Беспроводная система MB-ZigBee
Техническое описание

Board Revision	
Product Name	
Doc Name	td_mbzigzee
Revision Date	03.09.2017
Revision Number	3

1. ОГЛАВЛЕНИЕ

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В разделе приведены назначение и состав автоматизированной беспроводной системы сбора данных MB-ZigBee (далее – система), описываются типы узлов, и некоторые технические характеристики.

2.1. Назначение системы

Система предназначена для передачи данных от удаленных датчиков в центр сбора и обработки и представляет собой самоорганизующуюся самовосстанавливающуюся беспроводную сеть, в основе которой находятся радиомодули диапазона 2,4 ГГц производства ООО «Системы, модули и компоненты».

2.2. Состав Системы

Система представляет собой совокупность узлов трех типов:

- Координатор
- Маршрутизатор
- Конечное устройство

Каждый тип узла имеет в своей основе беспроводной модуль MBee-2.4-2.1 или MBee-2.4-3.x. Программное обеспечение модулей определяет роль узла, а также выполняет все функции, связанные с обработкой и передачей данных по эфиру.

2.2.1. Координатор

Координатор – устройство, предназначенное для сопряжения беспроводной части сети с хост-системой. Под хост-системой понимается персональный/промышленный компьютер или ноутбук с установленным специализированным программным обеспечением, предназначенным для обработки поступающих данных, а также для управления сетью. Координатор, как правило, устанавливается стационарно на небольшом удалении от рабочего места оператора системы.

Радиомодули с сетевой ролью «Координатор» взаимодействуют с хост-системой с помощью последовательного асинхронного интерфейса типа UART. Скорость передачи данных, а также включение/выключение аппаратного управления потоком настраивается пользователем в зависимости от требований программного обеспечения. Физическое соединение радиомодуля осуществляется с помощью UART-конвертера. Одним из возможных аппаратных решений подобного конвертера является RFSerialBridge, выпускаемый фирмой «СМК» (см. Рисунок 1). Это устройство представляет собой универсальный конвертер, с помощью которого можно осуществить соединение с хост-системой одним из интерфейсов RS-232, RS-485 или USB. При USB-подключении конвертер определяется операционной системой как виртуальный COM-порт. Питание RFSerialBridge осуществляется от встроенного преобразователя с автоматическим выбором источника входного напряжения. В качестве входного источника может использоваться либо USB-интерфейс, либо внешний вход с допустимым диапазоном постоянного напряжения 5..36В. Интерфейс RS-485 имеет гальваническую развязку и способен обеспечивать ведомые устройства напряжением 5В от дополнительного встроенного преобразователя.

Конвертер RFSerialBridge поддерживается программой SysmcBootLoader и может быть также применим в качестве программатора модулей MBee любых серий.

Более подробная техническая информация, касающаяся RFSerialBridge, а также инструкция по эксплуатации находится на сайте www.sysmc.ru

Рисунок 1

Для задач, связанных с отладкой системы в лабораторных условиях или на этапе развертывания, возможно также применение устройства MB-USBridge. Данное изделие предоставляет собой бюджетный варианта адаптера для подключения модулей MBee всех серий к хост-системе с помощью USB-интерфейса. Внешний вид MB-USBridge показан на Рисунке 2. Техническая информация также доступна на сайте производителя.

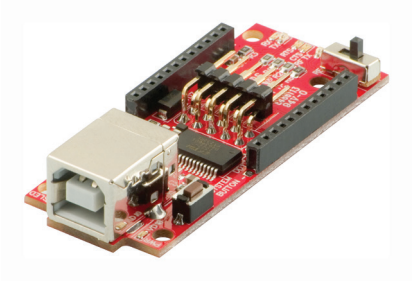

Рисунок 2

2.2.2. **Маршрутизатор**

Маршрутизатор – устройство, предназначенное для увеличения зоны покрытия сети и обеспечения функций самовосстановления сети и автоматической прокладки маршрутов. Представляет собой автономный узел, стационарно устанавливаемый и имеющий подключение к сетевому электропитанию.

2.2.3. **Конечное устройство**

Конечное устройство – устройство, основной функцией которого является передача данных Координатору по радиоканалу.

3. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

3.1. Поддерживаемые топологии сети

Базовой топологией для сети MB-ZigBee является ячеистая топология типа «Mesh», основанная на стандарте ZigBee. Сеть построена на базе сертифицированного стека Z-Stack Mesh 1.0.0 от Texas Instruments и поддерживает все функции, связанные с самоорганизацией и самовосстановлением.

3.2. Адресация

Система адресации, применяемая в сети MB-ZigBee, основана на использовании уникального 8-ми байтного MAC адреса устройства из адресного пространства Texas Instruments. В момент вхождения в сеть нового устройства, ему присваивается короткий 2-х байтный адрес.

В момент первого включения, Координатор анализирует эфир, после чего автоматически выбирает частотный канал и формирует PanID – уникальный адрес сети, что позволяет развертывать несколько беспроводных сетей на общей территории.

3.3. Режимы работы UART

Каждый из узлов сети может работать в прозрачном или пакетном режиме UART. Прошивка, в названии которой присутствует аббревиатура MT, предназначена для работы в пакетном режиме.

3.3.1. Прозрачный режим на Координаторе.

«Прозрачный» - режим, в котором все полученные по UART данные от хоста сразу отправляются по радиоканалу агрегатору, адрес которого указан в настройках узла. Все данные, полученные по радиоканалу и предназначенные данному модему или широковещательные, сразу отправляются в UART. Координатор сети отправляет данные полученные по UART в широковещательном режиме.

3.3.2. Пакетный режим

Пакетный – режим работы в котором обмен данными между хостом и модулем MBee, осуществляется в определенном формате. Данный режим расширяет возможности взаимодействия хоста с модулем.

Пакетный режим реализован на основе интерфейсов Monitor and Test (MT) компании Texas Instruments Inc. и является его дополнением.

3.4. Алгоритм работы

3.4.1. Конечное устройство

При первом включении Конечного устройства, происходит его логическое подключение к существующей инфраструктуре сети. Для успешного подключения в зоне радиовидимости должен находиться хотя бы один Маршрутизатор или Координатор. Подключение осуществляется в безопасном режиме с использованием шифрования. Стандартным режимом работы Конечного

устройства является режим низкого потребления или режим «сна». Переход Конечного устройства в активный режим возможен по нескольким событиям (см. Рисунок 3).

3.4.2. **Таймер опроса датчиков (SAMPLING_PERIOD).**

При срабатывании данного таймера Конченое устройство выходит из режима энергосбережения, производит опрос цифровых и аналоговых портов и отправляет их текущее значение Концентратору на кластер SAMPLING_AUTO (0x101). При этом активируются выходы SLEEP_STATUS, индицирующий активный режим работы Конечного устройства, и SENSOR_POWER, предназначенный для управления питанием внешними устройствами.

Интервал таймера начинает отсчитываться с момента перехода Конечного устройства в спящий режим. Величина интервала измеряется в секундах и определяется параметром SAMPLING_PERIOD. Удаленный доступ осуществляется командой AF_DATA_REQUEST на кластер 0x0402 для записи, и 0x0202 для чтения. Минимальное значение 0 с (при установке значения 0 таймер опроса отключается), максимальное значение 687194 с (приблизительно 8 дней). При установке значения параметра менее 100 мс, Конечное устройство засыпать не будет.

Интервал времени, в течении которого выход SENSOR_POWER остается активным, определяется параметром SENSOR_POWER_SETUP_TIME. Измерение показаний на аналоговых входах и отправка пакета осуществляется по истечении интервала SENSOR_POWER_SETUP_TIME. Удаленный доступ к этому параметру осуществляется командой AF_DATA_REQUEST на кластер 0x0406 для записи, и 0x0206 для чтения. Минимальное значение 0 мс, максимальное 65535 мс. При установке значения параметра больше 100 мс, Конечное устройство, просыпаясь будет активировать выход SENSOR_POWER, засыпать на установленный интервал SENSOR_POWER_SETUP_TIME оставляя выход SENSOR_POWER активированным, а после пробуждения производить опрос всех датчиков и отправлять данные родительскому устройству.

