga Smart Bluetooth, single mode
Режимы	master и slave	
Диапазон открытых частот ISM, МГц	2402–2480	
Число параллельных соединений в режиме master (не менее)	4	8
Базовый чипсет	Texas Instruments CC2540	Texas Instruments CC2541
Тип управляющего контроллера	CPU 8051	
Класс излучения	Class 2	
Мощность передатчика, дБм	+4...–23	до +0
Чувствительность приемника, дБм	–87...–93	–93
Основной метод модуляции	GFSK	
Поддерживаемые профили Bluetooth Low Energy	SPP, GAP, GATT, L2CAP, SMP	software stack и GAP, GATT, L2CAP, SMP, а также Security Manager
Интерфейсы периферийных устройств	USB 2.0, USART-0, USART-1	UART и SPI
Входы/выходы общего назначения	19 – I/O – 4 mA; 2 – I/O – 20 mA	I ² C, PWM (ШИМ) и GPIO, 12-разрядный АЦП
Flash-память, кбайт	128 или 256	
SRAM, кбайт	8	
Сопроцессор безопасности (поддержка симметричного алгоритма блочного шифрования)	Secure Simple Pairing и AES-128	
Инструменты разработки приложений	BG Profile Toolkit™, BG Script или язык C	BG Profile Toolkit™, BG Script или язык C, BGAPI™ host протокол (host интерфейс UART)
Диапазон рабочих напряжений, В	2–3,6	
Энергопотребление в режиме излучения	27 mA (0 дБм)	В режиме излучения 18,2 mA, в режиме приема 14,3 mA
Энергопотребление в спящем режиме, мкА	0,4	
Обновление ПО через радиоканал	Нет	Есть, с предварительным накоплением во flash
Габаритные размеры, мм	18,1×12×2,3	15,75×9,15×1,9
Рабочий диапазон температур, °C	–40...+85	
Вид монтажа	SMD/SMT	
Сертификаты	CE, FCC, IC и Telec	CE, FCC, IC, Japan и South Korea

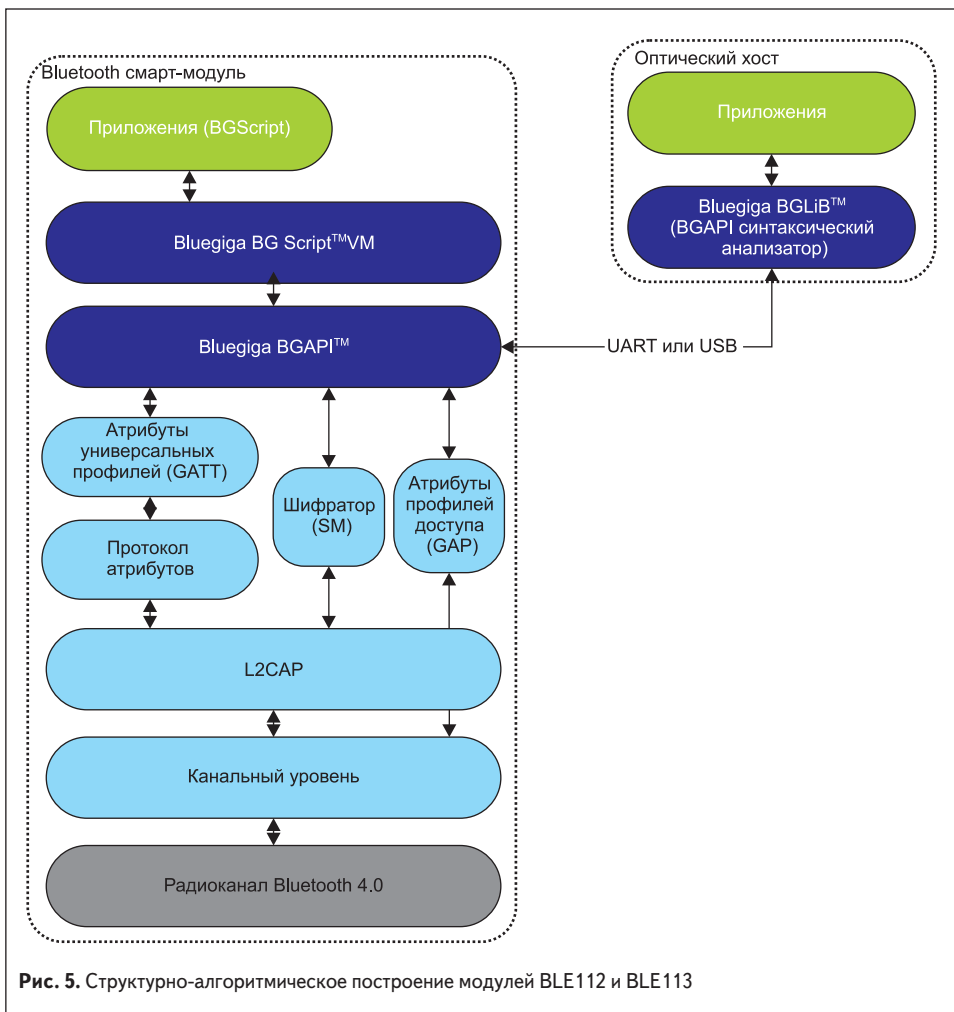
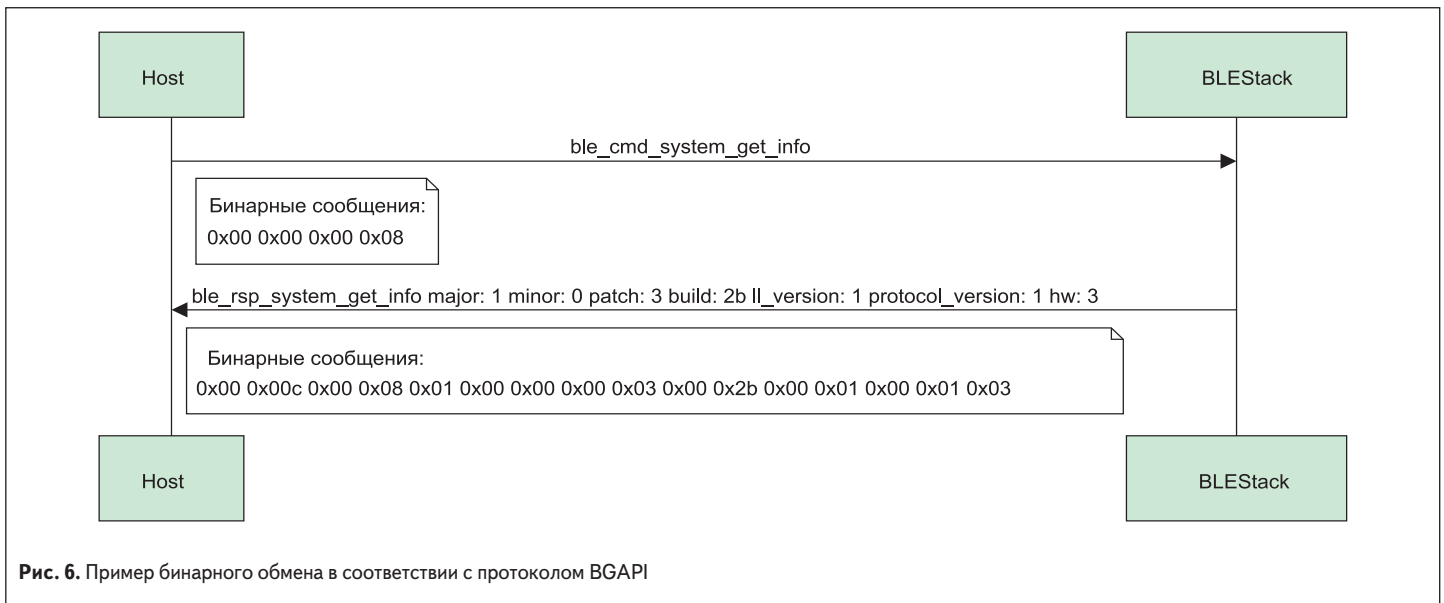


