

Отечественные беспроводные модули диапазона 868 МГц

Программа по импортозамещению играет решающую роль в обеспечении технологической и военной безопасности России. Вместе с тем далеко не во всех отраслях удается полностью перейти на отечественную элементную базу. В качестве примера можно привести беспроводные системы ISM-диапазона, которые востребованы на рынке, особенно в свете политики создания интеллектуальных распределенных систем мониторинга объектов и учета потребления ресурсов. Ряд российских компаний начинают предлагать компоненты для систем ISM-диапазона собственной разработки, выполненные на базе импортных элементов. В статье рассмотрены технические характеристики и практические возможности беспроводных модулей диапазона 868 МГц производства отечественной компании «Системы, Модули и Компоненты».

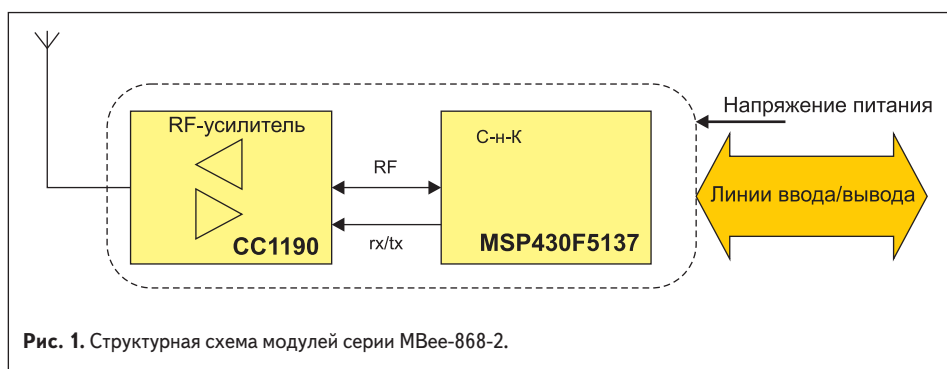
Александр Калачев
forther@yandex.ru

Одним из путей при разработке устройств для беспроводных сетей ISM-диапазона является использование готовых модулей и микросборок, интегрирующих на платах для поверхностного или мезонинного монтажа все элементы радиотракта, включая приемопередающие. При этом разработчик получает возможность сократить время выхода конечного продукта на рынок, избавлен от разработки топологии печатной платы для высокочастотной части. Все компоненты радиотракта согласованы между собой, и весь модуль в целом имеет согласованные параметры по температурному диапазону, мощности радиосигнала и др. При небольших партиях изделий использование готовых модулей приводит к сокращению суммарных затрат на единицу продукции.

Характеристики модулей MBee-868-2.0

Модули серии MBee-868-2.0 являются разработкой российской компании «Системы, Модули и Компоненты» («СМК») [1] и ориентированы на применение в составе систем беспроводной передачи данных и управления, телеметрии, системах безопасности. MBee-868-2.0 используют безлицензионный частотный диапазон 868 МГц, что позволяет рассчитывать на достаточно большой радиус действия в сочетании с приемлемыми габаритами антенн.

Модули построены на компонентах фирмы Texas Instruments — беспроводном контроллере (С-н-К) CC430F5137 и радиочастотном усилителе CC1190, что обеспечивает выходную мощность до +27 дБм при собственном низком энергопотреблении. Структурная схема MBee-868-2.0 представлена на рис. 1.



Конструктивно MВee-868-2.0 [2] выполнены в виде небольшой двусторонней печатной платы с расположенными по краям тридцатью шестью выводами, из которых двадцать восемь доступны пользователю (рис. 2).

На плату модули могут крепиться как при помощи поверхностного монтажа, так и мезонинным способом (для этого необходимо дополнительно к контактным площадкам припаять штыревые контакты с шагом 2 мм).

Радиочастотные характеристики модулей:

- протокол верхнего уровня 6LoWPAN или SimpliciTI;
- рабочий диапазон частот 863–873 МГц;
- программируемая выходная мощность передатчика до 27 дБм;
- чувствительность приемника до -116 дБм;
- скорость передачи данных до 500 Кбит/с;
- тип модуляции 2-FSK, 2-GFSK, 4-FSK, MSK, ASK/OOP;
- тип антенны — внешняя, разъем SMA (UFL — опционально).

Электрические характеристики:

- напряжение питания 1,8–3,6 В;
- потребляемый ток в режиме передачи до 200 мА;
- потребляемый ток в режиме приема до 50 мА;
- потребляемый ток в дежурном режиме 2,2 мкА;
- потребляемый ток в режиме сна 1,2 мкА;
- максимальное напряжение низкого уровня на цифровых входах 0,75 В;
- минимальное напряжение высокого уровня на цифровых входах 2,1 В.

