

Александр Калачев (г. Барнаул)

## 6LOWPAN – ВЗГЛЯД НА БЕСПРОВОДНЫЕ IP-СЕТИ ОТ TEXAS INSTRUMENTS



*Сенсорная сеть глобального масштаба? Отслеживание процессов и событий через обычную компьютерную сеть? Сети 6LoWPAN открывают такую возможность – взаимодействие с беспроводными сенсорными сетями становится удобнее. Texas Instruments совместно с Sensinode предлагают элегантные решения для развертывания сетей 6LoWPAN – сетевой процессор CC1180 с встроенным стеком протоколов NanoStack lite.*

Одна из главных составляющих современного мира – информационные и электрические сети. Девиз компании Sun Microsystems – «Сеть – это компьютер».

Мощность сети определяется количеством задействованных в ней узлов и способностью протоколов эффективно использовать заложенные возможности. Сетевые возможности применяются во многих отраслях деятельности – мониторинг и управление объектами; сбор, передача и первичная обработка данных и многое другое. При этом узлы сети могут иметь существенные различия по вычислительным, коммуникационным ресурсам и по ресурсам памяти.

Особенно ценным качеством сети является ее способность интегрировать различные устройства с разными функциями и предоставляемыми ресурсами. Определяющую роль при этом играют сетевые протоколы – стек протоколов. Яркий пример этому – стек протоколов TCP/IP, лежащий в основе подавляющего большинства современных сетей различного уровня, масштаба и назначения. Самая крупная и самая используемая из них – сеть Internet, предоставляющая глобальные коммуникации, услуги, сервисы. Более важным фактором является то, что разработаны стандарты обработки информации и разработки приложений для сетей TCP/IP. Сеть Internet уж включает в себя несколько миллиардов узлов и стоит на пороге перехода на новую версию протокола IP – IPv6, обеспечивающую более гибкую схему адресации и приличный запас адресного пространства.

Повсеместное внедрение систем автоматизации и автоматизации, несмотря на кажущуюся порой избыточность, показало свою эффективность. В основе

этого – разветвленные сети датчиков (сенсоров), управляемых узлов и механизмов. Даже для небольшого автоматизированного объекта их количество может превышать несколько сотен. Более того, современные задачи автоматизации требуют прозрачного межмашинного взаимодействия (M2M interaction), развитых сервисов, взаимодействия с базами данных и даже пользовательского интерфейса. В этом ключе использование инфраструктуры сети Internet для построения распределенной масштабируемой системы выглядит весьма соблазнительно.

Прямая поддержка протоколов Internet для подавляющего большинства узлов сенсорных сетей невозможна. Причин тому несколько:

- ограниченные ресурсы источника питания (автономные устройства);
- недостаточные вычислительные возможности;
- малый объем памяти.

К этому добавляются достаточно большой объем заголовков и пакетов сетевых протоколов.

Для выхода из данной ситуации IETF разработан стек протоколов 6LoWPAN («IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks» – стандарт взаимодействия по протоколу IPv6 поверх маломощных беспроводных персональных сетей стандарта IEEE 802.15.4) [1] – версия протокола IPv6 для беспроводных сенсорных сетей с низким энергопотреблением. Ключевыми особенностями сетей 6LoWPAN являются:

- доступность любого узла сети по его адресу;
- отсутствие необходимости в шлюзе прикладного уровня для работы с узлами сети.

Так как 6LoWPAN является протоколом сетевого уровня, то может ис-

пользоваться с любым физическим и канальным уровнем, аналогичная ситуация – и со стеком TCP/IP. Более того, не обязательно использовать беспроводную среду передачи. Для поддержки больших сетей узлы 6LoWPAN могут выполнять роль маршрутизаторов, есть возможность маршрутизации с ориентацией на уровень сигнала, что позволяет передавать данные на низкой мощности, экономя энергоресурс источника питания. Отсутствует единая точка оттока сети.

### 6LoWPAN: краткая характеристика

Предлагаемая на текущий момент реализация стека протоколов 6LoWPAN рассчитана на субгигагерцовый диапазон, и это не случайно [2]. Причина заключается в следующем. Во-первых, данный диапазон не требует лицензирования практически во всех странах мира (так, или иначе, ряд частотных полос этого диапазона доступен для свободного использования). Во-вторых, при равных затратах энергии на прием и передачу, по сравнению с диапазоном 2,4 ГГц, за счет большей длины волн можно обеспечить устойчивую связь на большем расстоянии. Также заметно меньше влияние препятствий в виде стен, перегородок машин, деревьев, что важно для систем, работающих в городских условиях. Это позволяет применять субгигагерцовые приемопередатчики для организации сетей как персонального (до 10 метров), так и локального масштаба. Верхний предел дальности связи колеблется на отметке 800 метров. Скорости передачи данных также хватает для типовых приложений сенсорных сетей – от 50 до 200 кбит/с.