Рис. 5. Структурно-алгоритмическое построение модулей BLE112 и BLE113



Здесь BGAPI protocol — простой протокол двоичных команд, обеспечивающий обмен между хостом и стеком (рис. 6). Протокол используется, когда внешний контроллер (MCU), выступая в качестве отдельного хоста, используется для управления BLE113 через UART или USB. При этом могут быть получены минимальные требования к выделяемой на эти нужды памяти и минимальные расходы на реализацию решения.

Протоколы Bluetooth SIG определяют 16 стандартных профилей, но для BLE-модулей вместо классических профилей Bluetooth верхнего уровня вводится понятие бинарного интерфейса приложения BGAPI.

Язык сценариев BG Script — простой BASIC-подобный скриптовый язык для разработки пользовательских приложений, реализуемых на 8051 контроллере модулей BLE. Обеспечивает быструю разработку таких приложений и позволяет программам выполняться непосредственно в модуле, без использования внешнего микроконтроллера.

Интерфейсы USART-0 и USART-1 модулей можно использовать как SPI или как UART. При этом они могут быть конфигурированы для работы в качестве ведущего или ведомого устройств. У каждого USART есть свой собственный высокоточный контроллер скорости передачи. Модули BLE112 поддерживают USB, Full Speed, 12 Мбит/с. В модулях предусмотрена система высокоуровневой безопасности, включающая аутентификацию, авторизацию, шифрование и надежную защиту от атак типа Man-in-the-middle. Ядро шифрования/дешифрования использует алгоритм AES со 128-разрядными ключами. Встроенная схема контроля и регулировки напряжения сглаживает пульсации, убирает наводки и обеспечивает точные значения напряжений питания.

Встроенный процессор серии 8051 может быть использован для поддержки приложений пользователя. К примеру, у BLE113 для этих целей имеется остаток ресурса в 3–4 кбайт SRAM и 40–50 кбайт flash. Каждый чипсет CC2540 (CC2541) обладает уникальным 48-разрядным кодом IEEE, который может быть использован в качестве общедоступного адреса конечного Bluetooth-устройства.

