

# Конференция разработчиков ZigBee

В июне этого года в Мюнхене (Германия) прошла очередная ежегодная двухдневная конференция разработчиков ZigBee, на которой обсуждалось сегодняшнее состояние этого беспроводного сетевого стандарта, стратегия и перспективы его развития, вопросы совместимости и сертификации, области применения, аппаратные и программные продукты для реализации данной технологии, а также интересные решения и реализованные успешные проекты. Параллельно с семинарами проводилась небольшая выставка, организованная участниками конференции, на которой посетители могли познакомиться с продукцией для разработки сетей ZigBee от ведущих мировых компаний и пообщаться с их представителями.

Сергей Солодунов  
sys@efo.ru

## Текущее состояние ZigBee-стандарта: новые спецификации, профили, успешные проекты

Конференция открылась докладом Боба Хила (Bob Heile), председателя совета директоров альянса ZigBee. Он рассказал о возможностях технологии ZigBee, разработанных и разрабатываемых альянсом спецификациях и стандартных профилях приложений, вариантах применений и успешных проектах. Согласно докладу, ZigBee на сегодня является одной из ключевых технологий, стимулирующих развитие концепции «интернет-вещей» (Internet of Things, IoT), которая предполагает объединение всех интеллектуальных устройств (начиная от простейших датчиков и заканчивая сложнейшими компьютерными системами) в общую сеть для сбора, передачи, анализа и распределения данных в глобальном масштабе. Данная концепция получила широкую поддержку

в Китае, где правительство выделяет на ее развитие средства из бюджета в размере около 20 млрд юаней. Для продвижения стандарта ZigBee и поддержки разрабатываемых на его базе проектов в Китае альянс ZigBee открыл офисы в Пекине и Усе, а также основал специальную рабочую группу ZigBee Special Interest Group — Greater China (SIG-GC).

Отдельно Боб Хил обсудил новый профиль приложения ZigBee Light Link, благодаря которому потребители получат множество преимуществ беспроводного управления освещением, с возможностью комбинировать в одной системе устройства от разных производителей. Разработку и утверждение этого стандарта возглавили лидирующие в отрасли освещения компании-эксперты, такие как GE, Greenwave Reality, OSRAM, Sylvania и Philips, а также ведущие производители микросхем ZigBee: Silicon Labs (Ember), NXP, TI, Atmel и STMicroelectronics. Кроме того, во время доклада Боб Хил сообщил о том, что в настоящее время полным ходом идет разработка расширения спецификации стандарта ZigBee PRO — ZigBee Green Power, которое обеспечит поддержку передачи и приема коротких ZigBee-пакетов, требующих минимальных затрат энергии. Такой подход позволит создавать полностью автономные беспроводные устройства, питающиеся от возобновляемых малоомощных источников энергии (механических, тепловых или электромагнитных).

Клаудио Бореан (Claudio Borean) из Telecom Italia выступил с докладом о структуре и принципах разработки приложений, использующих стандартные профили ZigBee. В самом начале своей презентации он представил наглядную общую схему, отображающую полный стек ZigBee для приложений, реализующих разные профили на базе соответствующих спецификаций — ZigBee RF4CE, ZigBee Pro и ZigBee IP (рис. 1). Схема позволяет легко сориентироваться, какие стандарты на разных уровнях стека устройство должно поддерживать, чтобы быть совместимым с тем или иным профилем приложения ZigBee. Базируясь на данной схеме,

	RF4CE		PRO						IPv6	
Application Profile	ZRC 1.x	ZID	ZLL	ZHA	ZBA	ZTS	ZRS	ZHC	ZSE 1.X	ZSE 2.0
Network	ZigBee RF4CE		ZigBee PRO						ZigBee IP	
MAC	IEEE 802.15.4-MAC									IEEE 802.15.4 (or Wi-Fi, or HomePlug)
PHY	IEEE 802.15.4-sub-GHz (specified per region)		IEEE 802.15.4-2.4 GHz (worldwide)						IEEE 802.15.4-2.4 GHz (or Wi-Fi, or HomePlug)	

### Legend

ZRC	ZigBee Remote Control	ZSE	ZigBee Smart Energy
ZID	ZigBee Input Devices	ZHA	ZigBee Home Automation
ZGP	ZigBee Green Power (optional)	ZBA	ZigBee Building Automation
ZigBee IP	Internet Protocol	ZTS	ZigBee Telecom Services
MAC	Media Access Control	ZRS	ZigBee Retail Services
PHY	Physical Layer	ZHC	ZigBee Health Care
RF4CE	RF for Consumer Electronics	ZLL	ZigBee Light Link

Рис. 1. Полный стек ZigBee для приложений, реализующих разные профили на базе спецификаций ZigBee RF4CE, ZigBee Pro и ZigBee IP

Клаудио перечислил и кратко описал основные возможности всех существующих и разрабатываемых профилей ZigBee.

