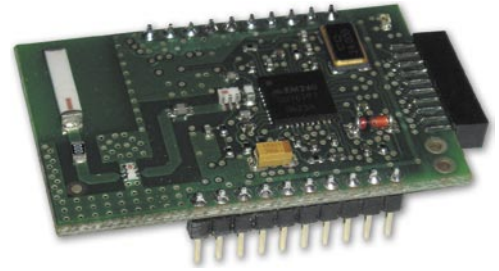


Украинский модуль EMVee с функцией автоматического формирования ZigBee сети



Виктор Олейник, технический специалист
по ZigBee фирмы «Спектрон»
E-mail: solaris@spectron.com.ua

В настоящее время направление ZigBee развивается стремительными темпами. Системы энергоучета, умного дома, а также системы охранно-пожарной сигнализации уже нуждаются в надежных беспроводных сетях мониторинга и управления. Для построения ZigBee сетей ряд производителей предлагают решения в модульном исполнении. Но отечественному разработчику требуется приложить немало усилий для реализации Mesh сети на базе подобных модулей, не смотря на то, что большинство производителей уже предлагают свой стек. Надежная ZigBee Mesh сеть требует разработки операционной системы уровня приложения, которая должна обеспечивать очень жесткую синхронизацию, используя библиотеки стека. В помощь разработчикам предлагается интеллектуальный модуль EMVee, являющийся законченным сетевым решением с поддержкой различных типов устройств. В статье рассматриваются возможности и примеры применения модуля, а также легкость построения ZigBee сети на базе модуля EMVee.

ВВЕДЕНИЕ

Модули Embee разработаны на базе кристаллов Ember и стека EmberZNet 2.5, позволяющим строить очень сложные ZigBee Mesh сети. Основная особенность Mesh сети заключается в том, что она поддерживает не только простые топологии беспроводной связи («точка-точка» и «звезда»), но и сложные беспроводные сети с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений с ячеистой топологией при относительно невысоком энергопотреблении. Области применения новой технологии — это беспроводные сети датчиков, системы автоматизации зданий, устройства автоматического считывания показаний счетчиков, охранные системы, системы управления в промышленности.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ

Особенность ZigBee заключается в том, что, в отличие от других БТ (беспроводных технологий), она предназначена для реализации не только

простых соединений «точка-точка» и «звезда», но также и сложных сетей с топологиями «дерево» и «ячеистая сеть», способных поддерживать ретрансляцию и поиск наиболее эффективного маршрута для передачи данных. Сети ZigBee являются самообразующимися и самовосстанавливающимися. Благодаря встроенному программному обеспечению их устройства при включении питания умеют сами «находить» друг друга. В случае выхода из строя какого-либо прибора они способны «разыскать» новые маршруты для передачи сообщений.

ДИАПАЗОН 2.4 ГГц

Наибольшие скорости передачи данных и наивысшая помехоустойчивость достигаются в диапазоне 2.4 ГГц, поэтому большинство производителей микросхем выпускают приемопередатчики именно для него. Диапазон 2.4 ГГц с самого начала был выделен во многих странах для использования различными технологиями расширения спектра. В

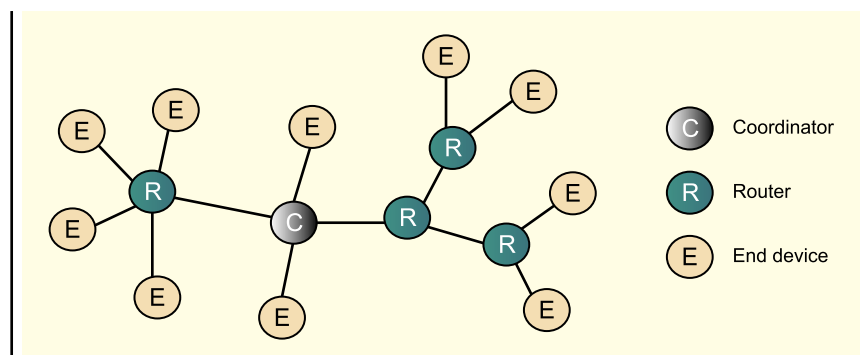


Рисунок 1 Дерево ZigBee сети

нем на отдельных частотах мощность сигнала может быть соизмерима с уровнем шума. Приемник, «применяя» закон расширения спектра, может восстановить исходный сигнал. Этот закон позволяет более эффективно бороться с узкополосными помехами и допускает сосуществование в одном диапазоне различных беспроводных технологий.