Стек протокола BLE состоит из двух блоков (контроллер и хост) и содержит следующие профили:

- GAP (Generic Access Profile);
- GATT (Generic Attribute Profile);
- L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol);
- SM (Security Manager);
- ATT (Attribute Protocol).

Все приложения и профили в стандарте BLE так или иначе взаимодействуют с профилем GATT. Более подробную информацию о стеке BLE можно найти в работе [4].

В модулях BLE в качестве основного используется метод модуляции GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) — гауссовская частотная манипуляция. Этот метод частотной манипуляции с низкочастотным фильтром на входе дает сглаженный по закону Гаусса входной импульс. Оба USART обеспечивают скорости до 1 Мбит/с (модуляция GFSK) при работе в качестве SPI или UART. При использовании других методов модуляции скорости будут меньше: 250 кбит/с (FSK) и 500 кбит/с (MSK).

Модули BLE112 и BLE113 способны питаться от стандартной миниатюрной батарейки 3 В или от пары батареек типа AAA. В режиме пониженного энергопотребления модули потребляют не более 400 нА. Выход из этого режима занимает всего лишь несколько сотен микросекунд. Встроенные механизмы по снижению энергопотребления позволяют модулям работать от автономных батарейных источников питания в течение года и дольше.

Модули BLE112 и BLE113 могут поставляться в трех различных исполнениях: со встроенной чип-антенной (A), с U.FL-коннектором (E) и с выводом радиосигнала на RF pin (N). Соответственно:

- BLE113-A — модификация с чип-антенной;
- BLE113-E — модификация с U.FL-коннектором;
- BLE113-N — модификация с выводом антенного входа на pin.

Расшифровка маркировки модулей серии BLE:

- первая цифра обозначает поколение модулей (1);
- вторая цифра обозначает поддержку технологии Bluetooth (1 — только BLE, bl.4.0; 2 — поддержка bl.4.0 и других версий);
- третья цифра показывает соответствие классу Bluetooth (class 1, class 2, class 3);
- последняя цифра обозначает версию ПО.

В серии модулей BLE использован метод адаптивной подстройки частоты AFH, позволяющий не только уменьшить помехи от устройств, работающих рядом на тех же частотах, но и определять переполненные участки диапазона и избегать их.

Всю доступную документацию по модулям BLE112 и BLE113, а также необходимое для работы с ними ПО можно найти на сайтах производителя и его официального дистрибьютора в РФ — компании MT-Систем.

Софт поставляется в виде программных заготовок и примеров в исходных кодах на C (для BLE112, BLE113) или в виде драйверов для ПК (для BLE112).

Доступны отладочные средства в виде программно-аппаратных платформ для разработки приложений пользователя. Вместо них в качестве стартового комплекта для разработок на базе модулей BLE Bluegiga могут быть использованы два модуля BLED112, подключенные к двум компьютерам.

Модуль BLED112 USB dongle

Модуль BLED112 (рис. 7) выполнен в виде полностью законченного устройства с разъемом USB и представляет собой функционально самостоятельный модем формата Bluetooth 4.0.



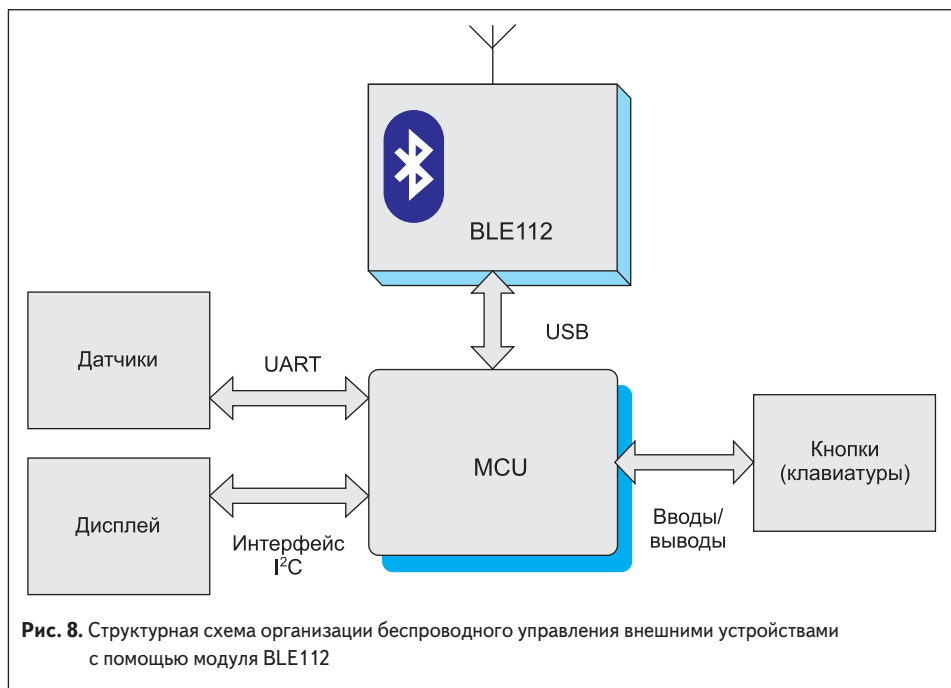


Рис. 8. Структурная схема организации беспроводного управления внешними устройствами с помощью модуля BLE112

Он может быть использован для добавления возможностей BLE к ПК или ноутбуку, а также позволяет контролировать работу сети датчиков BLE через интерфейс USB ПК. BLE112 может быть подключен непосредственно к USB-разъему компьютера или другого устройства, поддерживающего данный интерфейс. Модем USB BLE112 подходит для беспроводного подключения к ПК другого вспомогательного оборудования и аксессуаров.

