

Разработки беспроводных устройств диапазона 2,4 ГГц: элементная база, программное обеспечение, средства отладки и проектирования. Часть 2*

Михаил Соколов, Денис Дарвиш

Частотный диапазон 2,4 ГГц в последнее время завоевывает все большую популярность в системах контроля, управления, телеметрии и передачи данных. Повышенный интерес к нему не в последнюю очередь был вызван появлением новой беспроводной технологии ZigBee и лежащего в ее основе стандарта IEEE802.15.4. Уже опубликовано множество статей, описывающих данную технологию и особенности стандарта, поэтому остановимся более подробно на вопросах выбора элементной базы, разработки аппаратной части и проектирования программного обеспечения беспроводных устройств.

ОТЛАДОЧНЫЕ СРЕДСТВА И REFERENCE DESIGNS

Разработчикам доступны более 20 вариантов отладочных средств и демонстрационных плат, покрывающих весь спектр продуктов Freescale для стандарта 802.15.4. В табл. 4 приведен перечень отладочных средств с указанием микропроцессорного ядра и радиомикросхемы, задействованных в комплектах.

Дополнительно, для сокращения времени проектирования аппаратной части, компания предлагает широкий набор схематехнических и топологических примеров, на различные типы антенн, с внешними радиоусилителями и без, с внутренним радио-переключателем приема/передачи или с внешним переключателем, с согласующими трансформаторами и с непосредственным подключением антенн к выводам радиоприемопередатчика и минимальным числом пассивных элементов. Перечень доступных reference designs представлен в табл. 5. Полный комплект технической документации по перечисленным reference designs можно загрузить с сайта компании Freescale либо обратиться к сотрудникам московского представительства компании [1].

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ ZIGBEE /802.15.4

Прежде чем начинать проектирование программного обеспечения беспроводных устройств стандарта ZigBee/802.15.4, разработчик должен определить для себя некоторый набор критериев и требований к будущей системе. Данные требования непосредственно вытекают из технического задания, полученного

* Окончание. Начало в №5 2007 г.

разработчиком. Здесь сразу стоит отметить, что требования к программному обеспечению разрабатываемого устройства являются определяющими как при выборе используемых при разработке программных библиотек, так и аппаратной части устройства в целом.

Ключевые вопросы, влияющие на проектирование программного обеспечения беспроводных устройств ZigBee/802.15.4:

- Необходимо или нет обеспечить совместимость разрабатываемых устройств на уровне профилей стека протоколов ZigBee с устройствами других производителей?
- Необходимо ли максимально полно использовать уже готовое ПО для сокращения времени разработки и минимизации усилий программистов?
- Существует ли возможность самостоятельной разработки сетевого ПО для минимизации объема программного кода и оптимизации скоростных и других параметров функционирования беспроводной сети?
- При проектировании собственного сетевого ПО — удовлетворяет ли стандартный протокол передачи данных 802.15.4 MAC всем требованиям проектируемой системы либо необходимо свой, специфический протокол?
- Какие сетевые топологии предполагается поддерживать? Достаточно ли будет, например, топологии “звезда”, или необходимо построение многоячейковой сети?

Таким образом, вначале необходимо определиться с базовой библиотекой беспроводного ПО, исходя из особенностей проектируемой системы. Доступны три варианта базовых библиотек: SMAC (Simple

MAC), 802.15.4 MAC, BeeStack, основные свойства которых перечислены в табл. 6. Выбор библиотеки является одним из важнейших этапов проектирования, так как здесь закладывается тот фундамент, который будет определять начальную функциональность каждого из устройств беспроводной сети и всего беспроводного ПО в целом. Какова степень влияния каждого из приведенных выше факторов на выбор той или иной библиотеки? Мы не будем рассматривать возможные комбинации факторов, встречающиеся в реальных системах ввиду значительного объема информации, а чуть позже подробно рассмотрим их в отдельности.

В качестве отправной точки при разработке беспроводного ПО компания Freescale предлагает универсальную среду разработки BeeKit™ [2], которая позволяет выбрать базовую библиотеку программного обеспечения и произвести первоначальные настройки функционирования беспроводных системы и устройств посредством простого и понятного графического интерфейса пользователя. В среде BeeKit™ интегрированы перечисленные выше наборы библиотек ПО, позволяющие наиболее полно удовлетворить требованиям проектируемой системы с учетом приведенных ранее факторов.

Ключевыми критериями при выборе одной из стандартных библиотек являются наличие либо отсутствие требований по обеспечению совместимости на уровне профилей стека ZigBee и возможность реализации собственных программных сетевых решений.