Целевые приложения стека 6LoWPAN включают в себя достаточно большие масштабируемые сети с подключением к IP-сетям (Internet, intranet или extranet). Несмотря на хорошую масштабируемость, потенциально прозрачное управление и легкий доступ к узлам, они подходят не для всех применений. В частности, текущая версия стандарта стека протоколов требует постоянной активности маршрутизаторов для корректной передачи данных.

Тем не менее, эта особенность позволяет минимизировать занимаемый стеком 6LoWPAN объем flash-памяти (около 20 кБ для CC1180) в конечном устройстве (узле сети), а следовательно, минимизировать стоимость сетевого процессора.

Некоторые области перекликаются с рядом профайлов ZigBee (см. рисунок 1), но не стоит думать, что назревает конкуренция стандартов и решений, скорее — взаимодействие и дополнение друг друга, особенно в плане интеграции сервисов, расширения зон действия сети.

Основные области применения:

- интеллектуальные системы учета;
- управление уличным освещением;
- промышленная автоматика;
- логистические системы, отслеживание товаров или объектов инвентаризации;
- коммерческие охранные системы, системы контроля и управления доступом;
- некоторые военные приложения.

Список, конечно же, не окончательный и решение всегда остается за разработчиком.

Архитектура сетей 6LoWPAN несколько отличается от традиционных архитектур IP-сетей (наличие специализированного коммутационного оборудования, маршрутизаторов,

медиа-конверторов) и от сложившихся архитектур беспроводных сетей сбора данных. Ближе всего к ней находится архитектура WiFi-сетей, хотя и от нее есть ряд отличий.

Прежде всего, 6LoWPAN являются подсетями IPv6-сетей, т.е. они могут взаимодействовать с другими сетями и узлами IP-сети, но не являются транзитными для ее сетевого трафика. Сети 6LoWPAN состоят из узлов, которые могут также исполнять роль маршрутизаторов (host и router), кроме этого в сети может присутствовать один или более так называемых граничных маршрутизаторов (edge routers). Участие в маршрутизации не является обязательным требованием для узла сети, и он может играть роль, аналогичную роли конечного устройства в сетях ZigBee или устройства с ограниченной функциональностью для сетей 802.15.4, в терминологии 6LoWPAN — «хост-узел» (host). Узел, способный выполнять маршрутизацию в пределах сети 6LoWPAN, называется роутером, или маршрутизатором (router). Граничный маршрутизатор отвечает за взаимодействие подсети 6LoWPAN с сетью IPv6, участвует в процедуре инициализации и маршрутизации в подсети 6LoWPAN, осуществляет компрессию/декомпрессию заголовков IPv6 при обмене с внешней сетью, в случае подключения

к сети IPv4 может играть роль шлюза IPv6<>IPv4. Узлы подсети разделяют 64-битный префикс IPv6, который также является частью сетевого адреса граничного маршрутизатора. Для адресации внутри сети можно пользоваться оставшимися шестьюдесятью четырьмя битами (MAC-адрес сетевого интерфейса) или использовать сжатие адреса и укороченную 16-битную схему адресации (младшие два байта MAC-адреса). Предполагается, что сетевой адрес напрямую включает адрес сетевого интерфейса, это исключает необходимость применения протокола разрешения сетевых адресов (протокола ARP).

Выделяют три типа сетей 6LoWPAN: 1) ad-hoc, 2) простая 6LoWPAN-сеть, 3) расширенная 6LoWPAN-сеть (рисунок 2).

Ad-hoc-сеть не имеет подключения к внешней IP-сети, не имеет граничного маршрутизатора. Является самоорганизующейся сетью, использующей стек протоколов 6LoWPAN для организации работы и передачи данных между узлами.

Простая 6LoWPAN-сеть подключена к другой IP-сети при помощи одного граничного маршрутизатора. Граничный маршрутизатор может быть подключен к внешней IP-сети напрямую (подключение типа «точка-точка», например, GPRS/3G-модем) или может входить в состав кампусной сети (например, сети организации).

Расширенная 6LoWPAN-сеть состоит из одной или нескольких подсетей, подключенных к внешней IP сети через несколько граничных маршрутизаторов, подключенных к одной сети (например локальная сеть организации). При этом граничные маршрутизаторы в расширенной сети разделяют один и тот же сетевой префикс. Узлы расширенной сети могут свободно перемещаться в пределах сети и осуществлять обмен с внешней сетью через любой граничный маршрутизатор (обычно выбирается маршрут с наилучшими показателями качества сигнала — уровень ошибок, уровень сигнала).