Примеры практического использования BLE112 и BLE113

На рис. 8 приведен пример использования модуля BLE112 под управлением внешнего микроконтроллера, в свою очередь координирующего работу периферийных устройств.

В новых модулях такое управление реализовано посредством бинарных команд. Продолжая развитие основной своей идеи «Bluetooth — это просто», Bluegiga вместо готовых профилей iWRAP разработала новые средства — BG Profile Toolkit, BG Script. Эти законченные программные комплексы позволяют разработчикам, не имеющим опыта программирования Bluetooth-модулей, быстро создавать управляющие программы в форматах XML и BG Script.

Модуль BLE112 может работать в четырех режимах энергосбережения, достаточно подробно описанных в [4]. Вместе с тем срок службы батареи автономного питания определяется не только выбором одного из них, но и измене-

нием (ограничением) мощности передатчика, которая может быть запрограммирована для трех различных вариантов работы. Перевод излучения модуля на меньшую мощность значительно увеличивает срок службы батареи. Чувствительность приемника может изменяться от -87 до -93 дБм, что также сказывается на разряде батареи. В зависимости от используемого режима приемника и передатчика будет меняться и дальность связи:

- для случая $+4$ и -93 дБм — до 150 м (на открытой местности);
- для случая $+0$ и -88 дБм — 40 м;
- для случая -23 и -87 дБм — 10 м.

При среднем значении мощности передачи (0 дБм) потребляемый ток равен 27 мА. При минимальном (-23 дБм) — 21 мА. Полностью отключенный передатчик (работа только на прием) — 19,6 мА.

Потребляемый ток в режиме передачи (Tx) и режиме приема (Rx) можно снизить путем использования дополнительного внешнего стабилизированного источника питания.

Модуль BLE113 построен на основе чипа CC2541 от TI. Встроенные 32-МГц и 32,678-кГц кварцевые резонаторы используются для работы таймеров. Встроенный генератор и фильтры низких частот обеспечивают оптимальные рабочие характеристики с крайне низким уровнем побочных излучений. Компактная керамическая чип-антенна позволяет получить хорошую эффективность излучения, даже если модуль используется в предельно компактных устройствах (рис. 9).

Дальность связи для модуля BLE113 определяется его текущим рабочим режимом: для случая $+0$ дБм (Tx) — до 100 м (на открытой местности); для случая -20 дБм (Tx) — ~ 5 м. При этом в экономичном режиме power mode 1 потребление составляет <270 мкА, в режиме power mode 2 — <1 мкА, и в power mode 3 — $<0,5$ мкА.

Функциональное сравнение модулей показывает, что дальности связи с их использованием примерно равны при излучении $+3$ дБм для BLE112 и 0 дБм для BLE113.

У нового модуля имеется выигрыш и в потребляемом токе: для BLE112 — 30 мА (при излучении -2 дБм), а у BLE113 — 18,2 мА (при излучении передатчика в 0 дБм).

Советы по практическому использованию модуля BLE113

Модули BLE113 могут быть использованы в закладках с батарейным питанием от батареи типа «таблетка». Из-за относительно высокого внутреннего сопротивления такой батареи на плате устройства рекомендуется параллельно аккумулятору разместить конденсатор 100 мкФ. Внутреннее сопротивление батареи первоначально составляет около 10 Ом, но затем, по мере ее разряда, значительно увеличивается. Чем выше величина устанавливаемой емкости по отношению к фактической емкости батареи, тем больше время автономной работы закладки. При минимальном значении емкости конденсатора рекомендуется ограничивать максимальную мощность передатчика модуля. Ток утечки конденсатора в 100 мкФ находится в диапазоне 0,5–3 мкА. При этом керамические