Если за время нахождения в активном режиме на UART Конечного устройства поступят данные, то они будут переданы в направлении Концентратора на кластер UART_AUTO (0x104).

3.4.3. **Таймер запроса данных от родительского узла (DATA_REQUEST_PERIOD).**

При срабатывании данного таймера Конченое устройство выходит из режима энергосбережения и отправляет запрос родительскому узлу о наличии для него данных или управляющих команд. При этом активируются выходы SLEEP_STATUS, индицирующий активный режим работы Конечного устройства. Данный таймер определяет скорость реакции Конечного устройства на внешние команды. Значение по умолчанию – 1000 мс.

Период таймера измеряется в миллисекундах. Определяется параметром DATA_REQUEST_PERIOD (кластер для записи 0x0401, для чтения 0x0201). Минимальное значение 0 мс, максимальное 65535 мс. При установке параметра равным 0, устройство перестает осуществлять отправку запросов. При установке значения параметра менее 100 мс, Конечное устройство засыпать не будет.

Время нахождения в активном режиме зависит от наличия или отсутствия данных для Конечного устройства на родительском узле. Датчики Конечного устройства, а также UART не опрашиваются.

Принципиальное отличие Конечного устройства от Координатора и Маршрутизатора – Конечное устройство может принять данные от родительского узла только в ответ на запрос, отправляемый Конечным устройством с периодом DATA_REQUEST_PERIOD. Это означает, что данные не могут быть приняты им в произвольные моменты времени, даже если Конечное устройство не является спящим.

3.4.4. **Нажатие на системную кнопку SYSTEM_BUTTON.**

При нажатии на кнопку, Конечное устройство переходит в активный режим на время, определяемое параметром BUTTON_WAKING_TIME, равное 3 секундам. Интервал задается на этапе компиляции и не может быть изменен пользователем. Находясь в активном режиме, вызванном нажатием на системную кнопку, Конечное устройство осуществляет запрос данных от родительского узла с периодом 250 мс. По истечении времени BUTTON_WAKING_TIME, период запроса данных от родительского устройств возвращается к значению, определяемому DATA_REQUEST_PERIOD.

При нажатии на системную кнопку происходит отправка Концентратору пакета, содержащего данные о температуре и напряжении на батарее, маске входов и их состоянии. Пакет отправляется на кластер SAMPLING_BUTTON (0x0102). Если за время нахождения в активном режиме на UART Конечного устройства поступят данные, то они будут переданы в направлении Концентартора на кластер UART_AUTO (0x0104). Основное назначение кнопки – упрощение процедуры отладки или развертывания системы.

3.4.5. **Активация входа SLEEP_REQUEST.**

При переходе этой линии в низкий уровень, Конечное устройство переходит в активный режим до тех пор, пока уровень на данном входе не станет высоким. Находясь в активном режиме, вызванном активацией входа SLEEP_REQUEST, Конечное устройство осуществляет запрос данных от родительского узла с периодом 500 мс. После перехода линии SLEEP_REQUEST в низкий уровень, период запроса данных от родительского устройств возвращается к значению, определяемому DATA_REQUEST_PERIOD. Если за время нахождения в активном режиме на UART Конечного устройства поступят данные, то они будут переданы в направлении Концентратора на кластер UART_AUTO (0x0104).

ВНИМАНИЕ! В случае одновременной установки параметров SAMPLING_PERIOD и DATA_REQUEST_PERIOD равными 0, Конечное устройство переходит в режим сверхнизкого потребления, выход из которого может быть осуществлен только с помощью входа SLEEP_REQUEST или системной кнопкой.

Для индикации текущего режима работы имеются два сигнала – SLEEP_STATUS и SENSOR_POWER. Сигнал SLEEP_STATUS переходит в высокий уровень каждый раз, когда Конечное устройство переходит в активный режим независимо от причины, вызвавшей этот переход. Выход SENSOR_POWER становится высоким, только если Конечное устройство перешло в активный режим при срабатывании таймера SAMPLING_PERIOD, после активации входа SLEEP_REQUEST, или после нажатия на кнопку SYSTEM_BUTTON.

Адресатом «по умолчанию» для всех сообщений (Концентратором) является Координатор (сетевой адрес 0x0000). При получении пакета по эфиру, предназначенного данному Конечному устройству, в зависимости от типа пакета, данные, содержащиеся в нем, либо прозрачно выдаются на UART, либо обрабатываются локально. Для версий с поддержкой MT API, все пакеты, как входящие, так и исходящие, форматируются в соответствии с описанием, приведенным в главе «Командный интерфейс». При этом имеется возможность отправки пакета произвольному адресату, используя команду AF_DATA_REQUEST. Адрес требуемого узла должен быть известен заранее или получен с помощью прикладного API, описанного в главе «Командный интерфейс».

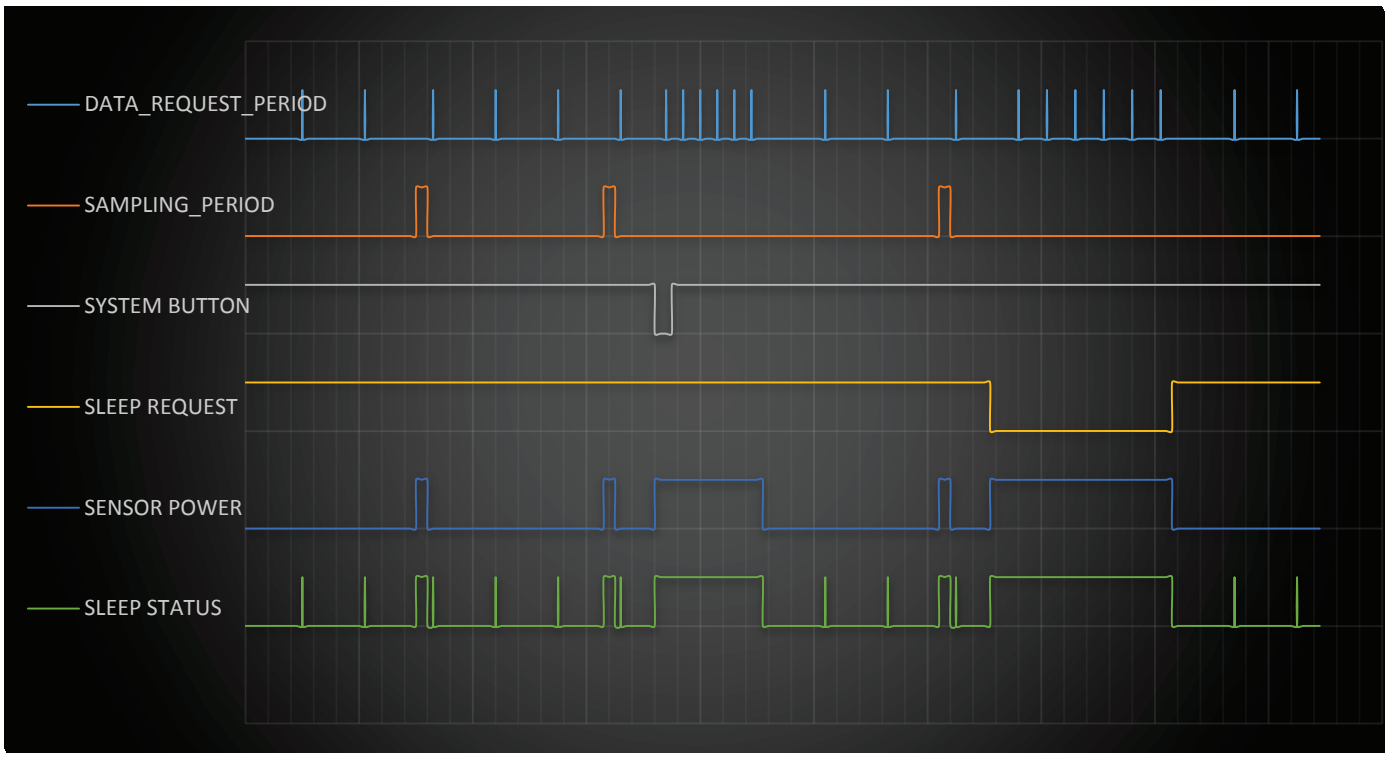

Рисунок 3

3.4.6. **Маршрутизатор**

Маршрутизатор является постоянно включенным устройством и отвечает за прокладку маршрутов между взаимодействующими узлами. Применяется для расширения емкости и увеличения зоны покрытия сети. Допускает подключение до 20 дочерних устройств, из которых до 6 могут быть маршрутизаторами. Не имеет спящего режима. Может быть использован также в качестве Концентратора. В этом случае необходимо во всех Конечных устройствах изменить MAC-адрес Концентратора с установленного по умолчанию адреса Координатора на адрес требуемого Маршрутизатора. Получить адрес MAC-адрес и осуществить его изменение можно с помощью функций прикладного API, имеющегося во встроенном ПО модулей.