ФОРМИРОВАНИЕ ZIGBEE СЕТИ НА МОДУЛЯХ EMBEE

ZigBee сеть состоит из одного координатора и одного или более роутеров и/или оконечных спящих устройств. ZigBee сеть формируется, когда координатор выбирает канал и PAN ID (идентификатор сети). Формирование сети происходит автоматически при подключении роутеров и оконечных спящих устройств к координатору (рис. 1). При отсутствии координатора

подключающиеся устройства ожидают его появления в сети неограниченное время. В отсутствии координатора любое из устройств можно переключить в режим координатора. При замене координатора происходит автоматическое переформирование сети (при этом оконечные спящие устройства должны успеть хотя бы раз пробудиться, чтобы обнаружить отсутствие координатора). Выпадающие из сети устройства автоматически переподключаются. Когда сеть сформирована, от устройств все связи проложены только к координатору. Координатор может обратиться к любому из устройств или передать данные всем устройствам сети (широковещательная рассылка).

Когда роутер или оконечное спящее устройство присоединяются к сети, ему присваивается 16-разрядный адрес (MY). При переподключении устройств эти адреса могут изменяться. Поэтому передача данных в сети привязана к

строковым идентификаторам (NI), которые пользователь присваивает устройству. Координатор всегда имеет нулевой 16-разрядный адрес и не имеет строкового идентификатора. Так же каждый модуль имеет свой уникальный фиксированный 64-разрядный идентификатор (SH, SL).

Оконечные спящие устройства всегда подключаются к роутерам или координатору, хотя все связи от оконечных спящих устройств прокладываются только к координатору. При этом оконечное спящее устройство становится «ребенком» роутера или координатора. Передача и прием данных в оконечное спящее устройство всегда осуществляется через родительский роутер или координатор.

Оконечные спящие устройства могут быть мобильными устройствами. Мобильное устройство выполняет все те же функции, что и оконечное спящее устройство, но только предназначено