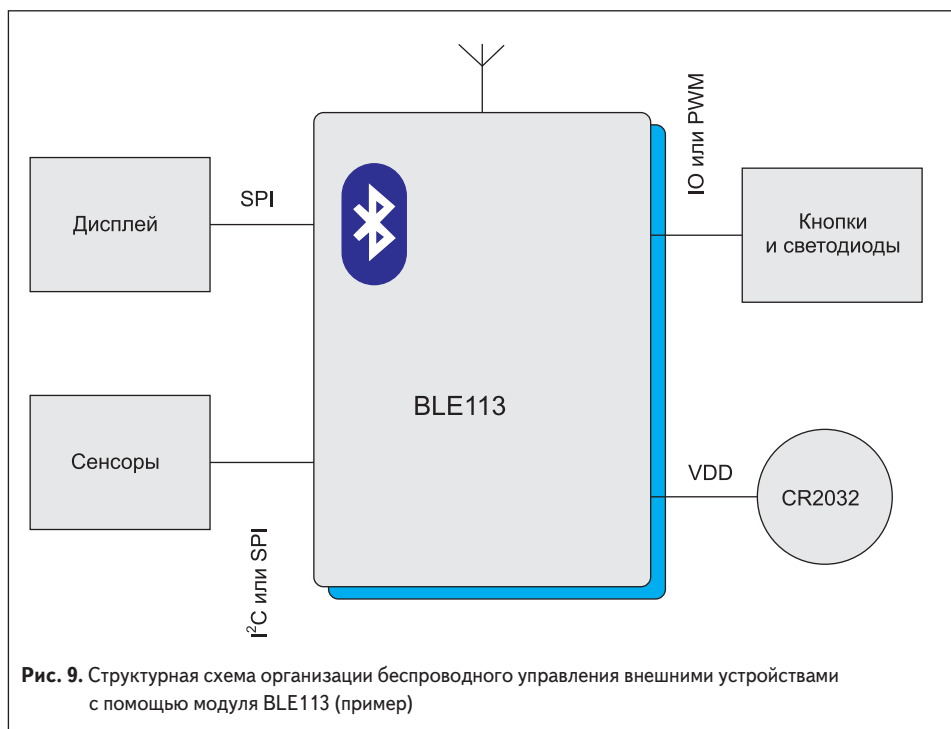


Рис. 9. Структурная схема организации беспроводного управления внешними устройствами с помощью модуля BLE113 (пример)

конденсаторы имеют более низкий ток утечки, чем танталовые или алюминиевые электролитические.

Отладочные средства модулей BLE112 и BLE113

BLE112 Development Kit

Отладочный комплекс BLE112 Evaluation Kit (DKBLE112-EVB) представляет собой законченную специализированную плату (рис. 10), которая содержит:

- модуль BLE112;
- интерфейсы RS232 и USB;
- интерфейс доступа к пользовательским вводам/выводам;
- образцы тестовых сенсоров с интерфейсами SPI/USART/AIO;
- набор кнопок и светодиодных индикаторов, подключенных к выводам GPIO;
- миниатюрную батарейку;
- разъем для доступа к выводам IO модуля;
- сетевой адаптер питания.



Рис. 10. Внешний вид отладочной платы DKBLE112-EVB

Отладочный стартовый комплект (BLE112 Starter Kit, рис. 11) также включает в себя:

- два модуля BLE112 USB dongle;
- два модуля BLE112;
- flash-программатор (средства программирования для CC2540);
- ПО и документацию.



Рис. 11. Отладочный стартовый комплект (BLE112 starter package)

ПО, разработанное компанией Bluegiga (Profile Toolkit и BG Script), поставляется в комплекте с оборудованием. Оно содержит интегрированную среду разработки и компилятор C/C++, позволяет создавать и обрабатывать приложения пользователя для ядра 8051 не-

посредственно в самом модуле. Аналогичное ПО IAR Workbench for 8051, предназначенное для работы с ядром 8051 в чипсетах серии CC2540, поставляется фирмой IAR. На сайте этой фирмы можно бесплатно скачать 30-дневную тестовую версию [12].

Наиболее доступным ПО является Texas Instruments SmartRF Studio (TI SRFS) [9–10]. Программу можно бесплатно загрузить с сайта производителя. Она является Windows-приложением и может использоваться для настройки и конфигурирования модуля, а также для написания простых пользовательских приложений. Программа TI SRFS особенно полезна для выбора и тестирования значений параметров регистра конфигурации модуля, а также для оптимального выбора и стыковки внешних датчиков и вспомогательных устройств. Приложение Texas Instruments SmartRF Studio обеспечивает поддержку следующих функций: тестирование канала передачи; отправка и получение данных; тест антенны и оценка ее параметров; выбор режима Tx/Rx; выбор режима энергосбережения; типовые настройки для внешних датчиков и периферийных узлов; получение подробной информации для каждого регистра; загрузка/сохранение файлов; конфигурация внешних портов UART, USB, SPI; поддержка до восьми USB-устройств на одном компьютере.

Для более профессиональной работы с модулями BLE112 может быть использована программа Studio SmartRF7. Кроме того, потребуется драйвер USB для Windows x86 и x64.

Обновление прошивки встроенного BLE112 модуля

В модуле BLE112 на отладке DKBLE112 порты USB и UART отключены по умолчанию (в модуле установлены скрипт и профиль с отключенными UART и USB). Чтобы управлять модулем, используя USB-интерфейс, требуется перепрошить его подготовленным проектом профиля и скрипта. Перепрошивка проходит посредством программатора CC Debugger из состава отладочного набора. Для этого понадобятся:

- программатор CC Debugger;
- USB-драйвер CC Debugger (*swrc212a.zip*);
- утилита для перепрошивки модуля BLE112 (*bleupdate-1.0.4*);
- прошивка со скриптом и профилем, настроенными под USB (*ble-1.1.1-71bleexampleusbcdc*);
- USB-драйвер для модуля BLE112 (*ble-1.1.1-71blewindrv*).