Взаимодействие между узлами сети 6LoWPAN, а также взаимодействие с внешними узлами осуществляется так же, как и в обычной IP-сети. Каждый узел имеет свой уникальный IPv6-адрес и может принимать и передавать пакеты IPv6. Упрощенная структура стека протоколов 6LoWPAN в сравнении со стеками TCP/IP и ZigBee представлена на рисунке 3. Обычно узлы имеют поддержку протокола ICMPv6 и UDP. Прикладные протоколы чаще всего используют бинарный формат данных при работе по UDP-протоколу в сетях 6LoWPAN. В отличие от TCP/IP-стека, в 6LoWPAN нет поддержки протокола транспортного уровня TCP — из-за

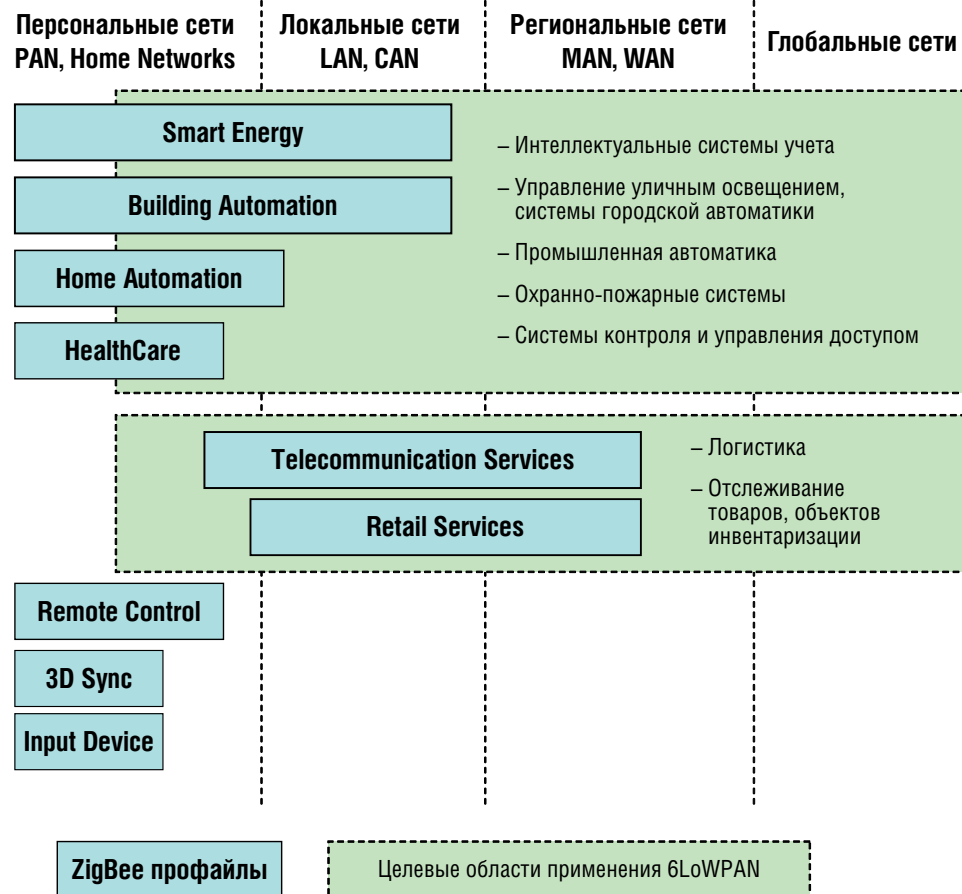


Рис. 1. Сравнительные области применения и возможный территориальный охват сервисов ZigBee и 6LoWPAN