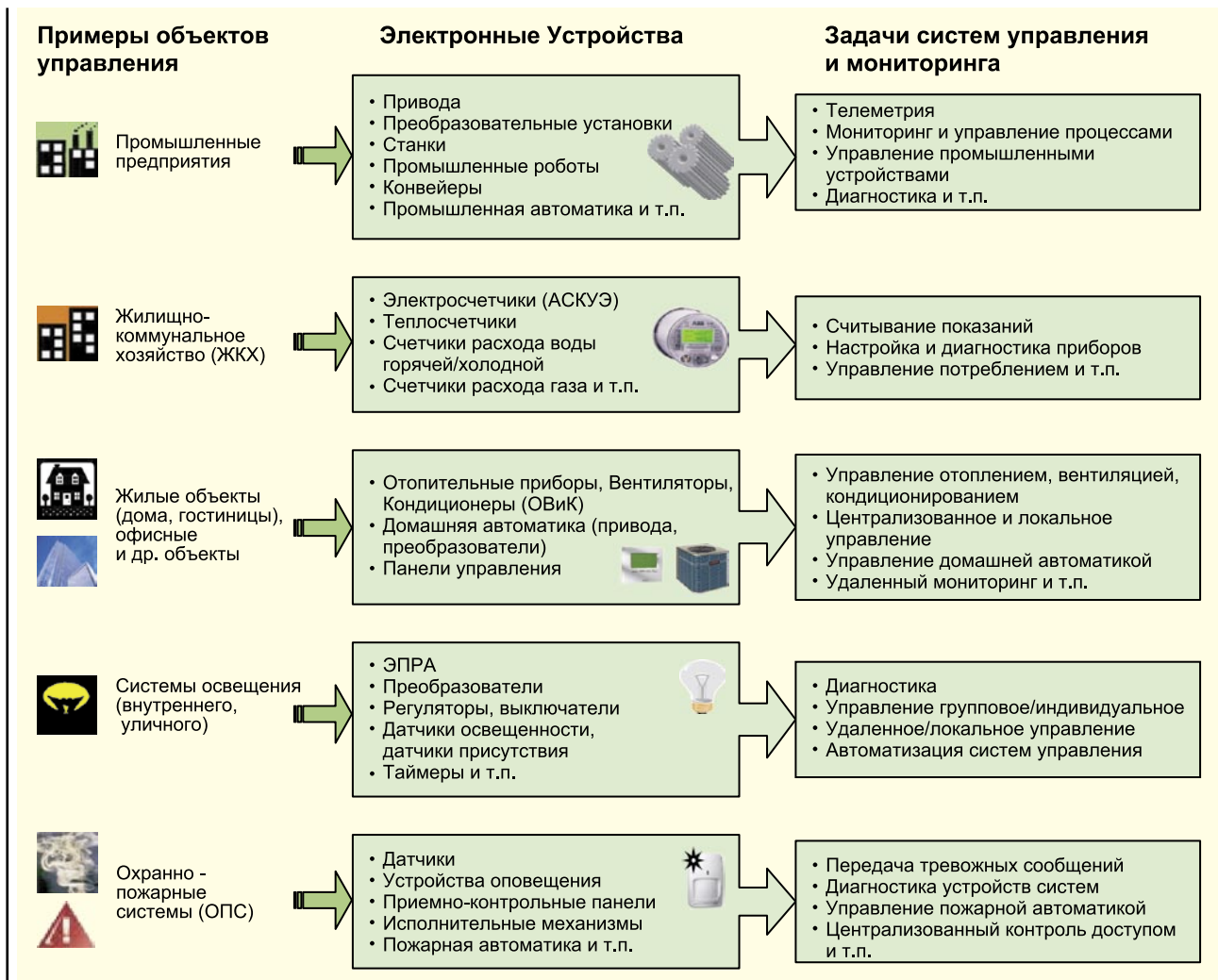


Рисунок 2 Области применения модулей EMBee

для перемещаемых объектов. Если в течении 50 секунд сеть не обнаружила мобильное устройство, она удаляет его из своих таблиц. Оконечные спящие устройства поддерживают режим пониженного энергопотребления и предназначены для использования батарейного питания.

С помощью команды ND можно получить информацию о подключенных устройствах к сети и о их связях. Для защиты сетевой информации сеть можно формировать с применением ключа KY. Таким образом можно получить уникальную сеть. Все устройства в сети обязательно должны иметь одинаковые SN (номер радиоканала), ID (идентификатор сети), KY (ключ).

КООДИНАТОР EMБЕЕ

Координатор (AD=C) в сети всегда один и предназначен для ее формирования. После перезапуска он позволяет другим типам устройств подключаться к сети. Координатор позволяет подключать к сети до 65000 устройств, из которых неограниченное количество роутеров и до 32 окончных спящих устройств, подключаемых к координатору. Он должен быть обеспечен постоянным непрерывным напряжением питания.

РОУТЕР EMБЕЕ

Роутеры (AD=R) всегда присоединяются к координатору или к другим роутерам и предназначены для маршрутизации данных в сети. После перезапуска они позволяют подключать к себе остальные роутеры или окончные спящие устройства. Каждый из роутеров позволяет подключать к себе до 32 окончных спящих устройств. Функция автоматической маршрутизации в роутерах позволяет формировать сети неограниченной длины и неограниченного радиуса действия любой древовидной структуры. Роутер должен быть обеспечен постоянным непрерывным напряжением питания.

ОКОНЕЧНОЕ СПЯЩЕЕ УСТРОЙСТВО EMБЕЕ

Оконечные спящие устройства (AD=E) всегда присоединяются к координатору или к роутерам и являются окончным устройством в сети, предназначенным для работы с батарейным

питанием. Функция пониженного энергопотребления позволяет использовать устройство длительное время от батарейного питания. Мобильное спящее устройство (AD=M) выполняет все функции окончного спящего устройства, но предназначено для перемещаемых объектов. Если мобильное устройство не обратилось к сети в течении 50 секунд, сеть удаляет его из своих таблиц.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Беспроводная технология ZigBee предназначена для использования в системах сбора данных и управления. Она обладает малым энергопотреблением, надежностью передачи данных и защиты информации, совместима с устройствами различных производителей. EMБее модули применяются в различных областях (рис. 2).

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЯ

Интеллектуальный модуль EMБее предоставляет разработчикам следующие удобства в работе:

- автоматическое формирование Mesh сети (координатор → всем устройством, координатор → устройство, устройство → координатор);
- автоматическое переформирование сети при замене координатора (такую задачу может взять на себя любой роутер);
- автоматическое переподключение выпадающих из сети устройств;
- поддержка всевозможных типов устройств:
 - координатор;
 - роутер;
 - спящее устройство;
 - мобильное устройство (перемещаемое спящее устройство);
- поддержка координатором или каждым из роутеров до 32 спящих (мобильных устройств);
- получение информации о подключенных устройствах в сети и их связях;
- возможность получения эхо от любого от устройств;
- небольшие габаритные размеры;
- AT и API командные режимы для конфигурирования параметров модуля и передачи данных.