Пошаговый алгоритм:

1. Установить USB-драйвер CC Debugger.
2. Подключить программатор к отладочной плате.
3. Включить питание отладочной платы через USB-кабель (установить джампер USB CURR MEAS, переключатель USB<—>BAT в положение USB).
4. Включить CC Debugger в USB-порт компьютера. При этом светодиод на программаторе должен загореться зеленым светом.
5. Запустить утилиту для перепрошивки BLE Update. Выбрать порт, указать путь к файлу *project* в папке *ble-1.1.1-71bleexampleusbcdc*.
6. Убедиться, что есть связь с программатором и модулем. Для этого нажать кнопку Info.

7. Ввести лицензионный ключ (license key).

Но тут есть нюанс. Если на отладке модуль новый, то лицензионный ключ появится в окне автоматически. Если модуль старого образца, придется ключ вводить вручную. Ключ может сгенерировать только производитель (Bluegiga). Для этого в адрес его техподдержки нужно выслать Serial Number вашего модуля. В ответ вы получите license key.

8. Нажать кнопку Update.

9. Установить USB-драйвер модуля, вручную указав на папку *ble-1.1.1-71blewindrv*.

После выполнения этих операций модуль готов к работе по USB-порту. При этом в диспетчере устройств компьютера должен появиться виртуальный COM-порт.

Решение проблемы с количеством соединений для BLE112

Модуль, находясь в режиме ведущего (Master), может поддерживать от четырех до восьми соединений с модулями Slave. Проблема с количеством разрешенных соединений решается посредством обновления прошивки в модуле. Также максимальное количество соединений можно задать при сборке прошивки модуля. Изначально в нем активна прошивка с ограничением в одно соединение.

Производитель гарантирует устойчивый обмен в системе один модуль в режиме Master + четыре модуля в режиме Slave. На практике, в условиях отсутствия помех, Master, сконфигурированный на восемь соединений, обеспечивает обмен в 6400 бит/с на каждый Slave. В радиусе до 7–10 м тестовый прогон в течение нескольких часов не показал потерь данных.

Отладочное средство DKBLE113-EVB

Для изучения модуля BLE113 и начала работы с ним производитель рекомендует использовать отладочное средство DKBLE113-EVB (рис. 12, 13) и следовать руководству BLE113 DEVELOPMENT KIT 2.0 (в нем описаны принципы построения и схема отладочной платы, конфигурирование интерфейсных выводов).

Комплект BLE113 Development Kit (DKBLE113) включает в себя:

- два модуля BLE113-A Bluetooth low energy;
- дисплей;
- образцы сенсоров с интерфейсами SPI/USART/AIO:
 - встроенный акселерометр;
 - встроенный высотомер;
 - потенциометр;

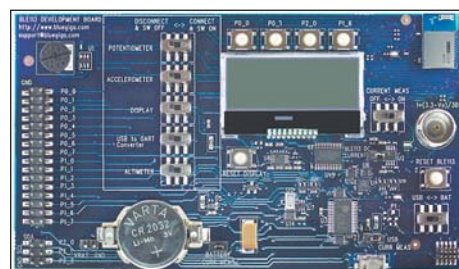


Рис. 12. Внешний вид отладочной платы DKBLE113-EVB

- держатель батареи CR2032;
- интерфейсы RS232 и USB;
- интерфейс программирования;
- точку для корректного измерения потребляемого тока;
- внешние DC/DC-преобразователи;
- пины подключения к выводам I/O модуля;
- миниатюрную батарейку;
- набор программных приложений (SDK Bluetooth-библиотека):
 - документация BGAPI;
 - средства разработки BG Script;
 - исходные коды BGLib;
 - профили Toolkit;
 - BG-скрипты и примеры BGLib;
 - документация;
 - пример приложений IOS.

Отладочная палата может питаться либо от порта USB компьютера, либо от батарейки типа «таблетка». Максимальное напряжение батареи 3,6 В. Источник питания (USB или батарея) выбирается переключателем SW1. При использовании батареи цепь измерения потребляемого тока должна быть выключена, чтобы избежать ее разряда (чрезмерной утечки тока) через инструментальный усилитель U2. Чтобы свести к минимуму утечки тока через дисплей, акселерометр, альтиметр и потенциометр, они также могут быть отключены от модуля посредством переключателей SW2, SW5, SW6 и SW13.

Порядок пользования отладочными средствами

Отладочное средство DKBLE113-EVB можно использовать для обновления ПО и отладки внешних BLE113-модулей. С помощью переключателя SW14 соответствующие выводы

отладочной платы можно перенаправить на контактный разъем J11 — для отладки внешних устройств на основе чипов CC2540 или CC2541.

Обновление прошивки встроенного BLE113-модуля

Для обновления прошивки находящегося на отладочной плате модуля BLE113 надо подключить кабель USB от компьютера к разъему USB платы с пометкой DEBUGGER (отладчик). Затем установить переключатель DEBUGGER «MODULE-OUTPUT» в положение «MODULE», а переключатель POWER «USB-BAT» в положение «USB», так, как это показано на рис. 3 из [13]. При нажатии кнопки RESET DEBUGGER (сброс отладчика) должен светиться зеленым светом светодиод DEBUGGER. Это будет означать, что отладчик перешел в режим чтения новой прошивки. Когда светодиод DEBUGGER загорится красным светом — чтение закончилось. После этого запустите программу BLE Update (к примеру, *bleupdate-1.0.6.exe*) и следуйте инструкциям раздела Profile Toolkit Developer Guide из Руководства разработчика по использованию инструментария профилей. Руководство доступно на www.bluegiga.com/support.