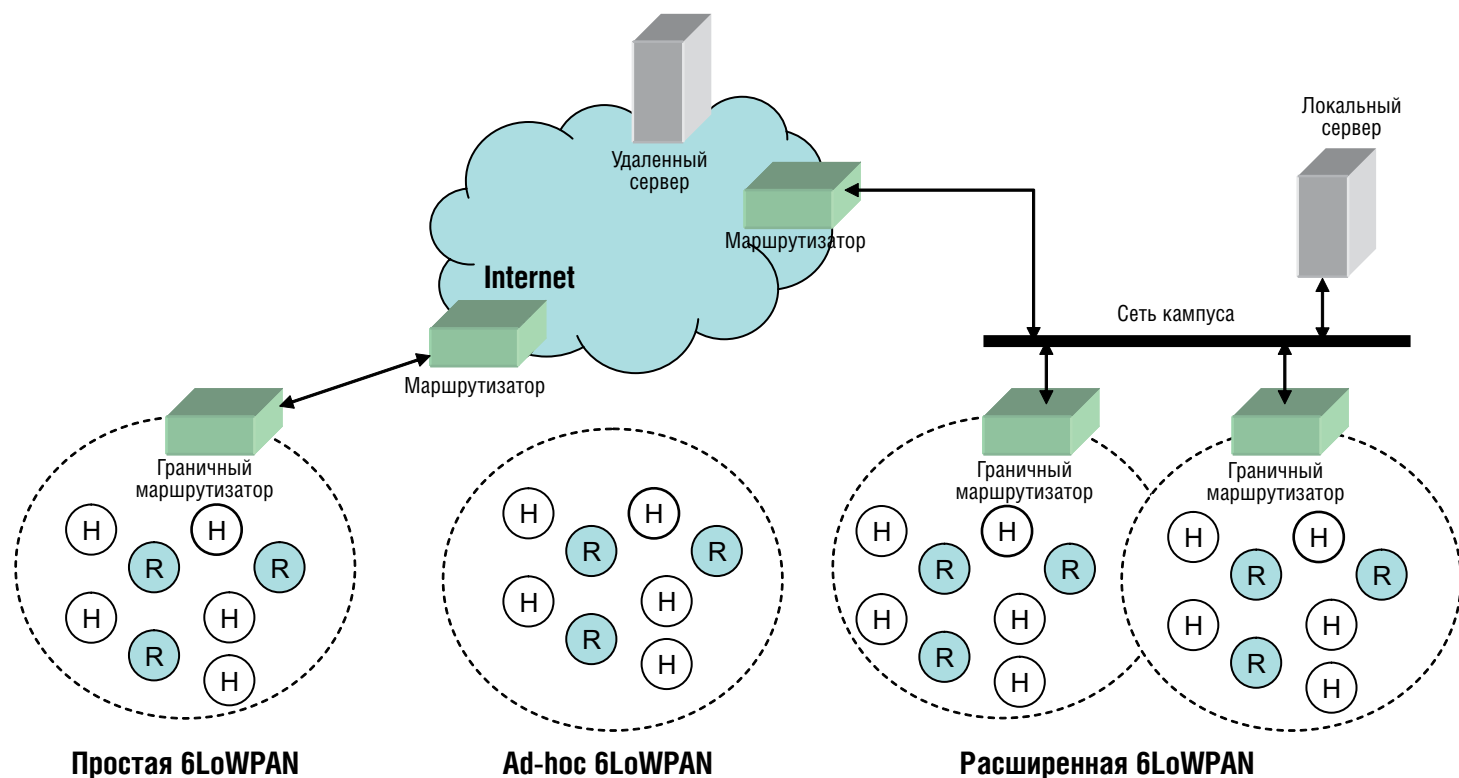


Рис. 2. Архитектура сетей 6LoWPAN

больших накладных расходов на формирование пакетов и из-за особенностей работы протокола, которые существенно затрудняют его применение в сенсорных беспроводных сетях. (Подтверждение пакетов и установление/разрыв соединения требуют частой работы приемопередатчика узла, и, как следствие, повышенного потребления энергии).

Так же как и сети ZigBee, сети 6LoWPAN являются самоорганизующимися. Для этого используется стандартная техника сетей IPv6. На базе установленных параметров стека автоматически устанавливается оптимальная топология связей между узлами в сети. Оптимальные маршруты определяются на основе метрик.

Процедура инициализации и работы сети 6LoWPAN заключается в следующем:

- соединение узлов на канальном уровне (commissioning);
- инициализация сетевого уровня, обнаружение соседних узлов, регистрация в сети (bootstrapping);
- установление маршрутов (route initialization).
- предыдущие пункты периодически повторяются для поддержания работоспособности сети.

Для мониторинга работы сети 6LoWPAN применяется специальный программный механизм, называемый доской объявлений (whiteboard) и хранящийся на граничном маршрутизаторе. Whiteboard применяется для:

- обнаружения дублирования адресов;

- поддержки мобильности узлов (для расширенных сетей 6LoWPAN);
- генерации коротких адресов;
- локализации узлов сети;
- ведение черного списка узлов.

### NanoStack 2.0 lite

Решения Texas Instruments для 6LoWPAN основываются на собственных аппаратных разработках и программном обеспечении компании-партнера Sensinode Ltd – одного из лидеров в области программных продуктов для 6LoWPAN. Компанией Sensinode разработан стек протоколов **NanoStack lite 2.0** для организации сетей 6LoWPAN.

6LoWPAN является более простым по структуре, чем стек ZigBee, более прозрачным с точки зрения прикладного программного обеспечения. Следствием этого является меньший объем бинарного кода: для стека Sensinode NanoStack он составляет примерно 20 кБ, что в среднем в 4...6 раз меньше размера стека ZigBee.

По сути NanoStack 2.0 lite является операционной системой, ориентированной на обработку событий. Периферийные устройства, такие как таймеры, АЦП, интерфейсы ввода-вывода, обрабатываются в основной программе. Обработка прерываний осуществляется драйверами устройств.

Так же как и стек протоколов ZigBee, NanoStack lite 2.0 использует физический и канальный уровни стандарта 802.15.4.

Стек протоколов NanoStack может применяться как на однокристалльных системах (системы-на-кристалле серий CC430), так и в связке «сетевой процессор **CC1180** плюс микроконтроллер». Для поддержки этого в состав стека входят два различных набора API-функций: NAPSocket API и NanoSocket API. Программный интерфейс предоставляет возможности для работы приложения в сети, такие как опрос узлов, конфигурирование беспроводных сетевых интерфейсов.