Может выполнять все функции Конечного устройства, кроме работы в энергосберегающем режиме. Выход SLEEP_STATUS всегда находится в высоком уровне, а вход SLEEP_REQUEST отключен.

3.4.7. **Координатор**

Координатор обеспечивает взаимодействие беспроводной части системы MB-ZigBee с хост-системой. Он ответственен за инициализацию сети, подключения новых узлов и распределение ключей шифрования. Кроме этого, как правило, Координатор выполняет роль Концентратора сети, т.е узла, являющегося адресатом сообщений, поступающих от Конечных устройств и Маршрутизаторов.

Может выполнять все функции Конечного устройства, кроме работы в энергосберегающем режиме. Выход SLEEP_STATUS всегда находится в высоком уровне, а вход SLEEP_REQUEST отключен. Так как адрес Концентартора, установленный по умолчанию, совпадает с адресом Координатора, то при включении автоматического опроса на Координаторе регулярный пакет будет сразу отправляться в UART.

4. АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА СИСТЕМЫ

4.1. Радиомодуль MBee

4.1.1. Радиочастотные характеристики

- Протокол верхнего уровня ZigBee PRO
- Рабочий диапазон частот 2,405-2,480 ГГц
- Программируемая выходная мощность передатчика до 21 дБм для модулей MBee-2.4-2.1 и до 4 дБм для модулей MBee-2.4-3.x
- Чувствительность приемника до -103 дБм
- Скорость передачи данных до 250 Кбит/с
- Тип модуляции O-QPSK

4.1.2. Электрические характеристики

- Напряжение питания 2,0 В – 3,6 В
- Потребляемый ток в режиме передачи 130 мА
- Потребляемый ток в режиме приема 31 мА
- Потребляемый ток в дежурном режиме 1,6 мкА
- Потребляемый ток в режиме сна не менее 0,4 мкА
- Максимальное напряжение низкого уровня на цифровых входах 0,5 В
- Минимальное напряжение высокого уровня на цифровых входах 2,5 В

4.1.3. Программное обеспечение

Радиомодули MBee-2.4 поставляются с предустановленной специальной резидентной программой, позволяющей при подключении устройства к компьютеру записывать в модуль необходимое программное обеспечение в соответствие с требуемой ролью узла (Конечное устройство/Маршрутизатор/Координатор) и производить настройку параметров. Установка программного обеспечения модуля осуществляется с помощью приложения SysmcBootLoader, актуальная версия которого доступна на сайте www.sysmc.ru.

4.2. Линии ввода/вывода

Линии ввода/вывода используемые по умолчанию MBee-2.4 представлены на Рисунке 4. Данная конфигурация выводов адаптирована для использования модулей MBee-2.4 совместно с платформой MB-Tag (описание доступно на сайте www.sysmc.ru). Конфигурация выводов определяется кластером IO_CONFIG (0x0203 – считать, 0x0403 - установить) и может быть изменена опытным пользователем в соответствии с Приложением «Управление конфигурацией выводов».

Для удаленного управления цифровым выходом DIGITAL OUTPUT (вывод №9) предназначены кластеры 0x0007 (включение) и 0x0087 (выключение). Активный уровень – высокий.

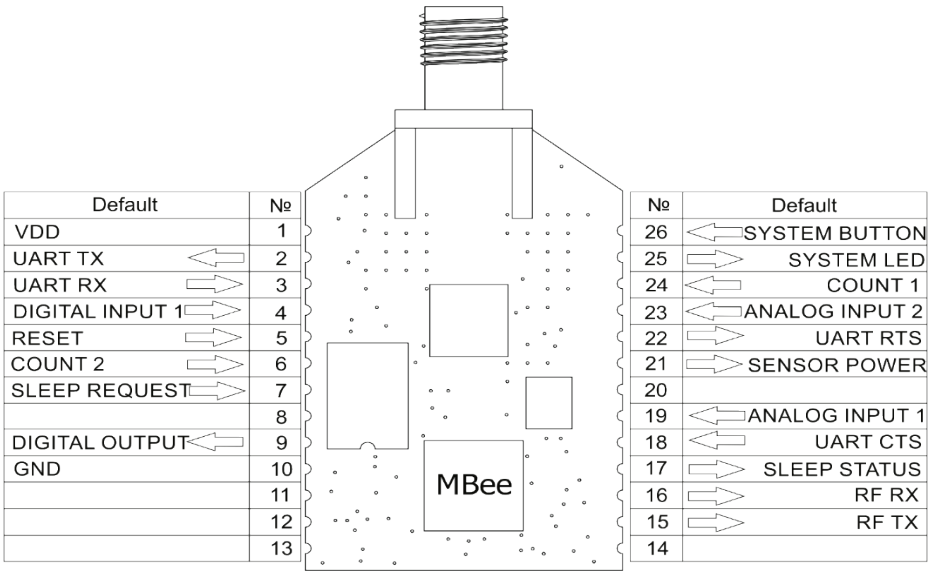

Рисунок 4

4.2.1. **Индикация**

Для отображения режимов работы устройства в программном обеспечении модулей для всех конфигураций (Конечное устройство, Маршрутизатор, Координатор) предусмотрена поддержка светодиодной индикации. Соответствующие номера выводов радиомодулей MBee-2.4 для подключения светодиодов приведены в Таблице 1.

Обозначение	Описание	№ вывода		
		MBee-2.4-2.1	MBee-2.4-3.0	MBee-2.4-3.1
RF TX	Режим «Передача» радиоядра	15	19	22
RF RX	Режим «Прием» радиоядра	16	20	23
SYSTEM LED	Системный светодиод. Выход предназначен для индикации режима обновления программного обеспечения/настроек. Кроме этого, в рабочем режиме активируется каждый раз при приеме пакета, предназначенного для данного узла.	25	29	32

Таблица 1

4.2.2. **Входные управляющие сигналы**

Для управления устройством задействованы три входа радиомодулей, назначение которых приведено в Таблице 2. Все входы имеют внутренние подтягивающие к напряжению питания резисторы и отрицательный активный фронт.

Обозначение	Описание	№ вывода		
		MBee-2.4-2.1	MBee-2.4-3.0	MBee-2.4-3.1
RESET	Перезагрузка модуля	5	5	5
SLEEP_REQUEST	Вход предназначен для вывода модуля из режима сна.	7	7	7
SYSTEM_BUTTON	Ввод модуля в режим bootloader[1], временный перевод модуля в активный режим с отправкой тестового пакета, инициализация сетевых настроек.	26	30	33

Таблица 2

[1] Специальный режим, предназначенный для обновления программного обеспечения и настройки параметров модуля. Для входа в режим обновления/настроек, необходимо удерживая кнопку SYSTEM_BUTTON нажать и отпустить кнопку RESET. Светодиод SYSTEM LED в режиме настроек включается с периодом 1 с.

