

Сетевая технология ZigBee

В. Варгаузин



Простота создания сетей сбора данных, возможность их оперативного развёртывания и сворачивания, их интеллектуальность и дешевизна, лёгкость их расширения и сокращения и, наконец, приложимость сетей к разным профилям жизнедеятельности — вот принципы, заложенные в идеологию стандарта персональных сетей стандарта IEEE 802.15.4 [2]. Воплощение в жизнь этих принципов и составляет цель сетевой технологии ZigBee — программной надстройки для управления сетевыми устройствами (трансиверами) стандарта. Набор протоколов ZigBee является реализацией стека протоколов семиуровневой модели взаимодействия открытых систем. Два нижних уровня (физический и уровень доступа к радиоканалу) являются протоколами стандарта IEEE 802.15.4—2003 для низкоскоростных персональных радиосетей (Personal Area Network, PAN). В этом году альянсом компаний ZigBee утверждены две версии протоколов. Документ ZigBee версии 1.0 утверждён в апреле, версия 1.1 — в сентябре 2005 года. Документ описывает уровень приложений, уровень организации сетей и механизмы обеспечения сетевой безопасности. Протокол версии 1.1 в сравнении с первой версией описывает более надёжный механизм поддержки сети для многопрофильных приложений. Стек протоколов ZigBee требует от сетевых устройств памяти не более 100 кбайт.

Стандарты цифровой связи

Сетевые устройства ZigBee. Создание и расширение сетей

В разработанных версиях протоколов ZigBee закреплены механизмы создания и расширения одной PAN, и не рассматриваются механизмы создания сетей путём объединения разных PAN. Этот факт отмечен термином intra-PAN.

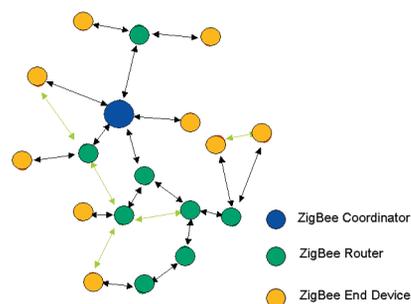


Рис.1. Сеть ZigBee со сложной топологией. Чёрные линии — качественные соединения, зелёные — некачественные соединения.

На рис. 1 приведена сложная топология сети из устройств ZigBee, иллюстрирующая их свойства. Сеть ZigBee включает три типа логических устройств: координатор ZigBee, маршрутизатор ZigBee и оконечное устройство ZigBee.

Координатор ZigBee (ZigBee Coordinator, **ZC**) является координатором PAN. Функции, выполняемые

ZC, зависят от топологии сети.

Маршрутизатор ZigBee (ZigBee Router) — полнофункциональное устройство стандарта IEEE 802.15.4, которое не является координатором ZigBee, однако может быть координатором стандарта 802.15.4 и маршрутизатором сообщений между устройствами ZigBee и устройством,

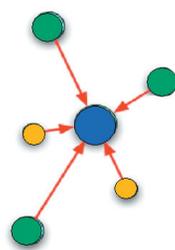


Рис.2. Присоединение новых сетевых узлов к координатору ZigBee.

присоединяющим новые устройства к сети.

Оконечное устройство (ZigBee End Device, **ZED**) — любое устройство

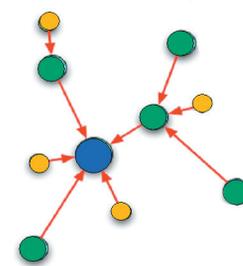


Рис.3. Присоединение новых сетевых узлов к маршрутизатору ZigBee.

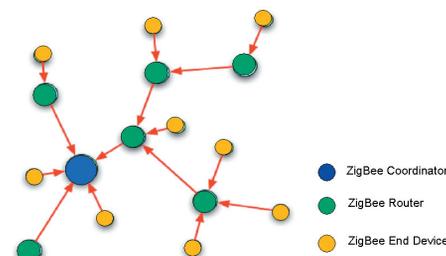


Рис.4. Очередное расширение сети

стандарта IEEE 802.15.4 (RFD и FFD), не являющееся ни координатором ZigBee, ни маршрутизатором ZigBee.