Обновление прошивки внешнего BLE113 модуля

Для обновления прошивки внешних модулей BLE113 следует подключить кабель USB от компьютера к разъему USB платы с пометкой DEBUGGER. Установить переключатель DEBUGGER «MODULE-OUTPUT» в положение «OUTPUT», а переключатель POWER «USB-BAT» в положение «USB», так, как это

показано на рисунке 4 из [13]. При нажатии кнопки RESET DEBUGGER (сброс отладчика) должен светиться зеленым светом светодиод DEBUGGER. Это будет означать, что отладчик перешел в режим чтения новой прошивки. Когда светодиод DEBUGGER загорится красным светом — чтение закончилось.

Описание элементов комплекта BLE113 Development Kit

Светодиодный индикатор

На отладочной плате имеется светодиод, подключенный к pin-P1_0. LED питается непосредственно от аккумулятора, поэтому его яркость не зависит от величины питающего напряжения. Однако если на модуль не подается внешнее питание (разъем USB не подключен к компьютеру), но выключатель питания установлен в положение «USB», будет иметь место утечка через LED (он будет слабо светиться). Для предотвращения разряда аккумулятора следует убедиться, что выключатель питания находится в положении «BAT» и модуль погружен в режим сна или что батарея не подключена, когда выключатель питания установлен в положение «USB».

Преобразователь UART

Встроенный преобразователь USB-UART создает виртуальный COM-порт для доступа к UART-интерфейсу модуля. USB-UART конвертер реализуется посредством микросхемы PL2303HX (чип Prolific), свежая версия драйвера для работы через эмуляцию UART под Windows может быть загружена с веб-сайта www.prolific.com.tw/US/ShowProduct.aspx?p_id=156&pcid=41.