TCP/IP		6LoWPAN	ZigBee
HTTP	RTP	Прикладные протоколы	Приложения
TCP	UDP	UDP	Профайлы ZigBee
ICMP	ICMP	ICMP	APS (подуровень поддержки приложений)
IP	IPv6 с 6LoWPAN	IPv6 с 6LoWPAN	NWK (сетевой уровень)
Ethernet MAC	IEEE802.15.4e MAC	IEEE802.15.4e MAC	DLC (уровень канала передачи данных)
Ethernet PHY	IEEE802.15.4g PHY	IEEE802.15.4g PHY	IEEE802.15.4 MAC
			IEEE802.15.4 PHY

Рис. 3. Сравнительная структура стеков TCP/IP, 6LoWPAN, ZigBee

Для построения маршрутов стек NanoStack от Sensinode использует протокол RPL 0.13 (draft-ietf-roll-rpl-13 от IETF). Гибкий механизм определения метрик позволяет настроить протокол на определение путей в соответствии с требованиями конкретного приложения. При этом в NanoStack протокол RPL входит как модуль, что позволяет Sensinode производить его независимую модернизацию и оптимизацию. NanoStack позволяет при наличии соответствующей вычислительной мощности у граничного маршрутизатора формировать достаточно большую и разветвленную сеть 6LoWPAN – максимальное количество переходов в маршруте (хопов) составляет 254. Единственным ограничением является то, что данные от узла к узлу всегда проходят через граничный маршрутизатор.

Структура стека NanoStack lite 2.0 представлена на рисунке 4.

Каждому узлу ставится в соответствие ранг таким образом, что он возрастает по мере удаления узла от граничного маршрутизатора. В протоколе RPL это называется ориентированным направленным графом расстояний (Destination Oriented Directed Acyclic Graph – DODAG). Пересылка пакета граничному роутеру состоит в пересылке его соседнему узлу с наименьшим рангом. Узлы, на которых запущен RPL, обмениваются сигнальной информацией (т.н. информационные объекты графа расстояний – объекты DAG или DIO) для поддержания графа DODAG в актуальном состоянии. Все узлы в сети периодически генерируют DIO-

пакеты для оповещения соседей о своем ранге. Каждый узел кроме информации о ближайшем маршрутизаторе хранит информацию о нескольких альтернативных с большими рангами (от 0 до 3 альтернативных узлов), и при выходе из строя маршрутизатора или нарушении связи с ним передача пакетов будет идти через один из резервных узлов. Это позволяет обеспечить отказоустойчивость сети.

Все беспроводные узлы, работающие под управлением NanoStack lite, способны выполнять роль маршрутизаторов.

Для встраиваемых систем возможны следующие варианты реализации работы в сети:

Приемопередатчик совместно с управляющим микроконтроллером. В этом случае микроконтроллер отвечает за работу сетевого стека и за работу прикладных задач. Приемопередатчик подключается к контроллеру через последовательный интерфейс (как правило, используется SPI или UART). В случае Texas Instruments возможно использование практически любого приемопередатчика на базе CC1101.

Вторым вариантом является применение систем-на-кристалле, содержащих в одном корпусе на одном кристалле и приемопередатчик, и микроконтроллер. Процессорное ядро контроллера при этом также выполняет и стек протоколов, и приложения. Данное решение является более компактным и во многих случаях выгоднее энергетически (меньшая общая потребляемая мощность по сравнению с вариантом «приемопередатчик + микроконтроллер»).

И в том, и в другом случае при отладке приложения необходимо отслеживать работу как стека протоколов, так и приложения. Кроме того, некорректная работа приложения может привести к прекращению выполнения стека, и, как следствие, выхода узла из сети, что, в свою очередь, может повредить выполнению распределенного приложения. Аналогично, ошибки в работе стека могут привести к зависанию микроконтроллера или прекращению выполнения приложения. Узел в этом случае перестает выполнять свои функции.

Третьим вариантом является разнесение выполнения прикладной задачи и стека протоколов на разные микроконтроллеры. Микроконтроллер, выполняющий стек протоколов, часто называется сетевым процессором.

**NanoSocket API**

Для систем-на-кристалле (для случая выполнения стека протоколов и прикладной задачи на одном контроллере) используется библиотека NanoSocket API [3] (рисунок 5), предоставляющая интерфейс для задания настроек беспроводного приемопередатчика, стека протоколов и работы с самим стеком. Библиотека подключается на этапе компиляции проекта в среде IAR и представляет собой файл библиотеки .lib с несколькими заголовочными файлами.