Осциллограммы токов потребления в различных режимах представлены на рис. 3. В таблице 1 представлены данные по токам потребления при различной выходной мощности.

Потребителю модули могут поставляться с фирменной прошивкой, с прошивкой потребителя или без прошивки. В качестве фирменной прошивки выступает приложение — беспроводной UART, позволяющий передавать данные между двумя устройствами, используя модули MВee-868-2.0 в качестве «беспроводных удлинителей». В данной прошивке модули принимают данные по интерфейсу UART, осуществляют передачу и прием данных, принятые данные также выдаются по UART.

Модули MВee-868-2.0, используемые для удлинения UART-интерфейса, работают в режиме связи «точка-точка» с установлением соединения. На этапе производства каждому

Таблица 1. Зависимость тока потребления модуля в режиме передачи от выходной мощности

Выходная мощность, дБм	Ток потребления, мА
27	140,4
25	106,9
21	72
17	58,7
11	42
7	38,7
3	37
0	36
-32	36

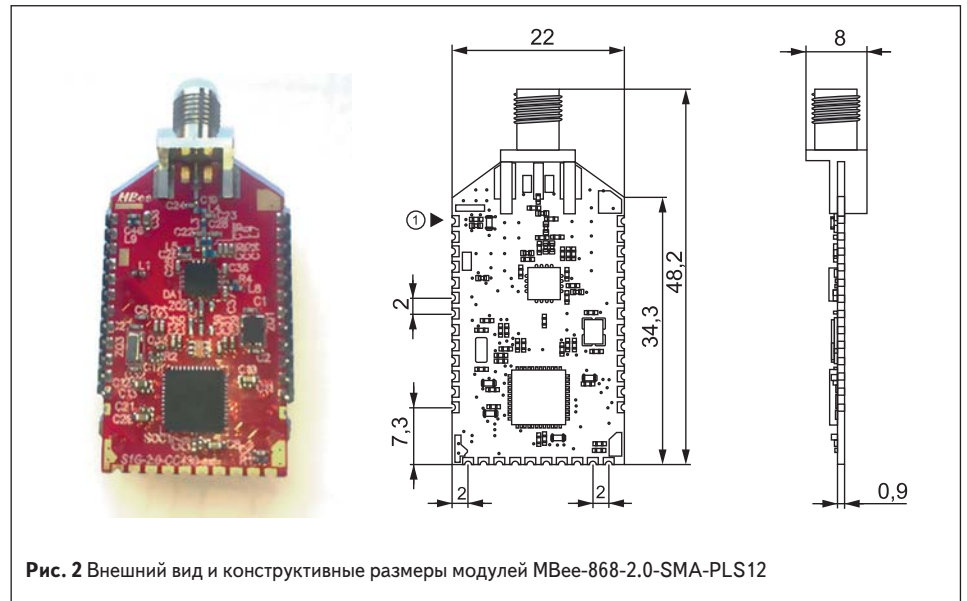


Рис. 2 Внешний вид и конструктивные размеры модулей MВee-868-2.0-SMA-PLS12

модулю присваивается его роль («ведущий» или «ведомый»). Также для каждой пары модулей определяются уникальные идентификаторы сети и могут быть заданы ключи шифрования.

Настройки последовательного интерфейса, установленные по умолчанию:

- скорость 9600 Кбит/с;
- число стоповых бит — 1;
- четность — нет;
- управление потоком аппаратное CTS/RTS.

Алгоритм работы модулей

Рассмотрим алгоритм работы пары модулей MВee-868-2.0 в прошивке «беспроводной UART». После включения питания ведущий модуль начинает передавать широковещательные запросы на установление соединения, а ведомый — прослушивать эфир для приема пакетов данного типа. При совпадении иденти-

фикаторов сети, а также ключей шифрования соединение устанавливается, и модули переходят в режим готовности к обмену данными. При первом включении модулей происходит процесс их «привязки» друг к другу: они начинают работать в паре.

Наличие соединения регулярно проверяется модулями через заранее определенное время. В демонстрационном варианте это время равно 1 с. Проверка соединения осуществляется только в отсутствие обмена данными по UART, что исключает влияние процесса проверки соединения на пропускную способность системы. Выводы, используемые стандартной прошивкой, представлены на рис. 4.