4.2.3. **Выходные управляющие сигналы**

В программном обеспечении MB-ZigBee предусмотрены дополнительные выходные линии, которые могут быть использованы для управления внешними устройствами или для определения текущего статуса работы радиомодуля (см. Таблица 3). Выход SENSOR_POWER может управлять ключом питания датчиков, подавая напряжение на него лишь в момент перехода узла в активный режим в соответствии с таймером SAMPLING_PERIOD, что значительно уменьшает среднее энергопотребление узла. Выход SLEEP_STATUS сигнализирует о переходе устройства в активный режим и может быть использован хостом как индикатор текущего состояния устройства.

Обозначение	Описание	№ вывода		
		MBee-2.4-2.1	MBee-2.4-3.0	MBee-2.4-3.1
SLEEP_STATUS	Переходит в высокий уровень каждый раз, когда Конечное устройство переходит в активный режим независимо от причины, вызвавшей этот переход.	17	21	24
SENSOR_POWER	Переходит в высокий уровень, только если устройство перешло в активный режим при срабатывании таймера регулярной отправки пакетов, при нажатии на системную кнопку или после активации входа SLEEP_REQUEST.	21	25	28

Таблица 3

4.2.4. **UART интерфейс**

UART интерфейс предназначен для обмена информацией с внешними устройствами и для обновления программного обеспечения радиомодулей MBee. Используемые UART`ом выводы приведены в Таблице 4.

Обозначение	Описание	№ вывода		
		MBee-2.4-2.1	MBee-2.4-3.0	MBee-2.4-3.1
TX	Выход TX модуля	2	2	2
RX	Вход RX модуля	3	3	3
CTS	Вход модуля, разрешающий/запрещающий ему передавать данные по UART в сторону хоста	18	22	25
RTS	Выход модуля, информирующий хост о разрешении/запрете передавать данные по UART в сторону модуля	22	26	29

Таблица 4

4.2.5. **Пользовательские линии ввода/вывода**

В конфигурации по умолчанию предусмотрено 6 пользовательских линий ввода/вывода. Их назначение приведено в Таблице 5.

Обозначение	Описание	№ вывода		
		MBee-2.4-2.1	MBee-2.4-3.0	MBee-2.4-3.1
DIGITAL INPUT 1	Цифровой выход №1	4	4	4
COUNT 2	Счетный вход №2	6	6	6
DIGITAL OUTPUT	Цифровой выход	9	9	9
ANALOG INPUT 1	Аналоговый вход №1	19	23	26
ANALOG INPUT 2	Аналоговый вход №2	23	27	30
COUNT 1	Счетный вход №1	24	28	31

Таблица 5

5. КОНФИГУРИРОВАНИЕ УЗЛОВ

5.1. Программное обеспечение SysmcBootLoader

ПО SymcBootLoader является универсальной программой, предназначенной для доступа к радиомодулям MBee всех серий. Актуальная версия программы доступна на сайте www.sysmc.ru. Вид главного рабочего окна SysmcBootLoader приведен на Рисунке 5.

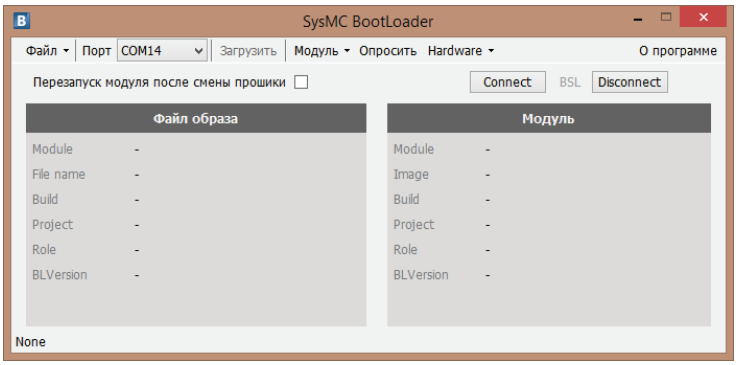

Рисунок 5

Для программирования модуля необходимо:

1. Выбрать COM порт в соответствующем поле программы.
2. Ввести модуль в режим программирования/настройки. Для RFSerialBridge или MB-USBridge, необходимо удерживая кнопку SYSTEM_BUTTON нажать и отпустить кнопку RESET, затем, для проверки правильности подключения, следует нажать «Опросить».
3. Выбрать файл прошивки, указав путь к нему во вкладке Файл->Открыть. Если все сделано правильно, то окно программы будет иметь вид, представленный на Рисунке 6.

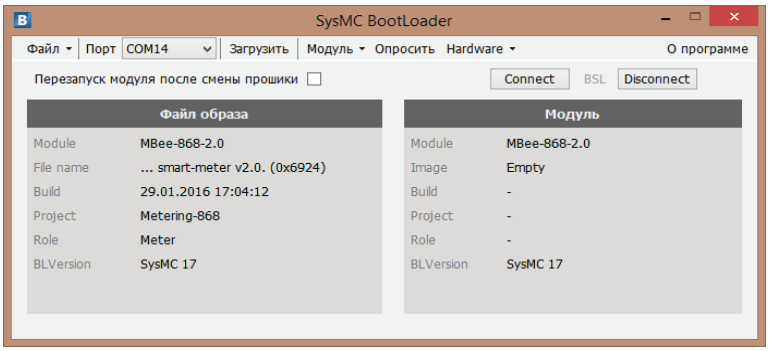

Рисунок 6

4. Нажать кнопку «Загрузить». Если при этом установлена галочка в поле «Перезапуск модуля после смены прошивки», то модуль автоматически выйдет из режима программирования после завершения верификации.

После смены прошивки, во вкладке «Модуль» можно произвести его настройку: изменить выходную мощность передатчика, настроить адрес устройства и параметры последовательного интерфейса (набор доступных для изменения параметров зависит от типа модуля и его сетевой роли).

6. КОМАНДНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

6.1. Введение

В данной главе описан прикладной программный интерфейс MBee API, который разработан на основе интерфейсов Monitor and Test (MT) компании Texas Instruments Inc. и является его дополнением.

Для знакомства с интерфейсами MT в настоящем документе приводится описания команд из категорий MT_AF, MT_SYS, MT_ZDO опубликованные Texas Instruments Inc. в руководстве Z-Stack Monitor and Test API (Document Number: SWRA198 Revision 1.10).

6.1.1. Список используемых сокращений

ADC Analog to Digital Conversion

AF Application Framework

API Application Programming Interface

AREQ Asynchronous Request

FCS Frame Check Sequence

LSB Least Significant byte first

MBee API SysMC API based on Texas Instruments MT interfaces

MT Monitor and Test

SOF Start of Frame

SREQ Synchronous Request

SRSP Synchronous Response

ZDO ZigBee Device Object

Z-Stack Texas Instruments ZigBee protocol stack

Z-Tool Texas Instruments ZigBee PC-based test tool

6.2. Интерфейс MT API

6.2.1. Общий формат API фрейма

API фреймы пересылаются между приложением пользователя и целевым устройством ZigBee. Каждый фрейм начинается с байта-заголовка **SOF** (Start of Frame), содержит поле переменной длины **MT CMD** (от 3 до 253 байт) и завершается контрольным байтом **FCS** (Frame Check Sequence). Формат фрейма приведен в Таблице 6.

SOF	MT CMD							FCS
	LEN	CMD		DATA				
1	2	3	4	5	6	…	m	m+1

Таблица 6

SOF (Start of Frame) - это однобайтовое поле, со значением равным 0xFE, которое определяет начало фрейма.

MT CMD (Monitor Test Command) - содержит один байт определяющий длину поля данных, 2 байта идентификатора команды MT API, и необязательное поле данных.

> **LEN** (Length) - **о**днобайтовое значение, определяющее длину поля DATA. Если поле DATA отсутствует, значение поля LEN должно быть установлено равным нулю и общая длина поля MT CMD, в таком случае составит 3 байта.
>
> **CMD** (Command Id) - **д**ва байта, представляющие идентификатор команды для текущего фрейма.
>
> **DATA - с**одержит данные фрейма. Длина этого поля зависит от команды и может быть от 0 до 250 байт.