Командный интерфейс отвечает за обработку всех запросов и ответов на них, связанных с конфигурацией узла, стека протоколов или сети. Сокетный интерфейс используется при обмене данными 6LoWPAN. События генери-



Рис. 4. Структура стека протоколов NanoStack lite 2.0

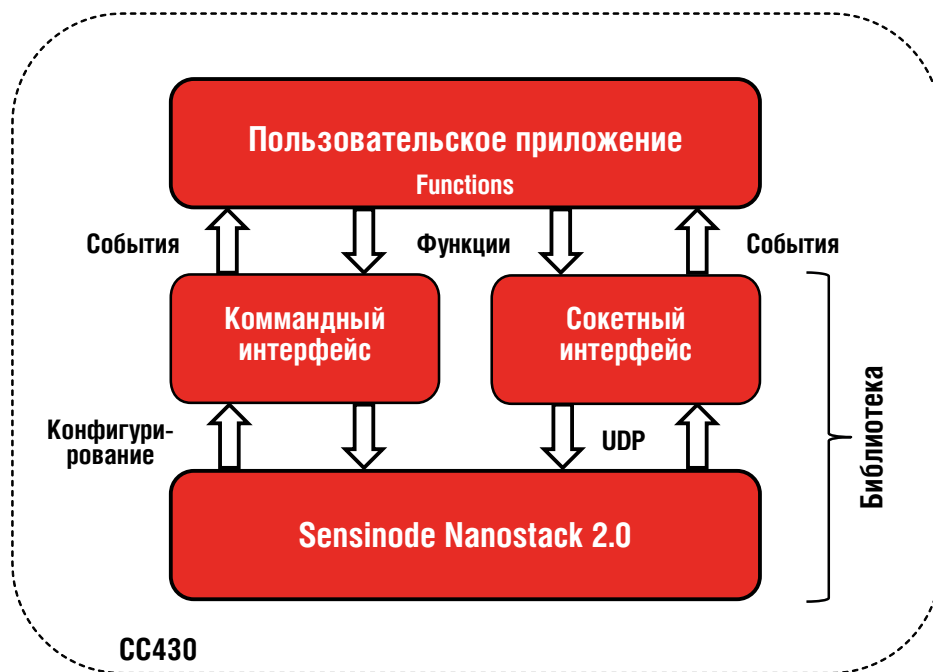


Рис. 5. Взаимодействие стека протоколов NanoStack с прикладным приложением

руются при приходе пакетов данных, ответов на запросы или других событий стека NanoStack 2.0.

Для обработки событий стека протоколов пользователь переопределяет функцию `tasklet_main()`. Данная функция вызывается каждый раз при приходе данных с буфер-сокетов или при генерации событий стека.

Основные типы обрабатываемых событий, кроме событий, связанных с приемом или передачей данных являются:

- инициализация библиотеки;
- прием данных через UART;
- события таймера;
- ряд служебных событий стека.

### Сетевой процессор CC1180

Сетевой процессор CC1180 является системой-на-кристалле **CC110F32**, поставляющейся с прошитым стеком протоколов NanoStack 2.0 Lite компании Sensinode для сетей 6LoWPAN [4-6]. CC1180 выполняет все критически важные и ресурсоемкие процессы, связанные с работой сетевых протоколов, экономя ресурсы внешнего микроконтроллера для решения прикладных задач. Взаимодействие с внешним контроллером (часто называемым прикладным контроллером или контроллером приложений) осуществляется по интерфейсу UART с протоколом обмена NAP. Например, возможно использование микроконтроллеров серии **MSP430** или любых других. Сетевой процессор позволяет легко расширить функциональность создаваемой или существующей системы за счет подключения к 6LoWPAN-сети.

Версия прошивки стека может быть обновлена при помощи т.н. загрузчика NanoBoot, позволяющего загрузить образ стека в микроконтроллер.

Протокол NAP содержит небольшое количество достаточно простых функций, позволяющих настраивать параметры беспроводного узла, принимать и передавать данные. Программный интерфейс близок к сокетам, знакомым по TCP/IP-сетям, что отчасти упрощает жизнь прикладному программисту.

Ключевые особенности:

- простая интеграция в сеть 6LoWPAN;
- распространенный UART-интерфейс;
- простой и функциональный протокол взаимодействия;
- обновление прошивки через радио (при условии, что у узла достаточно памяти для временного хранения образа);
- большой выбор возможных диапазонов частот — 315/433/868/915 МГц;
- выходная мощность радиосигнала от -30 до +10 дБм;
- скорости передачи данных: 50, 100, 150, 200 Кбит/с;

- AES шифрование в пределах подсети;
- диапазон напряжений питания от 2 до 3,6 В;
- компактные размеры — корпус QFN36 — 6x6 мм.

### NAPSocket API

При работе с сетевым процессором CC1180 приложение компилируется на хост-контроллер совместно с библиотекой NAPSocket API, аналогично содержащей скомпилированную библиотеку и набор заголовочных файлов [5, 7-9]. Функции, предоставляемые NAPSocket API, аналогичны функциям NanoSocket API с тем отличием, что библиотека выполняется на отдельном микроконтроллере и обмен сообщениями и данными с частью стека, выполняемой на сетевом процессоре, происходит по последовательному интерфейсу (UART или SPI) при помощи протокола NAP [8] (рисунок 6). В случае с процессором CC1180 используется UART-интерфейс. Так же, как и в предыдущем случае, прикладной программист должен определить функцию, ответственную за обработку событий. Обработчик событий прописывается при вызове функции инициализации библиотеки — `library_init()` [7, 9].

В принципе, разработчик может взаимодействовать с CC1180, не используя NanoSocket API, самостоятельно формируя и обрабатывая сообщения NAP-протокола.