### Безопасность

Защита передаваемых данных в сетях ZigBee осуществляется с помощью симметричных ключей шифрования с использованием алгоритма AES-128. Главным и обязательным является общий сетевой ключ Network Key, который используется всеми узлами сети при передаче данных по радиоканалу. С течением времени ключи необходимо обновлять, чтобы поддерживать высокий уровень секретности. Возникает вопрос: как часто и при каких событиях выполнять обновление? Этому вопросу был посвящен доклад Эндера Юксела (Ender Yuksel) из Технического Университета Дании. Эндер представил аудитории новые численные методы определения оптимальной стратегии обновления сетевых ключей для обеспечения максимального уровня безопасности с минимально возможными затратами по энергопотреблению.

### Совместимость и сертификация

Одной из основных задач альянса ZigBee является разработка стандартов, гарантирующих сетевую и прикладную совместимость устройств различных производителей между собой. Этой теме был посвящен доклад Саймона МакКарти (Simon McCarthy) из компании Silicon Labs. В презентации Саймон рассказал о функциях, выполняемых каждым уровнем стека ZigBee по обеспечению такой совместимости, выдвинул предложения по их усовершенствованию, обсудил возможность создания в рамках одного устройства « сетевого моста », объединяющего в одной сети узлы, работающие в разных частотных диапазонах ZigBee (868, 915 МГц

и 2,4 ГГц). Он также предложил варианты объединения сетей с различными профилями приложения, отличающимися сетевыми параметрами и политикой безопасности, — Home Automation (HA) и Smart Energy (SE), Home Automation (HA) и ZigBee Light Link (ZLL). В конце доклада Саймон сообщил о завершении разработки компанией Silicon Labs стека EmberZNet 4.6.7, который будет обеспечивать реализацию приложений, поддерживающих одновременно два профиля HA и SE в одном устройстве с использованием одного ZigBee-чипа. При этом в одной сети устройство будет выполнять роль роутера, а в другой — спящего узла, большую часть времени находящегося в режиме с пониженным энергопотреблением и просыпающегося только для приема или отправки сообщений.

Прежде чем продукция может быть заявлена ZigBee-совместимой и выпущена на рынок с логотипом ZigBee, она должна обязательно пройти сертификацию на соответствие технологии в специальных авторизованных альянсом ZigBee тестовых организациях. Точно так же при использовании стандартных профилей приложения ZigBee или частных профилей производителей продукция проходит соответствующее тестирование для получения права носить логотип профиля. Процедура сертификации, а также требования радиочастотных органов в Европе и США к устройствам ZigBee обсуждались в докладе Джонатана Харроса (Jonathan Harros), технического менеджера авторизованного тестового центра TRaC.

### Развертывание и ввод сетей ZigBee в эксплуатацию

Продуманная стратегия развертывания сети ZigBee гарантирует надежность ее работы

во время эксплуатации и удобство технического обслуживания. При разработке стратегии в первую очередь необходимо понять, какие аспекты инсталляции и обслуживания сети необходимо принять во внимание. Этим вопросам была посвящена презентация инженера из компании Texas Instruments Сайяш Джейн (Suayash Jain). В ней были подняты такие важные темы, как оптимальный выбор частотного канала (с учетом возможных помех и совместного использования эфира с другими радиочастотными устройствами); влияние различных факторов на дальность связи; инсталляция сети на объекте; выбор оптимальной политики безопасности; установление логических связей между устройствами; групповые сообщения; использование стандартного кластера ввода устройств ZigBee в эксплуатацию (Commissioning Cluster). Кроме того, было предложено несколько возможных моделей развертывания сети.