Общие характеристики модуля EMБее предоставлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики модуля EMБее

Параметр	EMБее
Производительность	
Дальность связи в помещении, в городе	до 30 м
Дальность связи на открытой местности	до 100 м
Передаваемая мощность, max (устанавливается программно)	2 мВт (3 dBm)
Скорость передачи сети	250 Кб/с
Скорость передачи данных пользователя в Mesh сети	4 800 бит/с
Скорость последовательного интерфейса (устанавливается программно)	1200–115200 бит/с
Чувствительность приемника	–92 dBm (потеря 1 % пакетов)
Энергетические требования	
Напряжение питания	2.8–3.4 В
Ток передачи (усредненный)	60 мА (3.3 В)
Ток ожидания/приема (усредненный)	60 мА (3.3 В)
Ток выключения	150 мкА
Общие	
Рабочая частота	2.4 ГГц
Размеры мм	24.38 × 38.11
Диапазон температур	от –40 °С до 85 °С
Тип антенны	Интегрированная на плате, керамическая SMD
Сетевые возможности и безопасность	
Поддерживаемые топологии	Mesh сеть (координатор → всем устройствам, координатор → устройство, устройство → координатор)
Количество каналов	16
Количество адресов в сети	65000
Типы адресации	По идентификатору сети (PAN ID) (с 128-битным паролем), каналу и строковому идентификатору

Таблица 2. Назначение выводов для модуля EMBee (сигналы, передаваемые низким уровнем, подчеркнуты)

№ вывода	Название	Направление	Описание
1	VCC	–	Питание (3.3 В)
2	<u>nDOUT</u>	Выход	Выход последовательных данных UART
3	<u>nDIN</u>	Вход	Вход последовательных данных UART
4	DIO8/ <u>NW_READY</u>	Вход/Выход	Цифровой порт 8, готовность сети и передачи данных
5	<u>RESET</u>	Вход	Сброс модуля
6	PWM0/RSSI	Вход/Выход	Цифровой порт 10, выход ШИМ канала 0 или индикация силы принимаемого сигнала
7	PWM1	Вход/Выход	Цифровой порт 11, выход ШИМ канала 1
8	DIO9	Вход/Выход	Цифровой порт 9
9	<u>SLEEP_RQ</u>	Вход	Контроль режима сна
10	GND	–	Общий
11	AD4/DIO4	Вход/выход	Аналоговый вход 4 или цифровой порт 4
12	AD7/DIO7/ <u>CTS</u>	Вход/выход	Аналоговый вход 7, цифровой порт 7 или сигнал CTS контроля передачи данных последовательного порта
13	<u>nSLEEP_OUT</u>	Выход	Индикатор статуса режима сна модуля
14	VREF	Вход	Опорное напряжение для АЦП
15	AD5/DIO5	Вход/выход	Аналоговый вход 5 или цифровой порт 5
16	AD6/DIO6	Вход/выход	Аналоговый вход 6 или цифровой порт 6
17	AD3/DIO3	Вход/выход	Аналоговый вход 3 или цифровой порт 3
18	AD2/DIO2	Вход/выход	Аналоговый вход 2 или цифровой порт 2
19	AD1/DIO1	Вход/выход	Аналоговый вход 1 или цифровой порт 1
20	AD0/DIO0	Вход/выход	Аналоговый вход 0 или цифровой порт 0

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

После формирования сети или подключения к сети каждый из модулей EMBee переключается в режим передачи данных. Необходимо только предварительно сконфигурировать модули, присвоить тип устройства, установить параметры сети и присвоить модулю строковый идентификатор (NI). Для конфигурирования модуля его необходимо переключить в командный режим, используя 3-символьную командную последовательность «+++».

В режиме передачи данных модуль может работать в прозрачном режиме передачи данных и в режиме API. В прозрачном режиме данные, поступающие на вывод UART nDIN отправляются адресату (строковому идентификатору), установленному в параметре DN. Этот параметр должен соответствовать строковому идентификатору NI получателя. На вывод UART nDOUT поступают входные данные от получателя. В отличие от прозрачного режима, в режиме API в пакете данных добавляется строковый идентификатор получателя DN и возвращается статус доставки данных (OK, ERROR). Таким образом в режиме API приложение хоста может посылать пакеты данных на модуль, содержащие адрес и полезную информацию, вместо использования командного режима.