FCS (Frame Check Sequence): это однобайтовое поле, позволяющее подтвердить целостность пакета. Значение вычисляется как операция XOR над каждым байтом фрейма, исключая первый и последний.

6.2.2. **Расчет контрольной суммы**

Алгоритм расчета байта FCS (контрольной суммы) на языке C#.

```
static byte Compute(byte[] buffer)
{
	const int lenPos = 1;
	int sumPos = buffer.Length – 1;
	int sum = 0;

	for (int I = lenPos; I < sumPos; i++)
	{
		sum = sum ^ buffer[i];
	}
	return (byte)sum;
}
```

6.2.3. **AF_DATA_REQUEST**

Для обмена данными между узлами сети, модули MBee используют команду AF_DATA_REQUEST из подмножества MT_AF. На уровне приложений, узлы сети ZigBee предоставляют подключенные конечные точки (EndPoint), каждая из которых может обслуживать несколько кластеров (CID). Кластер можно рассматривать как расширитель адреса. Интерфейс фрейма AF_DATA_REQUEST использует эти идентификаторы для подготовки и отправки данных удаленному узлу.

SOF	MT Command																	FCS
	LEN	CMD		DATA														
				DstAddr		DEP	SEP	CID		TID	Opt	Rad	ADL	AfData				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	…	m		m+1
0xFE		0x24	0x21			0xE8	0xE8											

Таблица 7

SOF – начало фрейма, 0xFE. Длина поля – 1 байт.

LEN – длина поля DATA (0x0A-0x5A). Длина поля – 1 байт.

CMD – команда AF_DATA_REQUEST, 0x2421. Длина поля – 2 байта.

DstAddr – адрес узла, которому адресованы данные (младшим байтом вперед). Длина поля – 2 байта.

DEP – идентификатор конечной точки, 0xE8. Длина поля – 1 байт.

SEP – идентификатор конечной точки, 0xE8. Длина поля – 1 байт.

CID – идентификатор кластера (см. список кластеров MBee API). Длина поля – 2 байта.

TID – идентификатор транзакции (назначается произвольно). Длина поля – 1 байт.

Opt – опциональные флаги передачи, 1 байт. Возможные значения приведены в Таблице 8. Длина поля – 1 байт.

№ бита	7	6	5	4	3	2	1	0
Значение	Skip routing	APS security	Discovery route	APS acknowledge				

Таблица 8

Rad – поле, устанавливающее разрешенное количество «скачков» до узла назначения. Значение по умолчанию равно 7. Длина поля – 1 байт.

ADL – длина поля AfData (0x00 – 0x50). Длина данного поля – 1 байт.

AfData – поле данных. Длина поля переменная, от 0 до 80 байт.

FCS – контрольная сумма. Длина поля – 1 байт.

В ответ на команду AF_DATA_REQUEST приходит сначала подтверждение того, что команда получена локальным узлом (Таблица 9) - SRSP, а затем, в случае если сообщение успешно доставлено, приходит подтверждение от адресата – AREQ (см. раздел AF_DATA_CONFIRM).

SOF	MT Command				FCS
	LEN	CMD		DATA	
				Status	
1	2	3	4	5	6
0xFE	0x01	0x64	0x01		

Таблица 9

SOF – начало фрейма, 0xFE. Длина поля – 1 байт.

LEN – длина поля DATA. Длина поля – 1 байт.

CMD – команда подтверждения доставки локальному узлу, 0x6401. Длина поля – 2 байта.

Status – поле статуса доставки. В случае успешной доставки равно 0x00. Длина поля – 1байт.

FCS – контрольная сумма. Длина поля – 1 байт.

6.2.4. **AF_DATA_CONFIRM**

Данная команда высылается асинхронно (ответ AREQ), в качестве подтверждения доставки после отправки данных узлу сети. Если при использовании интерфейса AF_DATA_REQUEST в поле Options установлен флаг APS acknowledge, то подтверждение высылается после того, как фрейм достигнет узла назначения. В противном случае, подтверждение высылается после того, как фрейм достигнет первого узла на маршруте (first hope).

Подтверждение высылается после локального (ответ SRSP), если запрос был адресован удаленному узлу, но может быть получено до него, если запрос адресовался модулю, подключенному локально.

Для контроля передачи и подтверждения пользователю предоставляется поле Идентификатора транзакции, которое отождествляет отправленный фрейм и фрейм подтверждения доставки.

SOF	MT Command						FCS
	LEN	CMD		DATA			
				Status	DEP	TID	
1	2	3	4	5	6	7	8
0xFE	0x03	0x44	0x80				

Таблица 10

SOF – начало фрейма, 0xFE. Длина поля – 1 байт.

LEN – длина поля DATA, 0x03. Длина поля – 1 байт.

CMD – команда подтверждения доставки локальному узлу, 0x4480. Длина поля – 2 байта.

Status – поле статуса доставки. В случае успешной доставки равно 0x00. Длина поля – 1байт.

DEP – идентификатор конечной точки, 0xE8. Длина поля – 1 байт.

TID – идентификатор транзакции (назначается произвольно). Длина поля – 1 байт.

FCS – контрольная сумма. Длина поля – 1 байт.

Время ожидания подтверждения может варьироваться в зависимости от использования флага APS acknowledge, глубины узла, его доступности, периода DATA_REQUEST_PERIOD и т.д.

6.2.5. **AF_DATA_RESPONSE**

Данная команда определяет фрейм входящих данных. Данные могут быть получены от модулей, выполняющих цикл автоматического самоопроса или как асинхронный ответ (ответ AREQ) на запрос данных, после фрейма подтверждения доставки.

SOF	MT Command																			FCS
	LEN	CMD		DATA																
				CID		EP	WB	LQI	RSSI	IEEEAddr			NetAddr		ADL	AfData				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	…	18	19	20	21	22	…	m		m+1
0xFE		0x48	0x81			0xE8														

Таблица 11

SOF – начало фрейма, 0xFE. Длина поля – 1 байт.

LEN – длина поля DATA (0x11-0x61). Длина поля – 1 байт.

CMD – команда AF_DATA_RESPONCE, 0x4881. Длина поля – 2 байта.

CID – идентификатор кластера (см. список кластеров MBeeAPI). Длина поля – 2 байта.

EP – идентификатор конечной точки, 0xE8. Длина поля – 1 байт.

WB – идентификатор транзакции. Длина поля – 1 байт.

LQI – показатель качества принятого сигнала от последнего узла на маршруте. Длина поля – 1 байт.

RSSI – уровень принятого сигнала от последнего узла на маршруте. Длина поля – 1 байт.

IEEEAdr – 64-битный уникальный адрес узла, приславшего данные. Длина поля – 8 байт.

NetAddr – 16-битный адрес узла, приславшего данные. Длина поля – 2 байта.

ADL – длина поля AfData. Длина данного поля – 1 байт.

AfData – поле данных. Длина поля переменная, от 0 до 80 байт.

Формат поля AfData приведен в Таблице 12.

AfData						
Temp		VBatt		Data		
22	23	24	25	26	…	m

Таблица 12

Temp – температура, измеренная ядром узла. Длина поля – 2 байта. Рассчитывается по формуле: (Temp-1480)/4.5 + 25.

VBatt – напряжение питания радиомодуля. Длина поля – 2 байта. Рассчитывается по формуле: 3,45*ADC/2047

Data – поле данных. Длина поля от 0 до 68 байт.

FCS – контрольная сумма. Длина поля – 1 байт.

6.3. MBee API

MBee API - это прикладной программный интерфейс, который описывает взаимодействие приложения пользователя и модуля MBee через последовательный интерфейс UART. Обмен информацией с модулем осуществляется с помощью блоков структурированных данных, называемых API фреймами.