В этот же день с докладами выступили представители компаний Dresden Elektronik и Perytons — Майк Людвиг (Mike Ludwig) и Руби Элбёрт (Rubi Elbert). Они продемонстрировали возможности предлагаемого ими программного обеспечения для ПК, превращающего любой ZigBee-радиомодуль в универсальное средство для инсталляции и отладки сети. Людвиг представил платформу deCONZ, обеспечивающую полный доступ к сети ZigBee через один радиомодуль, подключенный к ней в качестве роутера. Используя стандартные ZigBee-команды, программа deCONZ позволяет исследовать настройки и возможности всех узлов сети, отображать поддерживаемые ими ZigBee-кластеры и атрибуты, устанавливать логические связи между устройствами и многое другое (рис. 2). Компания Perytons продемонстрировала анализатор трафика сетей ZigBee, который позволяет перехватывать, де-

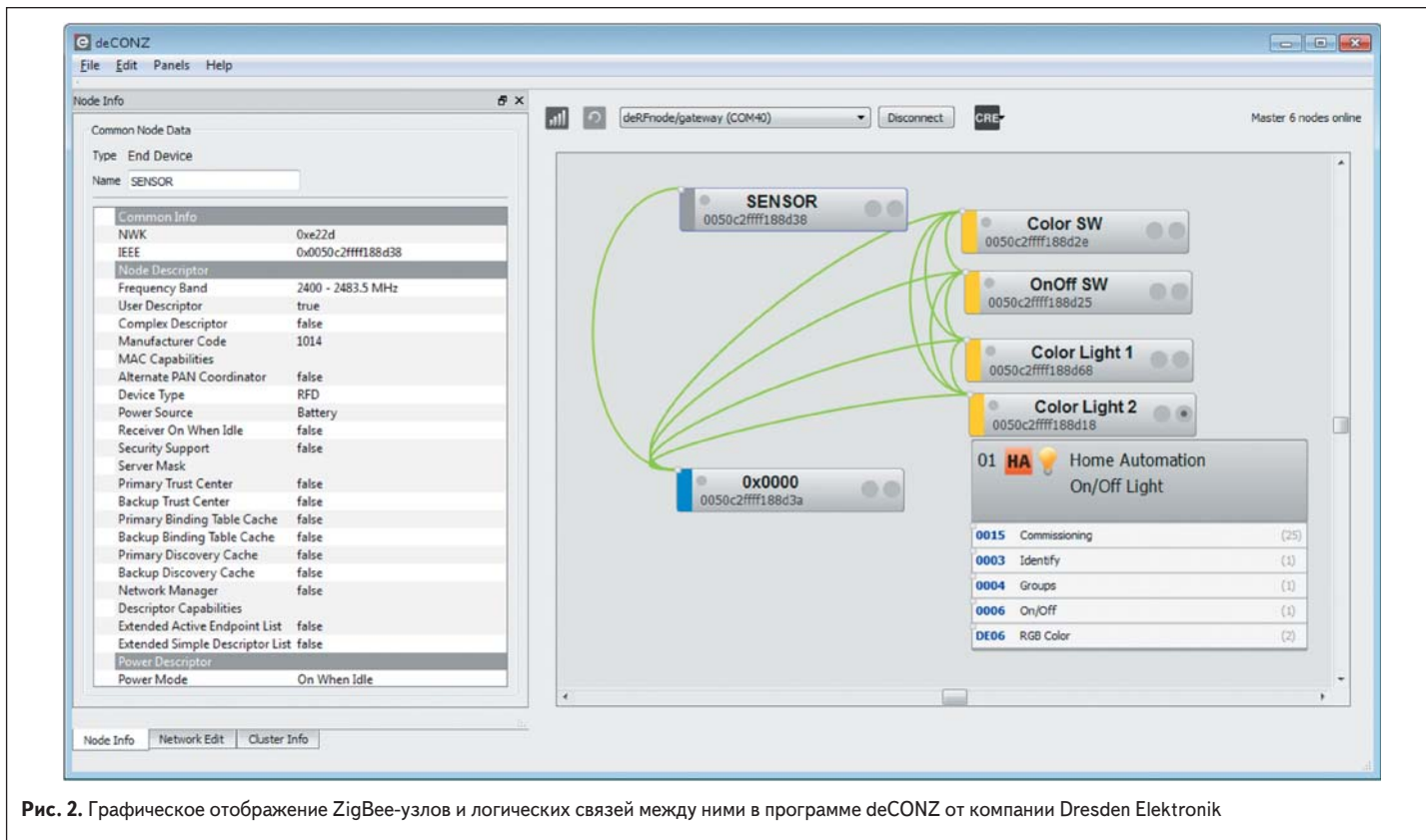


Рис. 2. Графическое отображение ZigBee-узлов и логических связей между ними в программе deCONZ от компании Dresden Elektronik