Пример присоединения сетевых устройств ZigBee к сети при-

веден на рис.2-4. Присоединение производится по принципу: родительское устройство присоединяет (на что указывает входящая стрелка) дочернее. На рис.2 родительским устройством является координатор ZigBee. На рис.3 и 4 присоединённые к сети маршрутизаторы ZigBee присоединяют новые сетевые устройства. В результате образуется адресная иерархия из родителей и детей. Эта иерархия в дальнейшем может быть использована маршрутизаторами ZigBee при доставке данных по сети. Этот алгоритм в протоколах ZigBee реализован процедурами языка XML.

Гомо- и гетерогенные сети

Передача данных в сетях с древовидной топологией использует иерархическую стратегию выбора маршрута и может производиться под централизованным управлением, для чего на физическом уровне требуется использовать периодические сигналы маяков от координаторов IEEE 802.15.4. Поэтому в таких сетях может быть использован режим синхронизированного доступа и «спячки» сетевых устройств, позволяющий экономить энергопотребление. Этот режим поддерживают сетевые протоколы ZigBee. В Таблице 1 приведены рекомендуемые периоды следования сигналов маяков (BI).

Таблица 1. Рекомендуемый период следования синхронизирующих доступ сигналов маяков в сетях ZigBee.

Скорость передачи данных, кбит/с	Период следования сигналов маяков BI	
	BI_{min} , мс	$BI_{max} = BI_{min} * 2^{14}$, с
250	15.36	251.65824
40	24	393.216
20	48	768.432

В таких сетях (Beacon-enabled PAN) сетевые устройства «слушают» эфир и «говорят» в эфир в моменты времени, «привязанные» к сигналам маяков. В остальное время устройства «спят». Может «спать» и устройство, излучающее сигналы маяков. Эту ситуацию можно трактовать как **гомогенное** (однородное) распределение мощности между всеми сетевыми устройствами.

Сети с топологией Mesh принципиально ориентированы на асинхронную передачу данных (Not Beacon-enabled PAN), к примеру, команд включения-выключения в сетях управления или данных от «проснувшихся» или «не спящих» сенсоров в сенсорных сетях. Вся сеть должна «не спать» и быть всегда готова передать эти данные адресату, к примеру, приборам или центру сбора информации.

В таких сетях распределение потребляемой мощности между сетевыми устройствами может быть ассиметрично. В то время как одни устройства постоянно «бодрствуют», другие устройства почти всегда «спят». Выход из «спячки» этих устройств должен быть обусловлен некой серьезной внешней причиной. Например, необходимостью передать по сети команду. Подобные сети иногда называют **гетерогенными** (неоднородными).

Пример использования сети управления с топологией Mesh приведен на рис. 5-9 [1]. В этой сети доставка сообщения по сети осуществляется совместными усилиями многих равных в правах маршрутизаторов без централизованного координирования сетью со стороны некоторого выделенного устройства. Сеть используется для доставки команд управления бытовыми приборами (оконечными устройствами ZigBee). Заметим, что выключатель (оконечное устройство

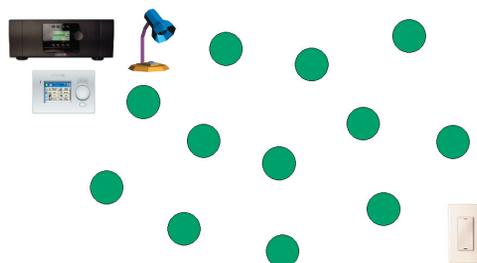


Рис.5. Сетевые узлы: маршрутизаторы ZigBee (зелёные кружки) и оконечные устройства ZigBee (выключатель и бытовые приборы).

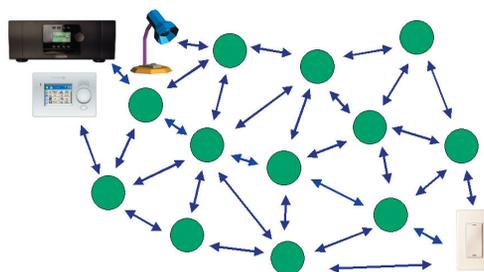


Рис.6. Сеть управления домашней электроникой с топологией Mesh.

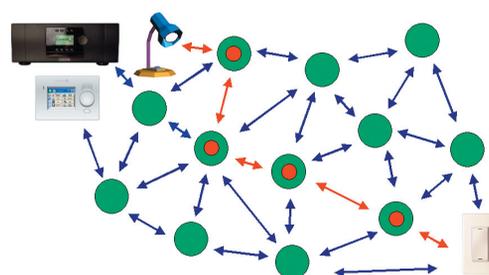


Рис.7. Передача команды включения лампы. Маршрут команды отмечен красным цветом.