БИБЛИОТЕКА BEESTACK

Необходимость обеспечения совместимости на уровне профилей

Таблица 4. Перечень доступных отладочных комплектов для микросхем стандарта 802.15.4

Номер для заказа	Наименование	Состав	Микро-контроллер	Радио-модем
13192RFC-A00	13192 RF дочерняя плата	13192-RFD – 1 шт.	-	MC13192
1320XRFC	13202 RF дочерняя плата	1320x-RFD – 1 шт.	-	MC13202
13192DSK-A0E	13191/92 Стартовый комплект разработчика	13192-SARD – 2 шт.	MC9S08GT60	MC13192
13192DSK-BDM-A0E	13191/92 Стартовый комплект разработчика	13192-SARD – 2 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт.	MC9S08GT60	MC13192
13192EVБ-A0E	13193EVБ-A00 Комплект разработчика	13192-EVB – 2 шт.	MC9S08GT60	MC13192
13192EVБ-BDM-A0E	13193EVБ-BDM Комплект разработчика	13192-EVB – 2 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт.	MC9S08GT60	MC13192
13192EVK-A0E	13192EVK-A0E Оценочный комплект	13192-SARD – 2 шт. 13192-EVB – 3 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт. Sniffer – 1 шт.	MC9S08GT60	MC13192
13192EVK-SFTE	13192EVK-SFTE Оценочный комплект	13192-SARD – 2 шт. 13192-EVB – 3 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт. Sniffer – 1 шт. 1 year ZigBee licence	MC9S08GT60	MC13192
1321XDSK	MC1321x Комплект разработчика	13213-SRB – 2 шт.	MC13213	MC13213
1321XDSK-BDM	MC1321x Комплект разработчика	13213-SRB – 2 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт.	MC13213	MC13213
1321XNSK	MC1321x Комплект разработчика	13213-SRB – 2 шт. 13213-NCB – 1 шт.	MC13213	MC13213
1321XNSK-BDM	MC1321x Комплект разработчика	13213-SRB – 2 шт. 13213-NCB – 1 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт.	MC13213	MC13213
1321XEVK	MC1321x Оценочный комплект	13213-SRB – 4 шт. 13213-NCB – 3 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт. Sniffer – 1 шт.	MC13213	MC13213
1321XEVK-SFTW	MC1321x Оценочный комплект	13213-SRB – 4 шт. 13213-NCB – 3 шт. USBMULTILINKBDM – 1 шт. Sniffer – 1 шт. 1 year ZigBee licence	MC13213	MC13213
M68EVБ908GB60E	MC9S08GB60 Оценочная плата (EVБ)	M68EVБ908GB60E – 1 шт.	MC9S08GB60	Поддержка плат 13192RFC и 1320xRFC
USBMULTILINKBDME	Microcontroller programmer for HC(S)08/RS08 Cores	USBMULTILINKBDM – 1 шт.	-	-
M5282ZIGBEE	ColdFire MCF5282 ZIGBEE Демонстрационный комплект	Data Concentrator Module - 1 шт. Pressure Remote Data Collector - 1 шт. Digital I/O Remote Data Collector - 1 шт. Accelerometer Data Collector - 1 шт.	MCF5282CVF66, MC9S08GT60CFB	MC13192
M5213EVBE	Отладочная плата	M5213EVБ – 1 шт. P&E BDM interface cable – 1 шт.	MCF5213	MC13192
M5208EVБ	MCF520x Комплект разработчика	M5208EVБ – 1 шт. P&E BDM interface cable – 1 шт.	MCF5208	MC13192

Таблица 4 (продолжение). Перечень доступных отладочных комплектов для микросхем стандарта 802.15.4

Номер для заказа	Наименование	Состав	Микро-контроллер	Радио-модем
M52235EVБ	MCF5223x Отладочный комплект	M52235EVБ – 1 шт. P&E BDM interface cable – 1 шт.	MCF52235	Поддержка плат 13192RFC и 1320xRFC
FSL-ZB-SNF	Анализатор пакетов в радио эфире	Sniffer – 1 шт.	MC9S08GT60	MC13193
BEEKIT-S08-STD	Лицензия на программное обеспечение BeeStack, закрепляемое за одно рабочее место	-	-	Поддержка MC9S08 МК
BEEKIT-S08-FLT	Плавающая лицензия на программное обеспечение BeeStack, возможность установки на несколько рабочих мест с одновременным использованием только на одном ПК	-	-	Поддержка MC9S08 МК