Обе библиотеки для передачи данных между узлами предоставляют привычный интерфейс сокетов с поддержкой основных операций: `socket`, `bind`, `send`, `read`, `close` и ряда других. Также выделены API для настроек беспроводного приемопередатчика: выходная мощность, скорость передачи данных, режим перестройки частот, разнесение

каналов — и функции конфигурации сети: старт сети, остановка сети, задание AES ключа и т.д.

### Ознакомительный комплект CC-6LOWPAN-DK-868

Ознакомительный комплект CC-6LOWPAN-DK-868 (рисунок 7) позволяет пользователям посмотреть работу сетей 6LoWPAN, начать разработку собственных сетевых приложений на базе данного протокола. В составе комплекта — беспроводные модули Texas Instruments с программным обеспечением от Sensinode (стек протоколов NanoStack) [10,11].

CC-6LOWPAN-DK-868 демонстрирует два способа реализации и применения стека NanoStack — для систем-на-кристалле и с использованием сетевого процессора CC1180.

В состав комплекта входят:

- граничный маршрутизатор 6LoWPAN на базе микроконтроллера **OMAP-L138** с модулем CC1180EM в качестве беспроводного интерфейса;
- две отладочные платы EM430F5137RF900 Rev 3.2;
- две платы CC1180DB.

Граничный маршрутизатор содержит программное обеспечение Sensinode NanoRouter 2.0 и способен присоединяться к сети и взаимодействовать с узлами, работающими под управлением стека протоколов NanoStack 2.0 lite. В предлагаемой в ознакомительном комплекте версии NanoRouter 2.0 установлено ограничение в 10 узлов на один граничный маршрутизатор.

Платы EM430F5137RF900 и CC1180DB используются в комплекте как узлы беспроводной сети. Системы-на-кристалле CC430 демонстрируют работу со стеком протоколов через библиотеку NanoSocket API.