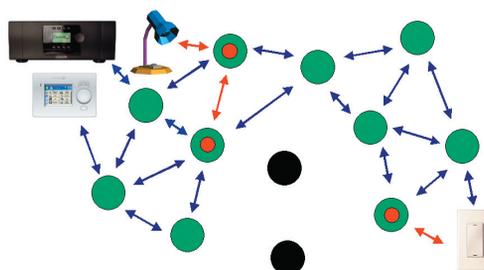


Рис.8. Сбой в двух маршрутизаторах ZigBee.

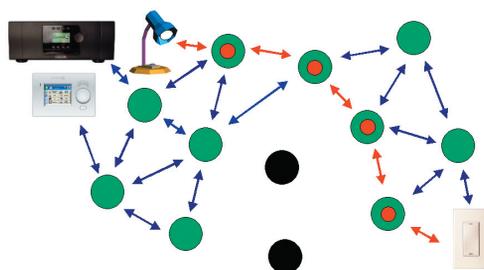
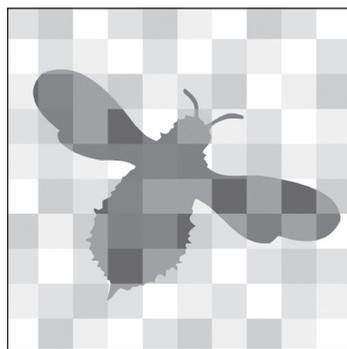


Рис.9. Выбор нового маршрута команды включения лампы. По отношению к маршруту на рис.7 новый маршрут сделал Zigzag.

ZigBee) на физическом уровне представляет собой полнофункциональное устройство стандарта IEEE 802.15.4. Со стороны этого устройства поступает команда включения удалённого бытового прибора (рис.7). При сбое внутри сети (рис.8) маршрутизаторы совместными усилиями находят новый маршрут доставки команды включения (рис.9).

Сеть Mesh постоянно «слушает» и адаптируется к обстановке внутри сети. Каждый узел следит за своими **соседями**, постоянно обновляя маршрутные таблицы на основе оценки мощности принятых от них сигналов. В результате, при изменении пространственного расположения соседей или выходе их из сети одного из устройств (физического удаления устройств, прекращения энергопитания устройства т.п.), вычисляется новый маршрут.

В приведённой на рис.5-9 неисправности в сети её самоустранение (**Self-healing**) может быть произведено по следующему алгоритму. Все «услышавшие» команду включения соседи по ячейке (Mesh) должны запомнить в своей памяти эту команду и включить таймер на получение кадра-квитанции ACKnowledgement [2] от узла, которому адресована эта команда. Тогда, по затянувшемуся ответу на переданную команду от выбывшего из строя узла, они могут принять решение о новом маршруте для команды. Решение может быть принято на основании имеющихся у всех маршрутизаторов оценок качества линий связи (**Link Quality Indication, LQI**) и полной информации о топологии сети, полученной на этапе присоединения к сети. Заметим, что в алгоритме доступа сигнал ACKnowledgement должен быть разрешён, поскольку доступ в сетях стандарта IEEE 802.15.4 может производиться и без этого кадра. Поэтому, при использовании изложенного алгоритма в сетях с топологией Mesh все маршрутизаторы должны постоянно «слушать», всегда «отвечать», постоянно трудиться («жужжать») и быть готовыми к **Зигзагу маршрута, затрачивая на это энергию**. Отсюда объяснение термина ZigBee: зигзаг (**Zig**) пчелы (**Bee**). Благодаря трудолюбию каждой из пчёл улья информация о всех зигзагах маршрута её полёта до цветочной поляны становится доступной всему улею.



ция о всех зигзагах маршрута её полёта до цветочной поляны становится доступной всему улею.

Сенсорная сеть

На основе устройств ZigBee сенсорная сеть строится следующим образом.