API фреймы определяют формат, в соответствии с которым, модулю передаются команды, принимаются ответы и статусные сообщения. Формат фрейма гарантирует обнаружение начала и конца сообщения, а также его целостность.

Интерфейс MBee API базируется на передаче фреймов с использованием команды AF_DATA_REQUEST и получении запрошенных данных во фреймах с командой AF_DATA_RESPONSE (если отправлена одна из команд чтения и т.п.).
В MBee API используется конечная точка с идентификатором 0xE8. Идентификаторы кластеров, и возможности, которые они предоставляют, приведены ниже.

6.3.1. Список кластеров MBee API

№ Кластера	Описание кластера
Управление цифровыми портами	
0x0007	Включение активного состояния на цифровом выходе DO
0x0087	Включение неактивного состояния на цифровом выходе DO
Чтение параметров модуля	
0x00FF	Получение даты ревизии прошивки модуля
0x0100	Получение информации о аппаратной конфигурации модуля и версии программного обеспечения
0x0201	Получение установленного значения DATA_REQUEST_PERIOD
0x0202	Получение установленного значения SAMPLING _PERIOD
0x0203	Получение информации о текущих настройках портов ввода/вывода
0x0204	Получение информации о текущем состоянии цифровых линий ввода/вывода

№ Кластера	Описание кластера
0x0205	Получение установленного значения максимального времени поиска Конечным устройством родительского. Если Конечным устройством родительское не будет найдено за данное время, то Конечное устройство перейдет в спящий режим на интервал равный SAMPLING_PERIOD. При этом, регулярные пробуждения в соответствии с интервалом DATA_REQUEST_PERIOD не производятся.
0x0206	Получение времени нахождения в активном режиме
0x0207	Получение IEEE-адреса Концентратора данных
0x0208	Получение установленных значений флагов управления режимом работы UART в направлении модуль -> хост
0x0209	Получение измеренного значения температуры встроенным датчиком модуля
0x020A	Получение установленного значения максимального времени нахождения Конечного устройства в активном режиме. При нахождении в активном режиме больше данного значения, устройство перезапускается
0x020B	Получение установленного ТС-ключа (ключа подключения)
0x020D	Получение установленного значения количества повторных попыток отправки фрейма
0x020E	Получение текущих значений на счетных входах
Установка параметров модуля	
0x0401	Установка значения периода DATA_REQUEST_PERIOD
0x0402	Установка значения периода SAMPLING_PERIOD
0x0403	Настройка портов ввода/вывода
0x0404	Установка цифровых выходов
0x0405	Установка значения максимального времени поиска Конечным устройством родительского
0x0406	Установка значения времени нахождения в активном режиме
0x0407	Установка IEEE-адреса Концентратора данных
0x0408	Установка значений флагов управления режимом работы UART в направлении модуль -> хост
0x0409	Установка значения встроенного в модуль датчика температуры (калибровка)
0x040A	Установка значения максимального времени нахождения Конечного устройства в активном режиме. При нахождении в активном режиме больше данного значения, устройство перезапускается
0x040B	Запись ТС-ключа
0x040C	Инициализация сетевых настроек
0x040D	Установка количества попыток отправки фрейма
0x040E	Установка значений на счетных входах
Данные о состоянии портов ввода-вывода	
0x0101	Полученные данные были отправлены автоматически при входе устройства в сеть или в цикле периодического опроса портов вода-вывода
0x0102	Полученные данные были отправлены после нажатия системной кнопки на удаленном узле
0x0103	Полученные данные были отправлены в ответ на запрос по эфиру
0x0108	Полученные данные были отправлены после срабатывания «тревожного» входа
UART данные	
0x0104	Полученные данные были отправлены автоматически при входе устройства в сеть или в цикле периодического опроса портов вода-вывода
0x0105	Полученные данные были отправлены после нажатия системной кнопки на удаленном узле

№ Кластера	Описание кластера
0x0106	Полученные данные были отправлены в ответ на удаленный запрос
0x0107	Обмен данными с удаленным модулем через UART

Таблица 13

6.4. **Инициализация сетевых настроек**

Инициализация сетевых настроек требуется при необходимости выполнить подключение к сети с обновленными ключами безопасности, а также для оптимизации маршрутов доставки пакетов в случае взаимного перемещения узлов сети. После инициализации всем узлам сети будут присвоены новые короткие адреса, а также разослан единый ключ шифрования, имеющийся на Координаторе. Инициализация сетевых настроек узлов может быть выполнена следующими способами:

- Нажатие кнопки «SYSTEM BUTTON» 4 раза в течение 2 с (для всех типов узлов).
- Следующей последовательностью команд MT API (Координатор, а также версии Маршрутизатора и Конечного устройства с поддержкой MAT API):
  1. SYS_OSAL_NV_WRITE с полями, заполненными в соответствии с Таблицей 14:

Поле	Значение
Id	0x03
Offset	0x00
Len	0x01
Value	0x02

Таблица 14

  2. SYS_RESET.

- Удаленно с помощью команды AF_DATA_REQUEST (Только для Маршрутизатора и Конечного устройства). Поля команды должны быть предварительно заполнены следующими значениями (Таблица 15):

Поле	Значение
DstAddr	*Адрес*
DestEndpoint	0xE8
SrcEndpoint	0xE8
ClusterID	0x40C
TransID	0x00
Options	0x00
Radius	0x00
Len	0x00
Data	*Не заполняется*

Таблица 15

ВНИМАНИЕ! При применении любого из описанных выше способа инициализации сетевых настроек, ключи шифрования и подключения сохраняют свои значения.

7. СЕТЕВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

7.1. Обеспечение безопасности в сети MB-ZigBee

При разработке методов обеспечения безопасности сети MB-ZigBee применялись следующие принципы:

1. Все данные, передаваемые узлами сети должны быть защищены от возможного перехвата третьей стороной с помощью различных технических средств. Под техническими средствами подразумеваются следующие устройства:
   1.1 Радиомодули производства «СМК» или совместимые сторонних производителей.
   1.2 Анализаторы спектра, SDR-устройства, обзорные приемники и им подобные средства.
2. Сеть должна быть защищена от несанкционированных подключений по эфиру модулей производства «СМК», не прошедших предварительную процедуру аутентификации, выполняемую эксплуатирующей систему организацией. При этом допускается наличие у третьей стороны аналогичного программного обеспечения.
3. Все узлы, прошедшие аутентификацию, должны быть совместимы со всеми ранее развернутыми на целевых объектах сетями. Должна обеспечиваться взаимозаменяемость узлов всех сетевых ролей (Координатор, Маршрутизатор, Конечное устройства). Замена вышедшего из строя или добавление нового узла должна происходить без обязательного наличия на объекте квалифицированного специалиста с соответствующим оборудованием и носителями данных, содержащим действующие ключи доступа и шифрования.
4. Эксплуатирующая организация должна иметь возможность самостоятельного создания изолированных объектовых сетей. При этом все узлы должны подключаться исключительно к заранее определенной на этапе аутентификации сети.

Для реализации приведенных выше принципов, в сети используются следующие методы:

1. Все данные шифруются блочным шифром в соответствии с алгоритмом AES128 режим CCM.
2. Распределение действующих ключей шифрования, при подключении узлов к сети, возложено на единый центр управления безопасностью (далее Trust-центр или, сокращенно ТС), в качестве которого ВСЕГДА используется Координатор. Для первичного подключения к сети, наличие включенного Координатора является обязательным. При этом безопасное подключение узла обеспечивается как в непосредственной зоне радиовидимости Trust-центра, так и через промежуточные Маршрутизаторы.
3. В системе существуют два независимых ключа – ключ подключения (далее ТС-ключ), и ключ шифрования (далее NWK-ключ). Оба ключа имеют длину 16 байт. Пользователь имеет

возможность самостоятельно изменять действующие ключи. Ключи хранятся в специальной области энергонезависимой памяти с правами только на запись данных.