При установке соединения на выводе 36 модуля (PING) появляются высокочастотные прямоугольные импульсы. Состояние приемопередатчика модуля можно отслеживать

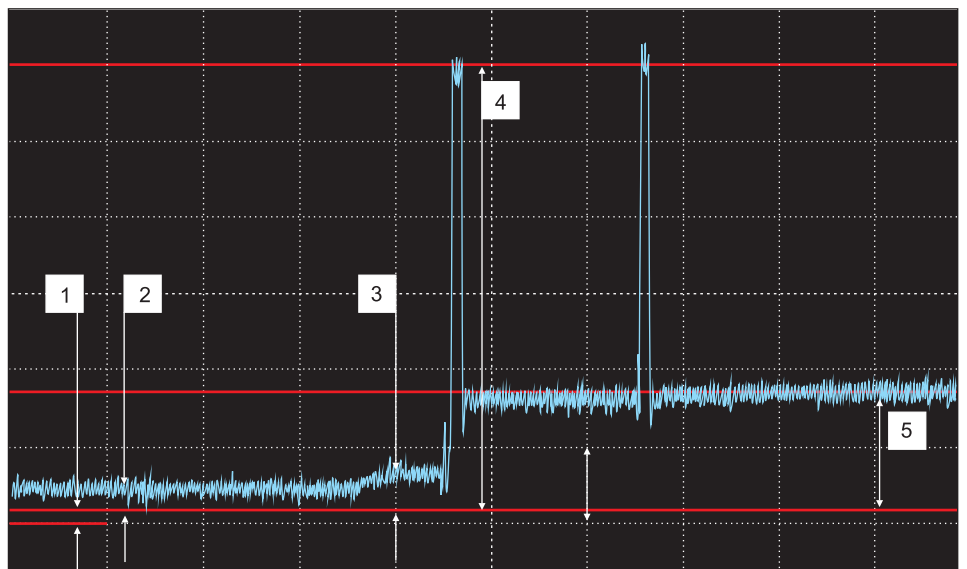


Рис. 3. Осциллограмма тока потребления модуля при выходной мощности +14 дБм: 1 — ток потребления платы SerialBridge при работе от внешнего источника питания 9 В, 1,35 мА; 2 — потребление модуля в режиме сброса — 2,6 мА; 3 — запуск приложения, инициализация контроллера модуля — 4,2 мА; 4 — передача пакетов, выходная мощность +14 дБм, — 50 мА; 5 — режим приема — 13,5 мА

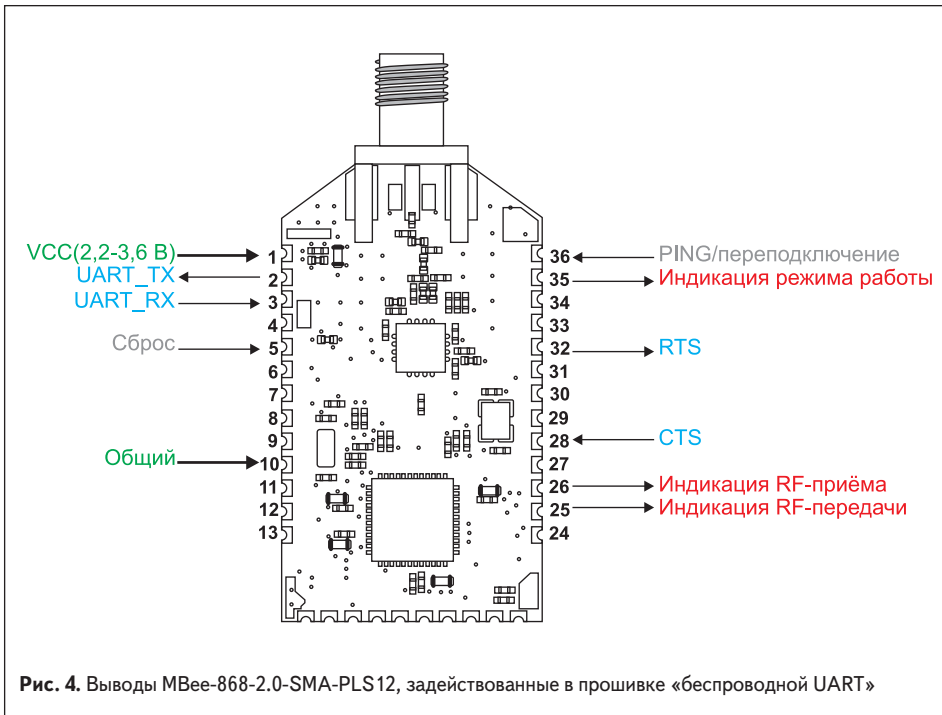


Рис. 4. Выводы M868-2.0-SMA-PLS12, задействованные в прошивке «беспроводной UART»

по сигналам на выводах 25, 26 — индикация передачи, индикация приема. В соответствующем режиме на одном из них появляется сигнал высокого уровня.