Таблица 5. Перечень Reference Designs для проектирования аппаратной части беспроводных устройств диапазона 2,4 ГГц

Название	Микросхемы	Тип антенн	Радио-усилители	RF switch приема/передачи	Схема согласования	Число слоев платы
13192-RFD	MC13192	2 SMA-разъема	Нет	Нет	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 2 шт.	2
13192-EVB	MC13192, MC9S08GT60	F-антенна, SMA разъем	LNA – MBC13900	Внешний	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 2 шт.	4
13192-SARD	MC13192, MC9S08GT60	2 дипольные антенны	Нет	Нет	6 емкостей	2
1320X-RFD	MC13202	F-антенна, SMA разъем	Нет	Внутренний	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 1 шт.	2
13213-NCB	MC13213	F-антенна, SMA разъем	Нет	Внешний	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 2 шт.	2
1321X-SED	MC13213	F-антенна, SMA разъем	Нет	Внутренний	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 1 шт.	2
13213-SRB	MC13213	F-антенна	Нет	Внешний	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 2 шт.	4
ZRD-1	MC13192, MC9S08GT60	Контактная площадка для подпайки внешней антенны	Нет	Внешний	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 2 шт.	4
ZSTAR (2 платы: радио брелок, USB dongle)	MC13191, MC68HC908JW32 MC9S08QG8	2 петлевые антенны	Нет	Нет	2 емкости, 4 индуктивности	2
DMX2SMAC High Brightness LED Driver	MC13192, MC9S08GT60	F-антенна	LNA – MBC13900	Внешний	Согласующие ВЧ-трансформаторы – 2 шт.	2
Human Fall Detection	MC13192, MC56F8013	2 дипольные антенны	Нет	Нет	6 емкостей	2

устройств стека протоколов ZigBee с устройствами других производителей влечет за собой наибольшие финансовые вложения, как на этапе разработки, так и во время серийного выпуска изделий. В этом случае однозначно выбирается библиотека стека протоколов BeeStack, включающая весь функционал ZigBee сетей. При использовании **библиотеки BeeStack** необходимо только использовать стандартный профиль устройств, утвержденный альянсом,

и дописать часть ПО, обеспечивающую связь приложения с сетевым ПО стека протоколов.

К преимуществам такого решения можно отнести:

- наименьшее время проектирования больших распределенных беспроводных сетей;
- возможность выпускать изделия с торговым знаком альянса ZigBee;
- выпуск устройств с возможностью их использования по всему миру в

системах, состоящих из устройств от различных производителей.

Если при отсутствии достаточных инженерных ресурсов для реализации собственных программных сетевых решений, либо когда необходимо, как можно быстрее спроектировать устройство или систему, возможно также выбрать библиотеку стека BeeStack, настроить параметры собственного профиля и использовать полностью или час-

Таблица 6. Основные характеристики базовых библиотек ПО, входящих в состав среды BeeKit			
Параметры	SMAC	802.15.4 MAC	BeeStackTM
Совместимость на уровне профилей стека протоколов ZigBee	Нет	Нет	Да
Совместимость на уровне протокола / стандарта IEEE802.15.4	Нет	Да	Да
Возможность реализации собственного протокола передачи	Да	Нет	Нет
Пропускная способность при передаче данных	Высокая	Высокая/средняя	Средняя/низкая
Поддержка устройств с батарейным питанием (рекоменд.)	Да	Да (RFD)	Да(RFD)
Поддерживаемые аппаратные платформы	1. MC1319x/20x+HCS08 2. MC1321x 3. MC1319x/20x+S12(X) 4. MC1319x/20x+DSC/DSP 5. MC1319x/20x+ColdFire 6. MC1322x *	1. MC1319x/20x+HCS08 2. MC1321x 3. MC1319x/20x+ColdFire 4. MC1322x *	1. MC1319x/20x+HCS08 2. MC1321x 3. MC1319x/20x+ColdFire * 4. MC1322x *
Среды проектирования и отладки	BeeKitTM + CodeWarriorTM		
Трудозатраты на реализацию систем с топологией:			
1. "точка-точка"	Низкие	Низкие	Низкие
2. "звезда"	Низкие	Низкие	Низкие
3. "дерево"	Высокие	Средние	Низкие
4. "многочечковая сеть"	Высокие	Высокие	Низкие
Рекомендации по использованию микроконтроллеров: разрядность, объем внутренней Flash-памяти	8-bit, 16-bit, 32-bit 2КБ...32КБ	8-bit, 32-bit 32КБ...64КБ	8-bit (RFD, FFD) 32-bit (FFD) 64КБ...128КБ
Затраты на разработку беспроводной системы	Средние (оплата работы программистов)	Средние (оплата работы программистов)	Низкие (стоимость ПО стека BeeStack) Высокая (стоимость ПО стека BeeStack + сертификация на совместимость и использование торгового знака альянса ZigBee)
Наличие примеров, упражнений, стартовых проектов	13 примеров / стартовых проектов	16 примеров / упражнений, 1 стартовый проект	Профиль ZigBee Home Automation (13 типов устройств / примеров проектов), 1 стартовый проект

*Поддержка аппаратной платформы ожидается в III квартале 2007 г.