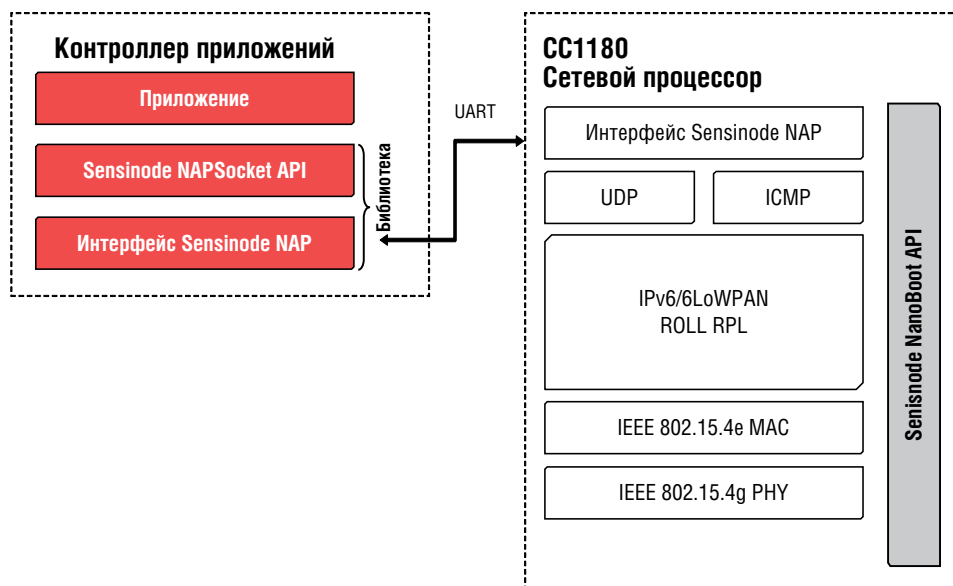


Рис. 6. Взаимодействие внешнего контроллера с сетевым процессором

**CC1180DB Nodes**

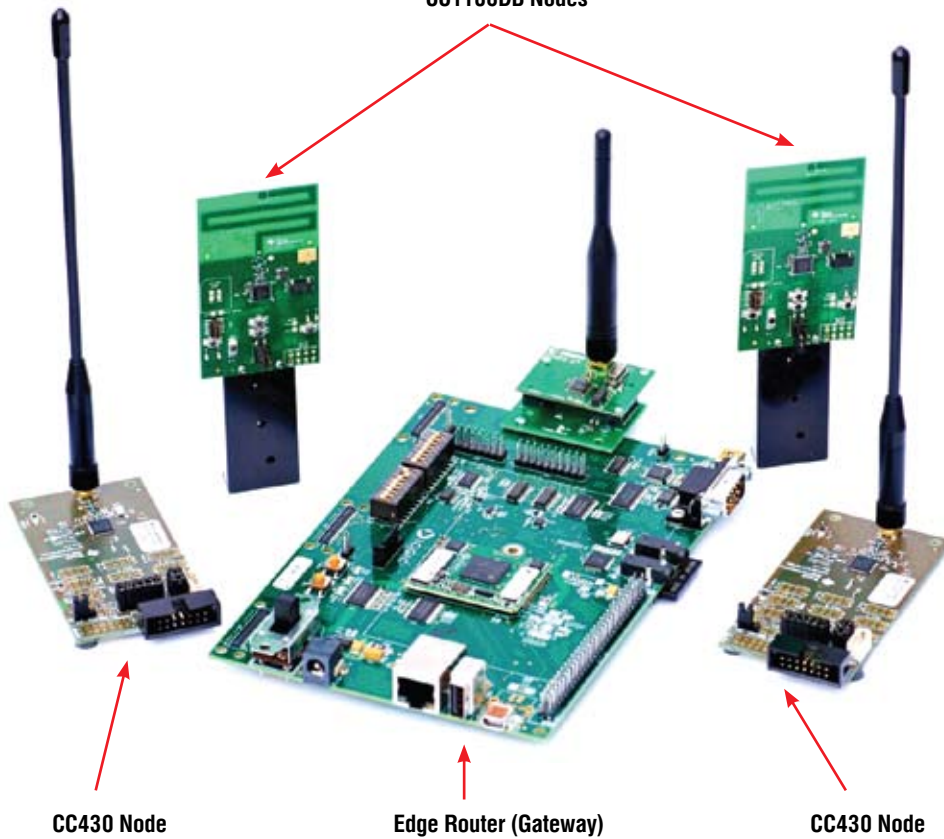


Рис. 7. Ознакомительный комплект CC-6LoWPAN-DK-868

CC1180DB содержит сетевой процессор CC1180, выполняющий основную часть стека, и хост-контроллер MSP430F5438A, выполняющий прикладные задачи — в частности, демонстрационное приложение. Взаимодействие между сетевым и хост-процессорами идет по интерфейсу UART с помощью протокола Sensinode NAPSocket API.

В качестве демонстрационного для работы с сетью 6LoWPAN идет приложение «монитор сети NodeView 2.0», позволяющее управлять граничным маршрутизатором, отслеживать состояние сети в реальном времени. Прикладной управляющий протокол основывает-

ся на протоколе UDP стека NanoStack lite. NodeView 2.0 также позволяет создавать небольшие пользовательские Java-приложения.

Все представленные беспроводные узлы могут выступать в роли маршрутизаторов в данной подсети 6LoWPAN. Платой за это выступает необходимость постоянной активности приемопередатчика, и питание узлов целесообразнее брать стационарное.

**Заключение**

6LoWPAN решает несколько наиболее проблем, связанных с беспроводными сенсорными сетями — стандартизация работы сети и доступа к данным

сети. В отличие от стандартов ZigBee, 6LoWPAN расширяет стандартизацию практически до уровня прикладных задач, параллельно решая проблемы с интеграцией небольших беспроводных узлов в IP-сети.

Программный продукт Sensinode — NanoStack lite позволяет использовать практически половину линейки беспроводных устройств Texas Instruments в сетях 6LoWPAN для любого поддерживаемого частотного диапазона.

Весьма интересным решением является сетевой процессор CC1180 — система-на-кристалле со специализированным программным обеспечением, предельно упрощающим создание и программирование узлов сети 6LoWPAN.

**Литература**

1. Zach Shelby, Carsten Bormann 6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet. John Wiley & Sons Ltd. 2009. 245 с.
2. CC-6LoWPAN — Texas Instruments Embedded Processors Wiki//<http://processors.wiki.ti.com/index.php/CC-6LoWPAN>
3. NanoStack 2.0 library for cc430//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/cc430-nanosocket-api-1.0-01.pdf>
4. Mesh and IP Networks — 6LoWPAN — CC1180//<http://www.ti.com/product/cc1180>
5. CC1180 Sub-1GHz 6LoWPAN Network Processor//<http://www.ti.com/lit/gpn/cc1180>
6. CC1110Fx/CC1111Fx Low-Power SoC (System-on-Chip) with MCU, Memory, Sub-1 GHz RF Transceiver, and USB Controller//[swrs033g.pdf](http://swrs033g.pdf)
7. NanoHost Example 1.0-02//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/nanohost-example-1.0-02.pdf>
8. NAP Protocol//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/napprotocol1.0.pdf>
9. NAPSocket Library//<http://www.sensinode.com/media/ti-cc-6lowpan/napsocetlibrary1.0-02.pdf>
10. Sub-1GHz 6LoWPAN Development kit User's Guide//<http://www.ti.com/lit/pdf/swru298>
11. Texas Instruments CC-6LoWPAN kit — Sensinode Ltd <http://www.sensinode.com/EN/products/software/ti-cc-6lowpan-kit.html>

**TEXAS INSTRUMENTS**

**Сетевой процессор CC1180**

Лучшее решение для построения беспроводных IPv6-сетей малой мощности

Компэл [www.compel.ru](http://www.compel.ru)

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: [mcu.vesti@compel.ru](mailto:mcu.vesti@compel.ru)