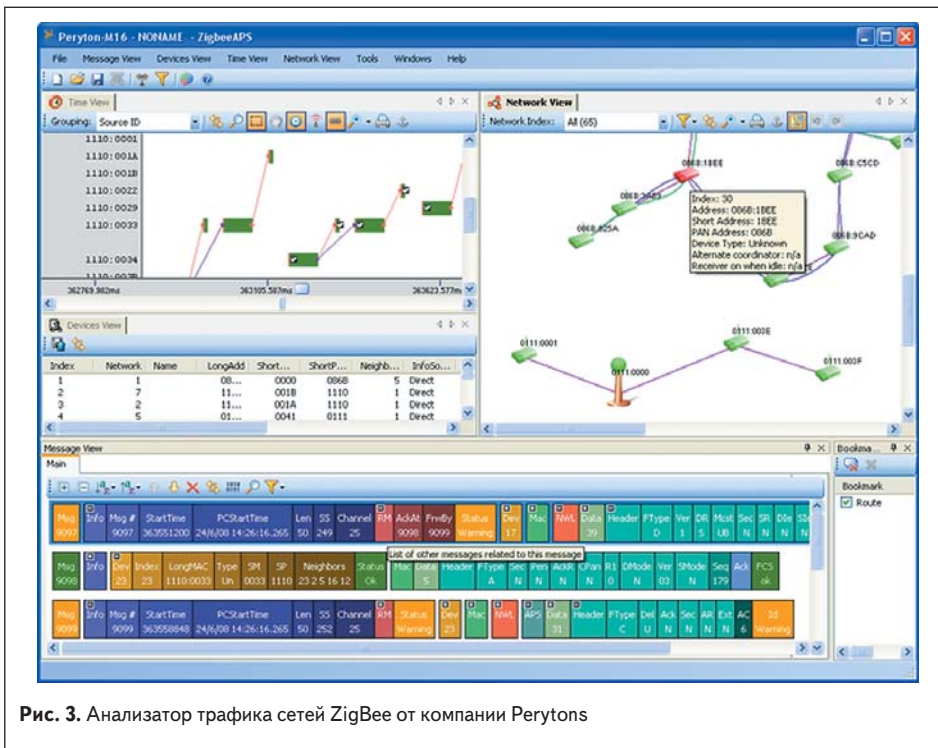


Рис. 3. Анализатор трафика сетей ZigBee от компании Perytons

кодировать и фильтровать передаваемые в сети пакеты, отображая их в удобном графическом виде (рис. 3). Программа также поддерживает генерацию тестовых ZigBee-сообщений, что позволяет имитировать трафик и наблюдать реакцию системы.

## Электропитание устройств ZigBee

Как правило, конечные устройства ZigBee, такие как датчики, выключатели и пульта управления, имеют автономное питание. В большинстве случаев источником питания для них служат аккумуляторные батареи, которые требуют регулярной замены и специальной утилизации (иначе будет нанесен вред окружающей среде). Эти проблемы можно решить с помощью получения энергии из возобновляемых источников — Energy Harvesting. Технология Energy Harvesting реализует процесс улавливания и преобразования энергии из внешних источников в ток для маломощных устройств. В число таких источников энергии входят тепловые процессы, солнечная энергия, а также колебания и кинетическая энергия движущихся объектов окружающей среды или элементов оборудования. Современные преобразователи Energy Harvesting обладают достаточно высоким КПД, что позволяет рассматривать их как альтернативу традиционным батарейным источникам в маломощных беспроводных устройствах ZigBee. Пожалуй, одними из самых перспективных типов преобразователей Energy Harvesting являются термоэлектрические генераторы. Им было посвящено выступление Бёрхарда Хаббе (Burkhard Habbe), вице-президента по развитию бизнеса немецкой компании Micropelt. В докладе были изложены физические принципы работы термоэлектрических преобразователей, показаны их возможности и варианты применения. Бёрхард представил предлагаемые компанией Micropelt

преобразователи TE-CORE и оценочный набор для них, демонстрирующий их способность обеспечивать питание беспроводного модуля ZigBee (рис. 4). Он также сравнил их энергетический потенциал при разных температурных условиях с потенциалом стандартных батарей разного типа, показав, что термогенераторы в определенных приложениях могут даже обойти по среднегодовой энергетической емкости аккумуляторные батареи.