тично реализованный функционал технологии ZigBee.

К недостаткам можно отнести: значительные финансовые затраты на сертификационные испытания устройств на совместимость в альянсе, членские взносы в альянс ZigBee и использование стандартных профилей, прочие накладные расходы, а также на применение наиболее дорогой элементной базы — микропроцессоров с большим объемом внутренней Flash-памяти (минимум 32...128 КБ, в зависимости от класса устройства ZigBee) и повышенной производительностью, предпочтительнее 16- либо 32-разрядные МК для полнофункциональных устройств ZigBee (FFD — Full Function Device) в случае больших систем.

БИБЛИОТЕКИ SMAC И MAC

Наборы библиотек — SMAC и MAC предназначены для самостоятельной реализации сетевого ПО и

также входят в состав среды BeeKit. Тем не менее отличаются библиотеки значительно. Во-первых, в библиотеке MAC полностью реализован протокол передачи, отвечающий стандарту 802.15.4. Данный протокол имеет все необходимые сервисные битовые области и соответствующие служебные байты для организации систем любой топологии и любой сложности. Однако его универсальность напрямую отражается на пропускной способности. Кроме того, разработчик не может изменить сам протокол, существует возможность только конфигурировать такие отдельные его параметры, как длину байт данных, наличие/отсутствие шифрования, передачу пакетов синхронизации, и некоторые другие. Также сложный протокол "тянет" за собой множество сервисных функций, которые не могут быть удалены из библиотеки MAC, иначе теряется не только смысл в самой библиотеке, но пропадает и соответствие стандарту 802.15.4. Во-вторых, по-

мимо протокола, библиотека MAC предоставляет разработчику набор служебных функций и процедур, необходимых на этапе организации сети, этапе объединения устройств в сеть, для восстановления сети после сбоев/переподключения питания, поддержки механизма маршрутизации, поддержки синхронизованных сетей с гарантированными временными интервалами (GTS), доступа к среде передачи по механизму CSMA-CA, шифрования AES128, и многое другое. Все возможности библиотеки MAC перечислены в описании стандарта 802.15.4 [3].

Библиотека SMAC — выбор разработчика, которому необходимо обеспечить максимальную пропускную способность системы, либо добиться использования микроконтроллеров с малым объемом Flash-памяти (от 2 до 32 КБ Flash). По сути, в библиотеку SMAC входит небольшой, но достаточный набор функций в исходных кодах, необходимый для работы с радиоприемопередатчиком

стандарта ZigBee/802.15.4. При этом у программиста полностью свободны руки как в реализации собственного протокола передачи, так и в реализации необходимых в конкретной системе сервисных и сетевых функций, без каких-либо лишних, обязательных для библиотеки MAC, программных блоков и модулей.

СРЕДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ BEEKIT™ И CODEWARRIOR IDE

После того как выбор в пользу одной из библиотек ПО сделан, рассмотрим среды проектирования, необходимые для реализации ПО беспроводных приложений. С точки зрения Windows-приложений, разработчику понадобятся две среды проектирования: BeeKit и CodeWarrior IDE.

Среда BeeKit обладает простым в использовании графическим интерфейсом и представляет собой инструмент для конфигурирования и предварительной настройки создаваемых проектов для беспроводных устройств и систем стандарта IEEE802.15.4. Структура среды BeeKit, а также основные составляющие, входящие в ее состав, показаны на рис. 5. Данная среда не является законченным средством отладки и