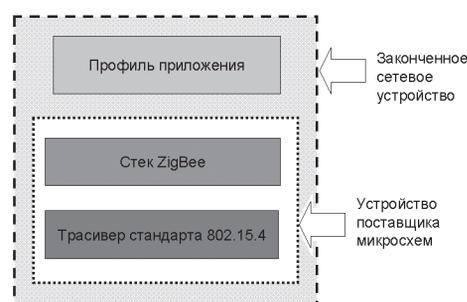


Рис.10. Законченная платформа ZigBee с профилем ZigBee.

Сетевым узлом является трансивер стандарта 802.15.4 с управляемым маршрутизацией стекком ZigBee и программным профилем. Если к трансиверу подключается сенсор, узел получает профиль сенсорного

Терминология сетей ZigBee

ZigBee Coordinator – координатор PAN стандарта IEEE 802.15.4.

ZigBee Router – полнофункциональное устройство стандарта IEEE 802.15.4, которое не является координатором ZigBee, однако может быть координатором стандарта IEEE 802.15.4 внутри своей области радиодоступа и маршрутизатором сообщений между устройствами в сети ZigBee.

Zig Bee End Device – любое устройство стандарта IEEE 802.15.4, не являющееся ни координатором ZigBee, ни маршрутизатором ZigBee.

Mesh network – сеть, в которой маршрутизация сообщений по сети осуществляется децентрализованно, совместными усилиями многих равных в правах маршрутизаторов.

узла. Этот профиль предписывает ему собирать данные и отправлять узлу, который является центром сбора данных. Этот узел имеет профиль центра сбора данных, который предписывает ему ждать и собирать поступающие данные от сенсоров. Узел также может являться координатором ZigBee, а может и не быть таковым.

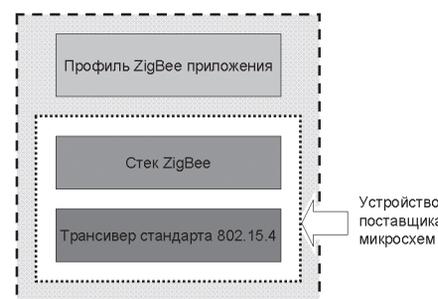


Рис.11. Открытая платформа ZigBee с профилем разработчика сети.

Предположим, что сенсорная сеть ZigBee функционирует в порту и сенсоры расположены на контейнерах. Цель сети – контроль наличия грузов в порту. Пусть в зону охвата сети пришёл новый контейнер. При этом сенсор, расположенный на этом контейнере, обнаружив, что в порту функционирует сеть, сообщает о себе ближайшему сетевому узлу: «Я сенсор на контейнере №128». Это сообщение доходит до координатора ZigBee. В результате, сенсор на контейнере попадает в список сенсоров, от которых производится сбор информации. Заметим, что маршрут прохождения первого сообщения от этого сенсора фиксируется в сети и становится известным всем маршрутизаторам. При необходимости он может быть уточнен посылкой сетевому узлу команды уточнения его местоположения или наличия в сети.

Профили устройств

Существуют достаточно типичные приложения сетей, для которых может быть создан один программный профиль типа рассмотренных в предыдущем разделе профилей сенсор-центр сбора данных. Для нескольких типичных приложений разработчик сетей может получить от поставщика законченный сетевой узел (рис.10). При этом разработчик, по сути, становится лишь установщиком сети, не требующей настройки. Для таких ситуаций альянсом ZigBee сегодня разработано несколько профилей для медицинских приложений, управления бытовой аппаратурой и управления освещением.

Если в приложении сети есть некие особенности, которые не отражают стандартные профили ZigBee, то разработчику сети предоставляется возможность самостоятельно разработать профиль приложения (рис.11)

Ad-Нос сеть на дороге

Поразмышляем, как можно использовать технологию, подобную ZigBee.

На километровой участке шоссе, водители, имея сетевые устройства — маршрутизаторы, образуют сеть и оперативно узнают информацию от сетевого узла на светофоре о наличии или отсутствии пробки через два светофора. Результатом является решение водителя: ехать прямо или свернуть на следующем светофоре. Присоединение сетевых устройств к сети вблизи светофора производится автоматически, их выезд из сети не становится катастрофой для сети. Сеть формируется автоматически и поддерживает работоспособность без вмешательства человека. Это — пример Ad-Нос сети, созданной спонтанно, «по случаю»: собрались, получили информацию и разъехались.