Так же в режиме API доступны режимы удаленной записи и чтения внешних устройств модуля:

- 12 портов ввода-вывода;
- 8 каналов 10-разрядного АЦП;
- 2 ШИМ (Широтно-импульсных модулятора).

В режиме API можно переключить модуль в режим автоматического вывода подключенных цифровых и аналоговых входов на удаленный модуль. На удаленный модуль информация может приходиться на UART в формате API или

в режиме виртуального отображения отображаться на выходных выводах удаленного модуля. При этом параметр IR задает частоту вывода, а параметр IU определяет вывод на UART или на порты вывода. Назначение выводов модуля EMBee предоставлено в табл. 2.

КОМАНДНЫЙ РЕЖИМ И ФОРМАТ АТ КОМАНД

Чтобы изменять или читать параметры модуля, он должен сначала перейти в командный режим — состояние, в котором поступающие символы интерпретируются как команды. Для перехода в командный режим необходимо выдать 3-символьную последовательность «+++». После выдачи «OK» модуль переходит в командный режим. Если время между символами последовательности «+++» превышает время, установленное в параметре GT (по умолчанию секунда), последовательность воспринимается как данные. Символы командной последовательности можно изменить с помощью команды CS.

Каждая AT-команда представляет собой текстовую строку, которая начинается символами «AT». Далее следует код команды, пробел, параметр команды и символы «возврат каретки» (<CR>, код 0x0D), «перевод строки» (<LF>, код 0x0A) (табл. 2). Например, команда, изменяющая номер радиоканала на «0x10» будет выглядеть так: ATCH 10<CR><LF>. Для сохранения измененных параметров модуля в энергонезависимой памяти используется команда записи WR (Write). Если не подать команду WR, то после

Таблица 3. Конфигурирование координатора

Отсылаемая AT-команда	Ответ модуля
+++	OK <CR><LF> (Вошли в командный режим)
ATAD C<Enter>	OK <CR><LF> (Установить тип устройства — координатор)
ATCH 10<Enter>	OK <CR><LF> (Изменить значение CH (номер канала) на 0x10)
ATID 2222<Enter>	OK <CR><LF> (Установить идентификатор сети — 0x2222)
ATKY 1234567890<Enter>	OK <CR><LF> (Установить ключ — 0x1234567890)
ATWR<Enter>	OK <CR><LF> (записать в энергонезависимую память)
ATFR<Enter>	OK <CR><LF> (Перезапустить модуль)

Таблица 4. Конфигурирование роутера

Отсылаемая AT-команда	Ответ модуля
+++	OK <CR><LF> (Вошли в командный режим)
ATAD R<Enter>	OK <CR><LF> (Установить тип устройства — роутер)
ATCH 10<Enter>	OK <CR><LF> (Изменить значение CH на 0x10)
ATID 2222<Enter>	OK <CR><LF> (Установить идентификатор сети — 0x2222)
ATKY 1234567890<Enter>	OK <CR><LF> (Установить ключ — 0x1234567890)
ATNI router l<Enter>	OK <CR><LF> (Присвоить строковый идентификатор — router l)
ATWR<Enter>	OK <CR><LF> (записать в энергонезависимую память)
ATFR<Enter>	OK <CR><LF> (Перезапустить модуль)

Таблица 5. Передача данных от координатора роутеру (прозрачный режим AP=0)

Отсылаемые команда/данные	Ответ модуля
	OK <CR><LF> (Готовность сети)
+++	OK <CR><LF> (Вошли в командный режим)
ATDN router1<Enter>	OK <CR><LF> (Установить узел назначения — router1)
ATCN<Enter>	OK <CR><LF> (Выйти из командного режима)
12345	(Последовательность 12345 выдается в роутер)

Таблица 6. Передача данных от координатора роутеру (API режим AP=1)

Отсылаемые команда/данные	Ответ модуля
	OK <CR><LF> (Готовность сети)
+++	OK <CR><LF> (Вошли в командный режим)
ATAP 1<Enter>	OK <CR><LF> (Включить API режим)
ATRO 1000<Enter>	OK <CR><LF> (Установить задержку выдачи пакета 4 сек)
ATCN<Enter>	OK <CR><LF> (Выйти из командного режима)
router1<Enter>12345	(Через 4 сек последовательность 12345 выдается в роутер) OK<CR><LF> — норма ERROR<CR><LF> — ошибка