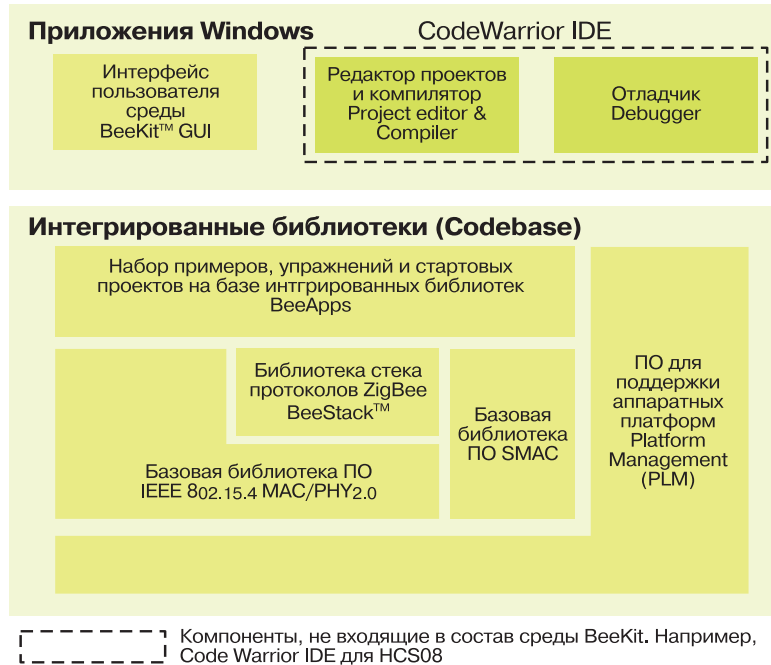


Рис. 5. Структура среды проектирования BeeKit™

программирования, где генерируются исходные коды для МК, а только добавляет необходимый для реализации беспроводных приложений функционал к стандартным средствам

разработки ПО, формируя файлы проекта с заданными свойствами.

В состав пакета входят ZigBee-совместимый набор протоколов BeeStack, базовые библиотеки SMAC и MAC, а

также необходимый инструментарий, позволяющий создавать программное обеспечение на базе микроконтроллеров с ядром MC9S08 компании Freescale. Среда обладает масштабируемостью, позволяющей поддерживать новые программные библиотеки и функциональные возможности, которые будут доступны в дальнейшем при поддержке новых ядер процессоров, следующих версий стека протоколов ZigBee и стандарта 802.15.4. Поддержка других аппаратных микроконтроллерных платформ ожидается в III квартале 2007 года, когда будут доступны соответствующие версии библиотеки BeeStack с поддержкой ядер ColdFire и ARM7. Кроме того, в состав среды входят предварительно сконфигурированные примеры приложений и шаблоны программного кода, а каждый новый проект ПО создается отдельно от базовой библиотеки, будь то SMAC, MAC или BeeStack, что обеспечивает легкое обновление и повторное их использование.

По завершению настройки параметров и режимов беспроводной связи, BeeKit позволяет экспортировать проект в интегрированную среду разработки Freescale CodeWarrior IDE через XML формат для последующей доработки и отладки конечных программных продуктов. Разработчику также предоставляется возможность экспортировать и

импортировать изменения параметров, внесенные как в среду BeeKit, так и в среду CodeWarrior IDE.

Как только решение было успешно создано и импортировано в CodeWarrior IDE, полученный проект стало возможно использовать различными способами. Первый вариант состоит в том, чтобы проект, сконфигурированный в BeeKit, скомпилировать и загрузить в выбранную аппаратную платформу. Другая возможность заключается в том, чтобы использовать импортированный проект как шаблон для разработки более сложного программного обеспечения в соответствии с собственными требованиями и продолжить программирование уже в среде CodeWarrior IDE.

Более подробно о работе со средой проектирования BeeKit Вы можете узнать из материалов — [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной статьи было знакомство разработчиков с комплексом аппаратных и программных средств, доступных для разработки беспроводных систем на основе технологии ZigBee/802.15.4, а также облегчение выбора между базовыми библиотеками программного обеспечения.

Начиная с осени 2007 года, компания Freescale Semiconductor организует ежемесячные 3- и 5-дневные курсы по обучению инженеров и разработчиков основам проектирования беспроводного программного обеспечения на базе трех возможных вариантов библиотек ПО: SMAC, MAC, BeeStack. Обучение будет проходить на доступных отладочных средствах компании и будет включать не только знакомство с составом библиотек, их возможностями, но и практические примеры и упражнения. В результате, разработчик сможет по окончании курсов приступить к проектированию собственного ПО разрабатываемого устройства без затрат времени на кропотливое изучение всего материала самостоятельно.

Литература

1. www.freescale.com/ru.
2. www.freescale.com/zigbee.
3. <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4.html>.
4. Соколов М., Гришин А. Среда BeeKit™ — универсальный инструмент разработки программного обеспечения беспроводных приложений стандарта 802.15.4/ZigBee. Ч. 1. // Современная электроника. 2007. № 3.