Пока это — небольшая фантазия. Однако охват «светофоров» ZigBee подобной сетью уже начался. Один из проектов развернут на Садовом кольце в Москве с 8-10 полосным движением для контроля загруженности трассы. Сеть включает стационарные сенсоры, подвижный пульт управления и настройкой сенсоров, шлюз GPRS. Сенсоры, расположенные на расстоянии около 100 метров, представляют собой радиолокационные детекторы потока транспортных средств со стационарным питанием. Пульт управления и настройки сенсоров является сетевым устройством с автономным питанием. Центр сбора данных передает её через модем GPRS в ГИБДД. Такая сеть оказывается рентабельнее группы сенсоров с модемами GPRS.

Не ZigBee сетевые протоколы для трансиверов стандарта IEEE 802.15.4

Embernet — протокол компании **Ember**, послуживший прототипом ZigBee.

XMesh — протокол компании **Crossbow** для построения сенсорных сетей на основе **notes** (пылинок) — радиомодулей с процессором обработки данных. Компания выпускает исключительно широкий спектр сенсоров.

SensiNet — протокол компании **Sinsicast** для построения сенсорной сети с топологией Mesh. Компания выпускает широкий спектр сенсоров.

Synaptrix — компании **Innovative Wireless Technologies** для поддержки модулей собственной разработки.

Автор выражает благодарность И.А. Цикину и Б.М. Медведеву за инициализацию публикации и помощь в подготовке материалов 802.15.4/ZigBee: этого и [2].

Литература

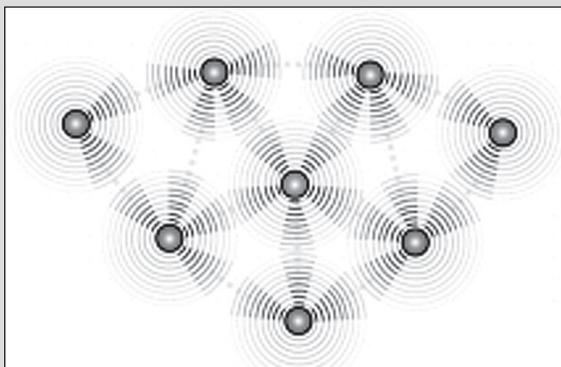
1. В. Heili «ZibBee Alliance Tutorial», September-November 2005, www.zigbee.org.

2. В. Варгаузин. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 // ТелеМультиМедиа №6, 2005.

Сенсорные сети на выставке «Russia-Hi-Tech-2005»

Компания «Открытые Технологии», российский системный интегратор, приняла участие в выставке российских высоких технологий «Russia-Hi-Tech-2005», прошедшей в Куала-Лампур (Малайзия) в рамках саммита стран-членов Ассоциации государств Юго-Восточной Азии (АСЕАН). Выставка продемонстрировала новейшие разработки российских компаний в области современной науки и техники, в том числе в сфере информационных технологий и связи.

Компания «Открытые Технологии» в партнерстве с Институтом точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН (ИТМ и ВТ) представила на своей экспозиции современное решение по обеспечению безопасности железнодорожных перевозок на основе технологии сенсорных сетей. Разработка специалистов компаний позволяет предотвращать аварии во время железнодорожного сообщений путем заблаговременного выявления аварийных элементов путей и оборудования, способствует снижению потери грузов путем скрытого мониторинга операций проводимых с вагонами во время транспортировки.



Сергей Калинин, директор ИТМ и ВТ РАН: «Сегодня мы представили конкурентоспособное решение на основе технологии сенсорных сетей, предназначенное для любых наземных транспортных компаний. Используемая технология позволяет обеспечивать сбор данных в режиме реального времени и может применяться в проектах различного масштаба».

Информация о технологии сенсорных сетей

Сенсорной сетью называется сеть малогабаритных устройств с автономным питанием, связанных друг с другом по радиоканалу. Устройства содержат сенсоры, и каждое из них собирает фрагмент информации о состоянии контролируемой системы. Данные, собираемые с множества устройств, после соответствующей обработки содержат весьма полную информацию о системе в целом.

Ключевым свойством сенсорных сетей является **самоконфигурируемость**, то есть способность сети после физической установки самостоятельно начать функционирование **без** каких-либо операций **персонала**. Например, **при уничтожении** нескольких устройств сеть самостоятельно перенаправляет поток данных через другие устройства и **сохраняет работоспособность**.