Эфирный протокол демонстрационного комплекта имеет ограничения в части гарантии доставки пакетов. По умолчанию каждый пакет требует подтверждения доставки от адресата. При отсутствии подтверждения отправитель делает ограниченное число повторных попыток передачи (их количество устанавливается на этапе производства и по умолчанию равно 100). По исчерпанию числа попыток отправитель считает, что связь прервалась, и переходит в режим установки соединения, определяемый его сетевой ролью.

При перерывах в радиосвязи блок UART продолжает принимать данные до тех пор, пока

не заполнится входной буфер. При восстановлении связи все пакеты, находящиеся в буфере, будут отправлены адресату. При приближении к границам буфера формируется сигнал CTS, который информирует хост-устройство об этой ситуации. При приеме данные из пакета помещаются в выходной буфер UART. При невозможности их отправки хост-устройству (активен сигнал RTS) после заполнения буфера принимающая сторона перестает отправлять пакеты подтверждения приема. Никакая особая нотификация передающей стороне о переполнении выходного буфера UART не осуществляется. После восстановления передачи данных по линии «UART-хост» и опустошения буфера нормальный прием пакетов возобновляется. Контроль повторно переданных пакетов не осуществляется. Целостность доставки

данных должна обеспечиваться протоколами хост-системы.

При подаче и удержании низкого уровня на линии PING в процессе передачи временно отключается функция требования подтверждения приема пакетов (опция удобна для оценки влияния наличия подтверждения доставки на пропускную способность тракта). Для удаления данных о привязке модулей следует в течение 2 с подать четыре импульса низкого уровня на вывод 36. После стирания данных модуль автоматически переходит в режим поиска пары в соответствии со своей сетевой ролью («ведущий» или «ведомый»).

Следует отметить достаточно приятную особенность модулей компании «СМК»: они могут устанавливаться вместо модулей XBee, так как совместимы по уровням напряжений и расположению выводов.

Плата SerialBridge 2.1

Для тестирования работы модулей и пользовательских приложений на их основе, а также в качестве достаточно универсального шлюза может быть использована плата SerialBridge 2.1 [4] (рис. 5), являющаяся также материнской платой модема RFSerialBridge.

На плате находятся:

- посадочное место для установки модуля;
- преобразователи интерфейсов USB-UART, RS485-UART, RS232-UART с соответствующими им разъемами;
- конфигурационные разъемы, позволяющие настраивать интерфейсы — тип преобразования, используемые модемом или интерфейсами сигналы;
- отладочный разъем;
- стабилизаторы питания;
- разъемы для подключения питания.

Для целей отладки и тестирования плата обычно подключается к USB-разъему персонального компьютера, где определяется как последовательный порт (COM-порт). После этого при помощи любой из программ — эмуляторов терминала можно подключаться к данному порту и посылать данные на UART-интерфейс беспроводных модулей. Белый светодиод, установленный на SerialBridge 2.1, предназначен для индикации установленного соединения. Процесс радиобмена отображается светодиодами индикаторами RF TX (красный) и RF RX (зеленый). Также отображается состояние линий RTS, CTS и происходит индикация наличия питания на плате. Функция требования подтверждения приема пакета может отключаться с помощью кнопки Ping/Restart Network. Для этого необходимо удерживать кнопку на плате передающего устройства в процессе передачи данных. При необходимости стереть данные о привязке модулей необходимо быстро, в течение 2 с, нажать кнопку PING четыре раза.

При помощи конфигурационных разъемов (путем установки на них перемычек) можно настроить необходимые преобразования интерфейсов, что позволяет подключать беспроводные модули к различному промышленному, коммуникационному, научному оборудованию и к системам учета потребления ресурсов.