Рисунок 3 Отладочная плата EMБEE-T

выключения и повторной подачи питания будут восстановлены предыдущие значения параметров. Каждая подаваемая команда сначала распознается модулем и затем исполняется. В случае успешного выполнения модуль выдаст строку «OK» по линии DO. Если команду не удалось исполнить, сообщение «ERROR» поступает во внешний микроконтроллер. Модуль выходит из командного режима по команде «ATCN». В командном режиме все символы можно вводить как в верхнем, так и в нижнем регистре клавиатуры. Отвечает модуль числовыми значениями шестнадцатеричного и десятичного исчисления верхнего регистра и символьными значениями нижнего регистра.

В табл. 3–6 приведены примеры программирования модуля.

ОТЛАДЧНЫЕ СРЕДСТВА

Для отработки технических решений разработчикам предоставляется от-

ладочная плата EMБEE-T (рис. 3). UART модуля EMБEE с помощью такой платы можно подключить к персональному компьютеру через RS-232 или USB. При подключении через RS-232 на плату необходимо подать постоянное напряжение питания 5–25 В. Все выводы модуля выведены на тестовый разъем для отработки технических решений. На плате так же присутствуют дополнительные кнопки и светодиоды для управления и отображения портов ввода-вывода. Конфигурирование модуля и передачу данных можно реализовать с помощью любого терминала, работающего в операционной системе Windows.

Для отработки технических решений и получения сетевой информации о каждом устройстве пользователям предоставляется тестовое программное обеспечение TestEmbee (рис. 4). Для корректной работы модулей с программой модули предварительно необходимо сконфигурировать. Программа TestEmbee позволяет:

- В режиме «**TEST FRAME 0–9**» передавать адресату фреймы 1..9,0 в количестве, установленном в параметре Number. Прием фреймов в такой же очередности индицируется терминалом на приемной стороне.
- В режиме «**Load File**» осуществлять передачу файлов адресату. На приемной стороне выбирается «**Get File**». В диалоговом окне выбирается файл для передачи. На передающей и приемной стороне Number устанавливается в количество передаваемых файлов и в процессе передачи декрементируется.
- В режиме «**Reset Network**» осуществляется перезапуск всей сети. Работает только в координаторе независимо от настроек модулей. TimeOut задает время удержания координатора в состоянии сброса. Это необходимо для перезапуска спящих устройств.
- В режиме «**Get Network Info**» осуществляется получение информации о всех устройствах в сети. Работает только в координаторе независимо от настроек модулей. Информация сохраняется в папке с текущим номером сети ID в таблицах. В таблицах сохраняется информация о номере сети, номере канала, родительском устройстве, мощности сигнала, времени доставки сообщения в зависимости от размера пакета. Осортировав таблицы по строковому идентификатору или 64-битному идентификатору родительского устройства можно получить дерево связей устройств в сети.

Дополнительную информацию по модулям EMБEE и отладочным средствам можно получить в фирме «Спектрон»:
тел.: (044) 592-15-71,
e-mail: info@spectron.com.ua

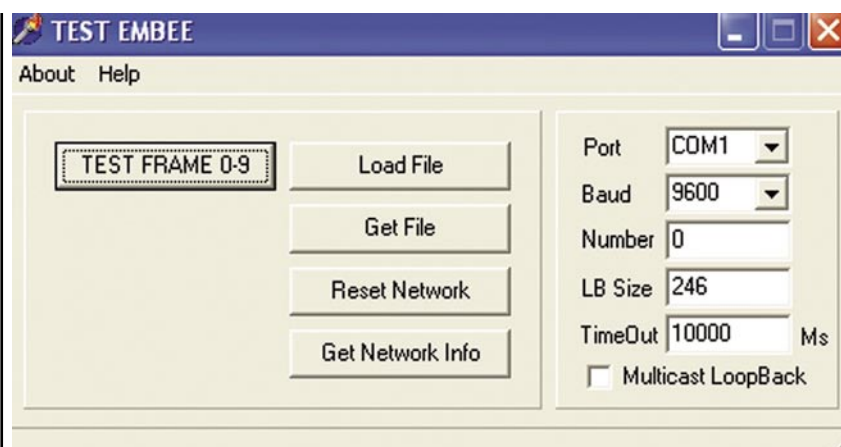


Рисунок 4 Программное обеспечение TestEmbee