Рис. 4. Оценочный набор, демонстрирующий возможность использования термоэлектрических преобразователей для питания ZigBee-радиомодулей

Использование альтернативных маломощных источников энергии, несомненно, предполагает высокую потребность в снижении энергопотребления питающихся от них беспроводных устройств. В связи с этой потребностью производители постоянно совершенствуют архитектуру своих ZigBee-решений. Одно из таких усовершенствований предложил профессор Марсель Мели (Marcel Meli) из швейцарского Института Встраиваемых Систем, выступивший на конференции с докладом по эффективности применения энергонезависимой памяти FRAM в микропотребляющих беспроводных приборах ZigBee. В докладе были изложены основные преимущества предлагаемого типа памяти по сравнению с традиционно используемыми

в ZigBee-решениях Flash и EEPROM: высокая скорость чтения/записи, неисчерпаемый ресурс циклов перезаписи, низкое энергопотребление. В презентации были представлены результаты экспериментов, которые показали, что использование FRAM позволяет существенно снизить среднее энергопотребление модулей ZigBee.

## Исследование дальности связи между узлами сети ZigBee

Максимально достижимое расстояние между двумя соседними узлами сети (один хоп), при котором сохраняется высокое качество связи, является важнейшим параметром при планировании любой беспроводной системы ZigBee. Известно, что проникающая способность радиоволн зависит от многих факторов: близость строительных конструкций (стены, заборы, решетки и т. п.), материалы, из которых эти конструкции выполнены (кирпич, бетон, железо и т. п.), наличие неподвижных/подвижных объектов различного происхождения (люди, машины, деревья и т. п.), источников радиочастотных помех и др. Существуют теоретические методы вычисления дальности связи, учитывающие большинство этих факторов, однако они достаточно трудоемки, и многие разработчики предпочитают полагаться на результаты реальных полевых испытаний. На конференции результатами своих опытов поделились специалисты Lund Science AB. Представитель компании Магнус Болмсьё (Magnus Bolmsjö) кратко изложил теоретические основы и привел эмпирические формулы, величины и коэффициенты для оценки потерь при прохождении радиоволн диапазона 2,4 ГГц в условиях открытого пространства и в помещении. Он также представил результаты испытаний на дальность связи между двумя ZigBee-приемопередатчиками в различных условиях использования и дал практические рекомендации по обеспечению надежной связи в сетях ZigBee.

## Заключение

В октябре этого года альянсу ZigBee исполнится 10 лет. С момента основания этой организации стандарт ZigBee постоянно развивался и совершенствовался, дополняясь новыми спецификациями, призванными обеспечить электронные устройства единым языком беспроводного обмена информацией, и на сегодня он окончательно укрепил за собой позицию общепризнанного ведущего мирового стандарта для построения надежных, самовосстанавливающихся беспроводных Mesh-сетей датчиков и исполнительных устройств. На базе него по всему миру реализовано и разрабатывается огромное количество проектов, в их число входят масштабные сети учета энергоресурсов, мониторинга транспорта, контроля состояния окружающей среды и др. в таких странах, как США, Великобритания, Китай и Россия.

ZigBee Developers' conference в этом году посетили более 150 человек из 21 страны мира, что свидетельствует о высокой значимости данного события и высоком интересе к технологии ZigBee. ■

По материалам 6th ZigBee Developers' conference ([www.zigbee-devcon-europe.de/presentations](http://www.zigbee-devcon-europe.de/presentations), [www.zigbee.org/LearnMore/IndustryEventPresentations/Industry\\_Presentation\\_2012\\_06\\_27.aspx](http://www.zigbee.org/LearnMore/IndustryEventPresentations/Industry_Presentation_2012_06_27.aspx))