Помимо обеспечения вывода сигналов модуля на периферийные интерфейсы, плата

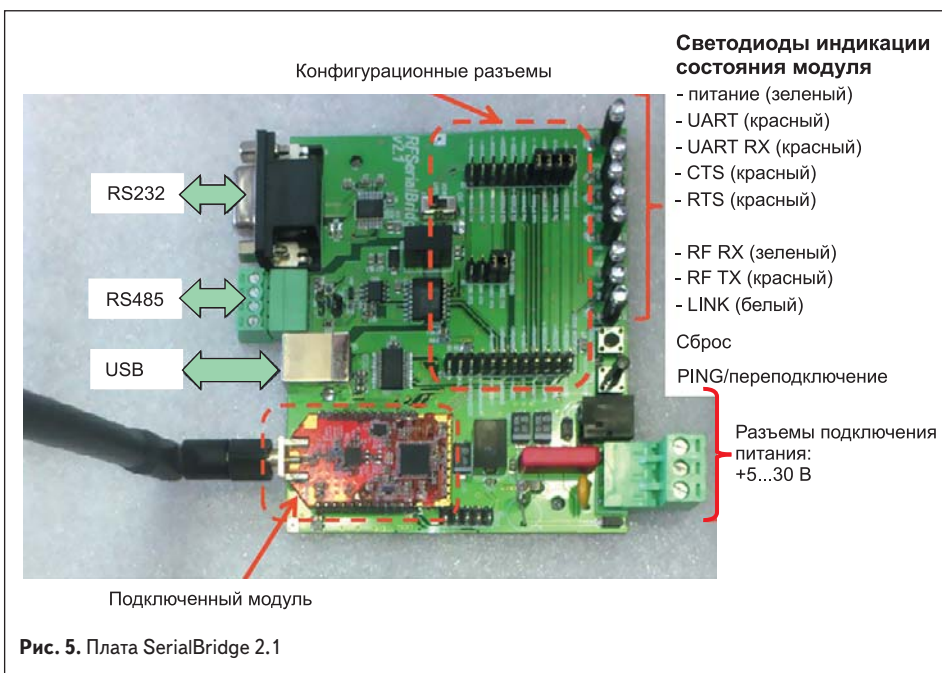


Рис. 5. Плата SerialBridge 2.1

Таблица 2. Доступные с помощью платы SerialBridge 2.1 преобразования интерфейсов

Интерфейс	USB	RS232	RS485
USB		+	+
RS232	+		+
RS485	+	+	

SerialBridge может служить универсальным преобразователем последовательных интерфейсов. Возможные комбинации преобразований представлены в таблице 2.

Работать с платой SerialBridge можно даже с мобильных платформ, также она допускает подключение модулей XBee (рис. 6).

Подключение и настройка модулей

Настроить параметры последовательного интерфейса и выходной мощности, а также обновить/сменить прошивку модулей MBee-868-2.0 (равно, как и других модулей) можно при помощи программы для ПК SysMC Serial BootLoader [5].

Для этого необходимо:

- установить модуль на плату Serial Bridge;
- подать питание на плату и подключить ее к ПК через COM- или USB-порт (в последнем случае внешнее питание не требуется);
- нажав и удерживая кнопку **PING**, одновременно нажать кнопку **RESET**, после чего отпустить **PING**.

Если все сделано правильно, модуль перейдет в режим обновления прошивки/конфигурирования, что отобразится в периодическом мигании белого светодиода на плате (период примерно 1,5–2 с). После этого нужно запустить

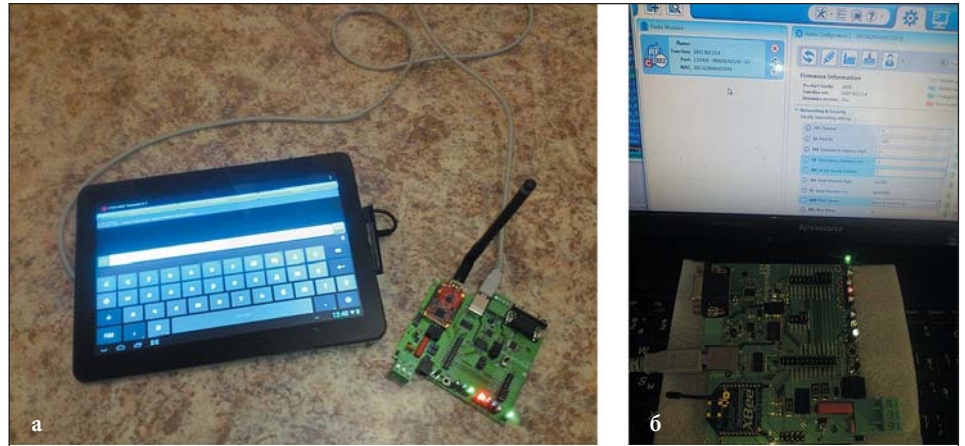


Рис. 6. Подключение: а) платы SerialBridge к планшету под управлением ОС Android; б) модуля XBee фирмы Digi к плате SerialBridge

программу SysMC Serial BootLoader, выбрать порт, к которому подключен модуль, нажать кнопку «**Опросить**» в меню программы. При этом в правой половине окна программы будут отображены параметры модуля — имя, версия и название прошивки, роль модуля (Master/Slave) (рис. 7).