4. Для первичного подключения к сети, каждый узел должен иметь предварительно запрограммированный ТС-ключ, совпадающий с аналогичным ключом Trust-центра. После успешной аутентификации, Trust-центр с помощью специальной защищенной транспортной команды, пересылает на подключающееся устройство действующий NWK-ключ. Таким образом, запись NWK-ключа на каждое подключаемое устройство не требуется.

ВНИМАНИЕ! При попытке подключить новый узел к сети с отличающимся от установленного в устройстве ТС-ключом, узел будет добавлен в список ассоциированных, но фактического присоединения к сети не произойдет и узел будет продолжать попытки войти в сеть.

7.2. **Методика безопасной эксплуатации сети MB-ZigBee**

Для проведения процедуры аутентификации эксплуатирующая организация должна иметь выделенное рабочее место, представляющее собой персональный компьютер с установленными программами Z-Tool (Texas Instruments) и SysmcBootLoader (СМК). Поскольку ПО Координатора имеет встроенный интерфейс с открытыми спецификациями, предназначенный для мониторинга и диагностики, возможно использование программных средств, разработанных эксплуатирующей организацией или третьей стороной. В качестве аппаратных средств могут быть применены устройства RFSerialBridge или MB-USBridge, производства СМК. Кроме вышеуказанных, допускается использование USB-UART преобразователей сторонних производителей при условии обеспечения ими требуемых технических характеристик. Для одного рабочего места необходим один преобразователь для подключения модуля Координатора и второй для инициализируемого узла. Для снижения вероятности перехвата по эфиру процесса обмена секретной информацией, необходимо в процессе настройки предпринимать меры для снижения мощности, излучаемой в эфир. Следует придерживаться следующих рекомендаций:

1. Использовать модули без подключенных внешних антенн.
2. Располагать модули в непосредственной близости друг от друга.
3. По возможности соединять модули с помощью фидерной линии с установленными аттенюаторами, с ослаблением не менее 40 дБ.
4. Выполнять периодический контроль прилегающих помещений.

ВНИМАНИЕ! Для Маршрутизаторов и Конечных устройств, поддерживающих MT API, возможно, как дистанционное управление параметрами безопасности, так и локальное, с помощью соответствующих MT команд. Локальное программирование ТС-ключа исключает возможность перехвата процесса передачи секретного ключа по эфиру. Однако следует учитывать тот факт, что

устройства, поддерживающие AT API, имеют ограниченные возможности контроля подключений к нежелательным объектовым сетям. Вся ответственность за политику безопасной организации работ по настройке и аутентификации модулей возлагается на эксплуатирующую организацию. Ниже приводятся сценарии типовых процедур безопасной работы с системой:

1. Первичное развертывание сети на целевом объекте.

Программное обеспечение для радиомодулей (прошивки), поставляется с предварительно запрограммированными ключами «по умолчанию». Для их изменения необходимо выполнить следующие шаги:

1.1 Запрограммировать радиомодуль, выбранный на роль Координатора, базовой прошивкой, с помощью программы SysmcBootLoader. При этом, во избежание возможной несанкционированной привязки к этому Координатору модулей с другими сетевыми ролями (Маршрутизаторы и Конечные устройства), желательно не иметь в зоне радиовидимости включенных и не прошедших привязку узлов. После программирования и включения питания на данном Координаторе, рекомендуется после некоторой задержки, связанной с первоначальной организацией (обычно это 2-3 с на поиск свободного частотного канала), проверить его на наличие подключенных устройств с помощью программы Z-Tool командой UTIL_GET_DEVICE_INFO. В случае их обнаружения, необходимо принять меры по удалению подключившихся устройств из зоны радиовидимости после чего стереть сетевые настройки Координатора, нажав системную кнопку 4 раза в течении 2 с. Данную процедуру необходимо провести перед заменой NWK-ключа. В противном случае, при подключении новых устройств произойдет автоматическая передача обновленного NWK-ключа, зашифрованного с помощью TC-ключа, установленного «по умолчанию». Таким образом, становится возможен перехват секретного NWK-ключа с помощью узлов, содержащими базовую прошивку, или анализаторами эфирного протокола (снифферами).

1.2 Запрограммировать предпочтительный секретный NWK-ключ в Координатор с помощью команд UTIL_SET_PRECONFIG_KEY или SYS_OSAL_NV_WRITE, заполнив поля в соответствии с таблицей:

Поле	Значение
Id	0x62
Offset	0x00
Len	0x10
Value	*Секретный NWK-ключ*

1.3 Запрограммировать модуль, который надо подключить к сети, базовой прошивкой Маршрутизатора или Конечного устройства.

1.4 Подать питание на подключаемом модуле. Далее начнется автоматический процесс входа в сеть, контролировать который можно с помощью светодиодов RF TX и RF RX. Если подключается Маршрутизатор, то после входа в сеть останется гореть только светодиод RF RX. Конечное устройство, после подключения, переходит в режим низкого потребления («засыпает»), при этом все светодиоды выключаются**.**

ВНИМАНИЕ! В момент подключения происходит передача секретного ключа, зашифрованного TC-ключом «по умолчанию». Это единственное в системе окно уязвимости, в котором может произойти перехват секретного NWK-ключа, зашифрованного с помощью условно скомпрометированного TC-ключа.

Если подключаемое устройство установлено в USB-UART преобразователь, соединенный с компьютером, то корректность подключения к сети можно проверить с помощью терминальной программы. Необходимо помнить, что в случае Конечного устройства, перед передачей ему данных на UART-интерфейс, его необходимо вывести из состояния низкого потребления («разбудить») с помощью входа SLEEP_REQUEST или системной кнопки SYSTEM_BUTTON.

1.5 Считать короткий адрес, присвоенный вновь подключенному узлу, с помощью команды UTIL_GET_DEVICE_INFO в строке AssocDevicesList.

1.6 Дистанционно изменить на подключенном узле TC-ключ, установленный «по умолчанию», на предпочтительный секретный TC-ключ с помощью команды AF_DATA_REQUEST. Поля команды должны быть предварительно заполнены следующими значениями:

Поле	Значение
DstAddr	*Адрес, полученный в п 1.5*
DestEndpoint	0xE8
SrcEndpoint	0xE8
ClusterID	0x40B
TransID	0x00
Options	0x00
Radius	0x00
Len	0x10
Data	*Секретный TC-ключ*

ВНИМАНИЕ! В системе отсутствует какая-либо возможность контроля правильности записанных ключей. В случае записи некорректного ключа, его можно переписать командой AF_DATA_REQUEST. Узел, с неверным TC-ключом будет по-прежнему подключаться к первичной сети, даже после выключения/включения питания, поскольку аутентификация будет осуществляться по присвоенному ему короткому адресу. Вернуть TC-ключ к значению

«по умолчанию» можно только повторным программированием базовой прошивки. Перед программированием ТС-ключа на Конечном устройстве, его необходимо предварительно «разбудить».

1.7 Изменить ТС-ключ локально на Координаторе с помощью команды SYS_OSAL_NV_WRITE. Поля заполнить в соответствии с таблицей, приведенной ниже:

Поле	Значение
Id	0x101
Offset	0x08
Len	0x10
Value	*Секретный ТС-ключ*

1.8 После завершения описанных выше операций в распоряжении эксплуатирующей организации оказывается Координатор и Маршрутизатор/Конечное устройств, которые могут быть размещены на целевом объекте.

ВНИМАНИЕ! При первом включении Координатор автоматически выбирает частотный канал для будущей сети по критерию наименьшей зашумленности. Поскольку на каждом целевом объекте, как правило, существует собственная эфирная обстановка, то настоятельно рекомендуется осуществлять перезапуск Координатора, находясь уже непосредственно на объекте. Перезапуск осуществляется стиранием сетевых настроек с помощью 4-х кратного нажатия кнопки «SYSTEM_BUTTON». После рестарта Координатора необходимо также осуществить аналогичный перезапуск всех узлов, предназначенных для размещения на данном объекте. После этого должна произойти автоматическая взаимная привязка узлов уже с обновленными ключами безопасности.