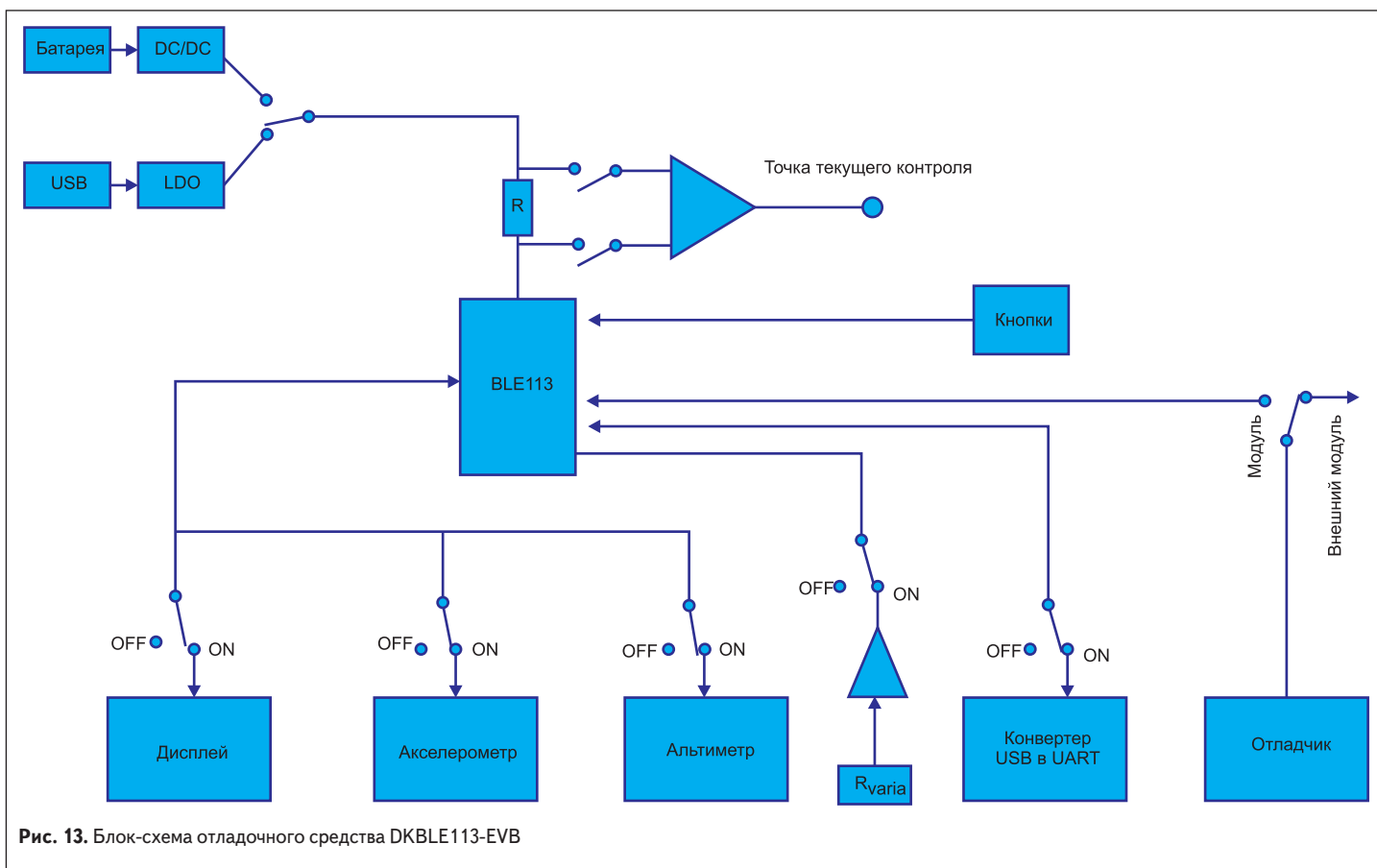


Рис. 13. Блок-схема отладочного средства DKBLE113-EVB

Примечание: Так как эта функция реализуется посредством чипа Prolific, порт будет опознаваться как виртуальный USB COM-порт, даже если в последующем выключатель питания перевести в положение «BAT». Переводя переключатель режима питания модуля в положение «BAT» или отключая USB-конвертер посредством переключателя SW3, уже опознаваемый операционной системой конвертер USB–UART не отключить.

Акселерометр и высотомер

Акселерометр и альтиметр подключаются к модулю посредством шины I²C.

Дисплей

Дисплей подключен посредством SPI-интерфейса. Специальная схема генерирует напряжение 3,3 В для его питания.

Многоконтактный разъем и кнопки

Все программируемые входы/выходы представлены в многоконтактном разъеме J2. Чтобы использовать какие-либо из них посредством его пинов, например для работы с внешним модулем, выбранное устройство должно быть отключено от встроенного модуля соответствующим переключателем. Таблица 3 показывает привязку устройств к пинам разъема J2.

Модули серии BLE производства Bluegiga сертифицированы в соответствии с международными стандартами: CE, ETSI EN 300 328 и EN 300 440 Классов 2 и 3 (Европа), FCC Часть 15 CFR47 (США) и STD-T66 ARIB (Япония). Сфера их практического применения довольно широка, меж тем в числе наиболее

Таблица 3. Привязка устройств к пинам разъема J2

Номер пина (PIO)	Функциональное назначение контакта
P0_0	Кнопка 1
P0_1	Кнопка 1
P0_2	UART CTS
P0_3	UART RTS
P0_4	UART TX
P0_5	UART RX
P0_6	Потенциометр
P0_7	Кнопка 3
P1_0	Светодиод (LED)
P1_1	Дисплей RS
P1_2	Прерывание акселерометра
P1_3	SPI синхросигнал для дисплея
P1_4	—
P1_5	SPI MOSI для дисплея
P1_6	Кнопка 3
P1_7	Контроль напряжения питания (DC)
P2_0	Кнопка 4
P2_1	—
P2_2	—

востребованных приложений следует назвать устройства с батарейным питанием, рассчитанные на значительный срок автономного функционирования, а также решения, в которых необходимо решать задачи поддержки нескольких параллельных соединений. Линейка BLE112, BLE113 взаимодополняет друг друга. Модуль BLE113 имеет меньшие габариты, более экономичен в сравнении с BLE112, гарантированно поддерживает большее количество параллельных соединений и лучше адаптирован для создания аудиоприложений (содержит в своем составе 12-разрядный АЦП). Модули BLE112 и BLE113 имеют более мощный передатчик и способны функционировать, обеспечивая большую зону покрытия. ■

Литература

1. www.bluetooth.com.
2. www.bluetooth.com/Pages/Low-Energy.aspx.
3. www.ti.com/ww/en/analog/bluetooth/.
4. Алексеев В. Новые модули Bluetooth 4.0 серии BLE производства Bluegiga // Беспроводные технологии. 2011. № 2.
5. Texas Instruments: 2.4-GHz Bluetooth® low energy System-on-Chip. CC2540F128, CC2540F256, SWRS084. October, 2010.
6. Texas Instruments. CC2540, Bluetooth® Low Energy. Software Developer's Guide v.1.0.
7. Bluegiga, BLE112 Preliminary Data Sheet. 28 January 2011. Version 0.91.
8. Nordman T. BLE112 Bluetooth® low energy module. Bluegiga Partner Briefing and Product Presentation. Finland. 2011.
9. Texas Instruments. SmartRF® Studio. User Manual. Rev. 6.13.1.
10. TI. SmartRF HANDS ON User Manual.
11. Bluetooth® Low Energy, CC2540. Mini Development Kit. User's Guide.
12. IAR Embedded Workbench® for 8051. www.iar.com/website1/1.0.1.0/244/1/.
13. BLE113 Development Kit 2.0.pdf
14. BLE113_Datasheet.pdf
15. Bluegiga Bluetooth Smart Software.pdf
16. Министерство связи и массовых коммуникаций. Приказ от 14.09.2010 № 124 «Об утверждении Правил применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 12.10.2010 № 18695).