При помощи меню программы «**Модуль**» можно считать/записать настройки выходной мощности модуля и параметров последовательного интерфейса (UART модуля) (рис. 8).

Для выхода из режима прошивки/конфигурации достаточно перезагрузить модуль, нажав кнопку **RESET**.

Если необходимо обновить прошивку модуля, то необходимо через меню «**Файл**» выбрать

требуемый образ прошивки. Параметры новой прошивки отобразятся в левой части окна программы (рис. 9).

При установке значения мощности диалоговое окно выдает подсказку о соответствии устанавливаемой мощности требованиям ГРЧЧ. Максимально допустимая мощность по требованиям ГРЧЧ не должна превышать +14 дБм. Аппаратные возможности модуля позволяют работать с выходными мощностями до +27 дБм. Работа на мощностях, превышающих +14 дБм, должна быть согласована с регулируемыми органами. В ряде случаев дополнительная мощность может потребоваться для компенсации потерь в радиотракте, например при под-

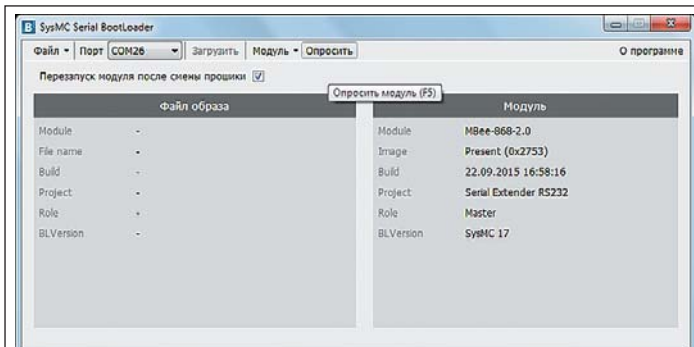


Рис. 7. Окно программы SysMC Serial BootLoader при корректно подключенном модуле



Рис. 9. Обновление прошивки через SysMC Serial BootLoader

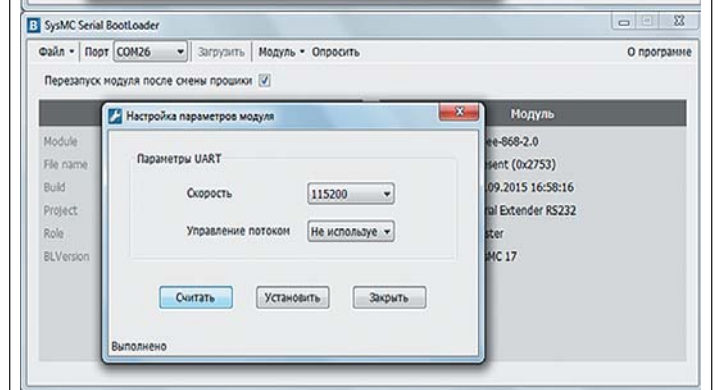
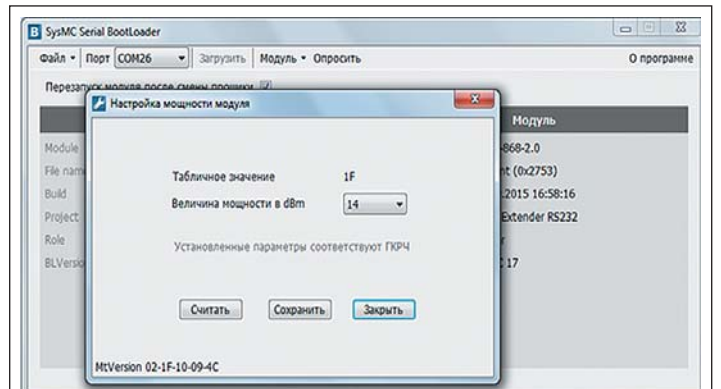


Рис. 8. Считывание и настройка выходной мощности и последовательного порта беспроводного модуля

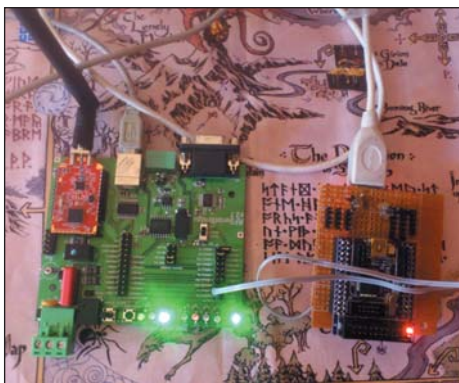


Рис. 10. Стационарный модуль с подключенным микроконтроллерным модулем

ключении внешней выносной антенны, т. к. потери будут на разъемах и в кабеле (грубые оценки потерь – примерно 1,5–2 дБм на каждый разъем и порядка 1,5 дБм/м). Компенсировать потери, в частности, из-за препятствий в виде стен, можно при помощи подбора оптимального типа антенны [6, 7].