2. Добавление в существующую объектовую сеть новых узлов.

Подготовка узлов для размещения в уже работающей на каком-либо объекте сети, может выполняться как непосредственно на объекте, так и на специализированных рабочих местах производственных помещений эксплуатирующей компании. Последнему варианту следует отдавать предпочтение вследствие его большей безопасности. При этом необходимо придерживаться следующего порядка действий:

2.1 Выполнить программирование модуля Координатора и NWK-ключа и в соответствии с пунктами 1.1-1.2. Для ускорения работ, рекомендуется иметь на рабочем месте подготовленный заранее модуль Координатора с предварительно запрограммированным секретным NWK-ключом. При этом для обеспечения возможности подключения новых узлов, ТС-ключ в этом служебном модуле должен оставаться в значении «по умолчанию».

2.2 Выполнить дистанционное программирование ТС-ключа на подключаемом узле в соответствии с пунктами. 1.3-1.6.

2.3 Произвести рестарт подключаемого модуля с помощью кнопки «SYSTEM BUTTON».

2.4 Убедиться в том, что модуль после рестарта не подключился к служебному Координатору вследствие несовпадения ТС-ключей. Для контроля этого можно воспользоваться светодиодами или терминальной программой так, как это описано в п. 1.5.

При включении подготовленного в соответствии с приведенным выше алгоритмом модуля на целевом объекте, происходит его автоматических вход в сеть.

3. Замена Координатора объектовой сети.

При необходимости замены Координатора, расположенного на объекте необходимо выполнить следующие действия:

3.1 Выполнить программирование модуля Координатора и NWK-ключа в соответствии с пунктами 1.1-1.2.

3.2 Записать в Координатор ТС-ключ, используемый на том объекте, где должен быть размещен данный Координатор.

3.3 Находясь непосредственно на целевом объекте, осуществить перезапуск Координатора так, как это описано в п. 1.8.

3.4 Выполнить перезапуск ВСЕХ узлов, ранее работавших на этом объекте с помощью кнопки «SYSTEM_BUTTON». Далее сеть организуется автоматически в соответствии с текущей эфирной ситуацией.

8. ПРИЛОЖЕНИЯ

8.1. Схема включения модуля MBee-2.4-2.1 в проекте MB-ZigBee

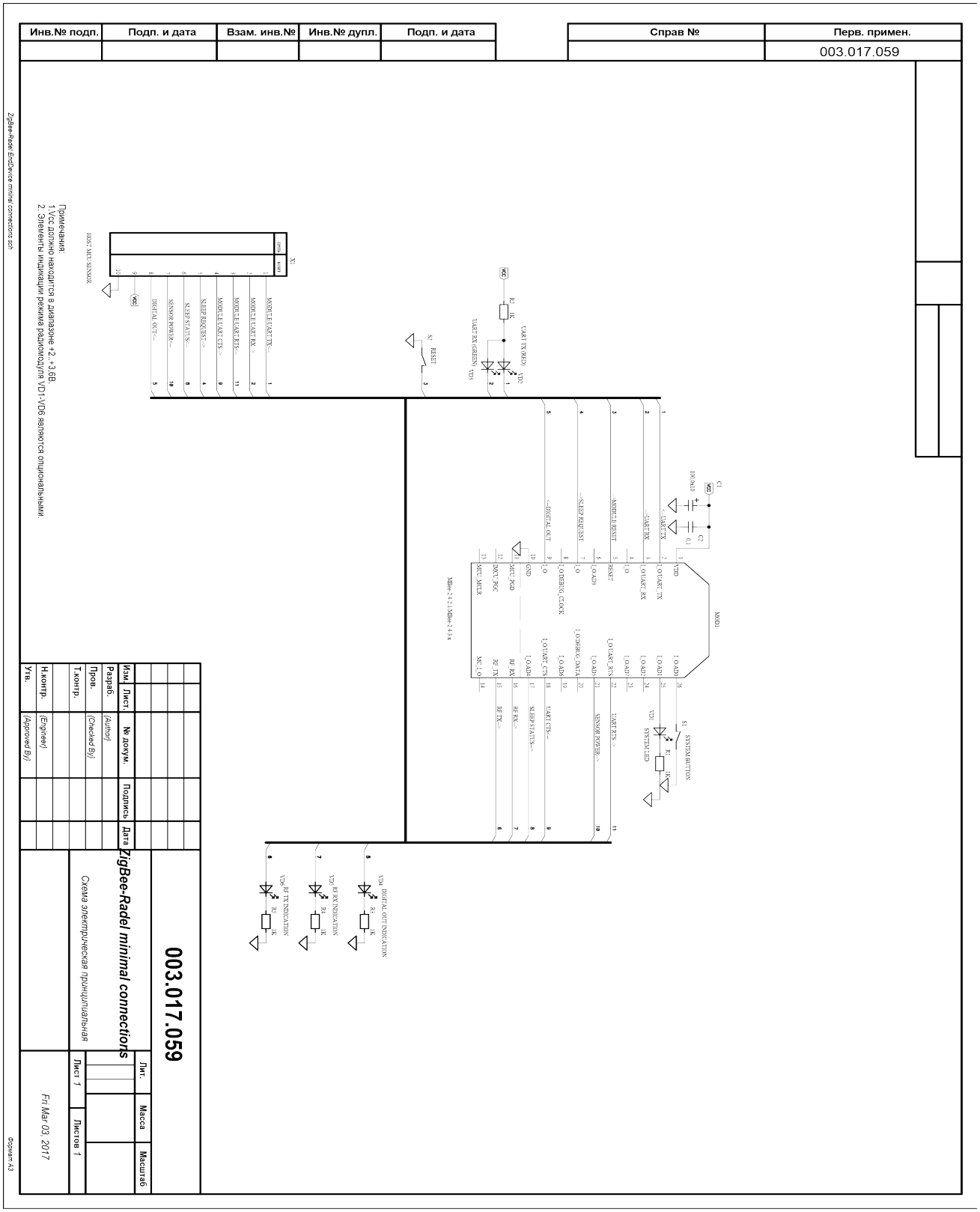

Рисунок 7

8.2. **Значения «по умолчанию»**

№	Параметр	Значение	Комментарий
1	SAMPLING_PERIOD	10	Интервал таймера спящего режима, сек.
2	TIMER_WAKING_TIME	100	Время нахождения в активном режиме, вызванное срабатыванием таймера, мс.
3	POLL_RATE	1000	Период автоматического запроса данных от родительского узла в спящем режиме, мсек.
4	BUTTON_WAKING_TIME	3	Время нахождения в активном режиме, вызванного нажатием на системную кнопку, сек.
5	BUTTON_DATA_REQUEST_PERIOD=500	500	Период запроса данных в активном режиме, вызванном нажатием на системную кнопку, мсек.
6	SLEEP_REQUEST_DATA_REQUEST_PERIOD=250	250	Период запроса данных в активном режиме, вызванном активацией SLEEP_REQUEST, мсек.
7	UART_BIT_RATE	38400	Битовая скорость передачи данных на интерфейсе UART для всех конфигураций, установленная «по умолчанию» равна 38400 бит/с.
8	HARDWARE_FLOW_CONTROL	TRUE	«По умолчанию» установлено аппаратное управление потоком с помощью сигналов CTS/RTS.

9. ИСТОРИЯ ДОКУМЕНТА

Дата	Редакция документа	Описание изменений
02.05.2017	Первая версия	
20.07.2017		Глава «Приложения», раздел «Значения «по умолчанию»»: изменено значение битовой скорости с 19200 на 38400.
03.09.2017	Текущая версия	Стилистические изменения.

10.ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

Разработка и техническая поддержка	
СИСТЕМЫ, МОДУЛИ И КОМПОНЕНТЫ	
Разработчик систем автоматизации и телеметрии	
Телефон **+7 (495) 784 5766** Электронная почта **mbee@sysmc.ru** Сайт **www.sysmc.ru**