Тестирование дальности связи

Для тестирования на дальность связи платы SerialBridge были оснащены автономным питанием, к одному из разъемов подключения внешнего питания были присоединены батарейки типа «Крона». Использовались батарейки средней ценовой категории, так

что напряжение на их клеммах установилось в районе 8,25 В, средний ток потребления платы с установленным модулем в режиме установленного соединения составил 15,8 мА. Модули были настроены на выходную мощность 14 дБм.

В ряде случаев, например когда один из модулей устанавливался в жилом помещении или в автомобиле, его питание осуществлялось от внешнего источника. Дополнительно к UART стационарного модуля для моделирования реальной передачи данных подключался микроконтроллерный модуль с прошитой форт-системой (рис. 10). Мобильный узел, подключенный к планшету с эмулятором терминала, являлся удаленной клавиатурой. Наличие связи при этом проверялось и по свечению индикатора, и по возможности работы с форт-системой.

Модули демонстрировали уверенную работу в пределах двух- и четырехэтажных зданий из панельных блоков (панельные дома типа «хрущевки», здания школ, детских садов, поликлиник), а также в радиусе до 100 м за их пределами.

Тестирование в условиях многоэтажного (15 этажей) кирпичного дома дало следующие результаты:

- в горизонтальном разрезе — один-два подъезда (установка модуля в пределах квартиры и на лестничной площадке);
- в вертикальном разрезе при установке в пределах квартиры устойчивая связь обеспечивалась в пределах пяти-шести этажей, а при установке на лестничной клетке (пожарная лестница) — восьми-деяти этажей.

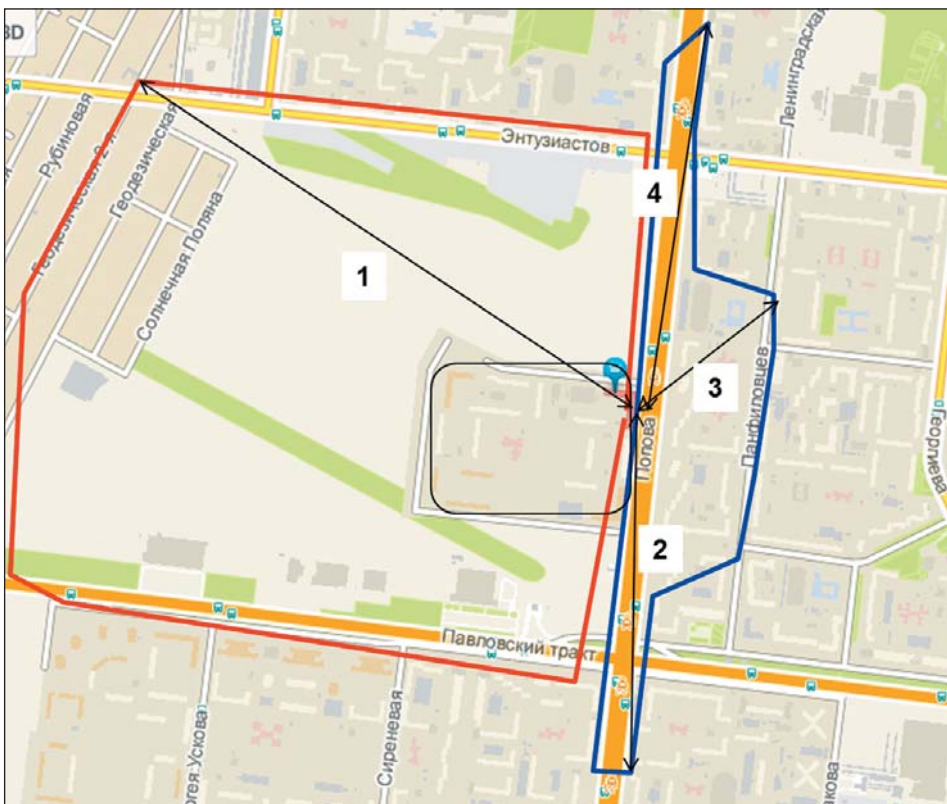


Рис. 11. Зона уверенной связи модулей MBee-868-2.0-SMA-PLS12 в условиях городской застройки (расстояние 1 — 1,5 км, 2 — 850 м, 3 — 450 м, 4 — 900 м)

Фактически в пределах малоэтажных зданий для организации систем АСКУЭ вполне достаточно сети топологии «звезда». Мощности передатчиков можно подбирать уже для конкретного проекта здания и расположения узлов.

Многоэтажные дома потребуют более сложных топологий, с применением различного типа узлов — конечных точек и маршрутизаторов. Установка модуля на внешней стороне многоэтажного здания (оконный проем/балкон) позволяет охватить все здание.

Связь модулей в условиях городской застройки часто зависит от обеспечения прямой видимости, и в целом зона покрытия модулей может быть достаточно большой.

На рис. 11 представлены зоны уверенной связи модулей в реальных городских условиях: выделено две области, обведенные красным и синим контурами. В обоих случаях один из модулей устанавливался на 13-м этаже на балконе с соответствующей стороны здания, а второй модуль — примерно на уровне 1,5 м над землей.

В красном контуре преобладает открытое пространство и зона частного сектора. В синем контуре — многоэтажная застройка с этажностью зданий от 6 до 10 этажей. В направлении частного сектора зона уверенной связи достигает 1,5–1,8 км. При этом в пределах микрорайона (обведен черным контуром) связь есть практически везде, включая помещения в здании офиса управляющей компании, за исключением зон глубокой радиотени (например, за высотками).

Условия приема в зоне высоток в области, выделенной синим контуром, более сложные. Так, например, вдоль улицы дальность связи может достигать 800–900 м, тогда как в области многоэтажек — всего 300–500 м. Хотя следует отметить наличие отдельных точек приема сигнала и на расстоянии 0,7–1 км в том случае, если точка установки стационарного модуля находилась в прямой видимости. При установке стационарного модуля в машине средний радиус связи между модулями порядка 600–700 м. В любом случае, условия связи внутри многоэтажных районов сильно зависят от их планировки.

Связь модулей в условиях практически открытого пространства при установке их на высотах 1,5–2 м зависит от ландшафта местности и от наличия рассеивающих сигнал объектов. В низинах связь теряется, массивы деревьев постепенно снижают уровень сигнала. Радиус действия модулей находится в пределах 600–800 м (рис. 12).

Заключение

Тестирование модулей показало их пригодность для организации беспроводных сетей сбора данных в городских и сельских условиях.

Связка беспроводной модем RFSerialBridge + плата SerialBridge (с установленным на ней модулем) позволяет достаточно просто оснащать беспроводным интерфейсом широкий спектр приборов учета, устройств промышленной автоматизации и систем сбора данных, коммуникационного оборудования и пр.



Рис. 12. Дальность связи модулей MBee-868-2.0-SMA-PLS12 на открытом пространстве — садоводческое хозяйство

Целевыми приложениями модулей и беспроводных модемов RFSerialBridge могут быть:

1. Системы сбора и мониторинга показаний приборов учета расхода и потребления ресурсов, как локализованные в пределах многоэтажного городского микрорайо-

на, так распределенные, с организацией считывания показаний мобильными приемниками.

2. Системы мониторинга объектов, в том числе удаленных, включая отслеживание режимов работы объекта, обмен данными, оповещение во внештатных ситуациях.

3. Охранно-пожарные системы сигнализации. Большой радиус действия модулей в условиях сельской местности на открытых пространствах и в лесных массивах позволяет при помощи небольшого количества узлов обслуживать значительные площади.

4. Удаленный мониторинг и администрирование коммуникационного оборудования, в частности для настройки и проверки работы сетевого оборудования в многоквартирных домах, складских территориях, распределенных промышленных объектах. В данном случае RFSerialBridge подключается к консольному порту коммутаторов или маршрутизаторов, что позволит удаленно и оперативно решать достаточно большую часть проблем, возникающих в сети. ■

Литература

1. <http://sysmc.ru>
2. http://sysmc.ru/solutions/wireless_modules_modems/modules/SYSMC_MBee_S1G_2.0/
3. http://sysmc.ru/solutions/wireless_modules_modems/development_kit/
4. http://sysmc.ru/solutions/wireless_modules_modems/modems/RFSerialBridge/
5. http://sysmc.ru/documentation/bootloader/SysMC_BootLoader_207.zip
6. www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2187/doc/58633/
7. <http://roscam-ufa.ru/stati-2/2013-06-30/uvelichenie-dalnosti-i-nadezhnosti-raboty-radiosistem-ops>