

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., профессор Байкенов А.С.
(ученая степень, звание, ФИО)

_____ (подпись)

« _____ » _____ 2015 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: «Анализ эффективности взаимодействия беспроводных сенсорных сетей»

Магистрант: Есебаева М.Г.
(Ф.И.О.)


(подпись)

группа МРЭн -13-1

Руководитель: проф., PhD
(ученая степень, звание)


(подпись)


Чайко Е.В.
(Ф.И.О.)

Рецензент _____
(ученая степень, звание)

_____ (подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.т.н., ст.препод
(ученая степень, звание)


(подпись)

Ефремова Ю.И.
(Ф.И.О.)

Нормоконтроль: ст.препод
(ученая степень, звание)


(подпись)

Демидова Г.
(Ф.И.О.)

Алматы, 2015

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет: «Радиотехники и связи»

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Кафедра: «Телекоммуникационные системы»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистрантке Есебаевой М.Г.

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Анализ эффективности взаимодействия беспроводных сенсорных сетей»

утверждена Ученым советом университета №142 от «31» октября 2013 г.

Срок сдачи законченной диссертации «24» июня 2015 г.

Цель эксперимента состоит в проведении анализа эффективности взаимодействия беспроводных сенсорных сетей

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Рассмотрение вопроса управления назначения радиочастот
2. Разработка комплексного подхода по частотному планированию
3. Проведение анализа надежности каждой радиосистемы в отдельности, функционирующей в одном частотном диапазоне

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Рисунок 1.1 – Архитектура IEEE 802.15.4

Рисунок 1.3 – Обзор IEEE 802.15.4 PHY

Рисунок 1.11 - IEEE 802.11b/g и IEEE 802.15.4 каналы в диапазоне 2.4 GHz ISM

Рисунок 3.1 – Окно программы OPNET

Рисунок 3.2 – R1: 802.15.4 и 802.11 b/g

Рисунок 3.3 – Пропускная способность стандарта IEEE 802.15.4 узлов до и после стандарта IEEE 802.11 b

Рекомендуемая основная литература

1 A. Koubaa, M. Alves, and E. Tovar. IEEE 802.15.4 for Wireless Sensor Networks: A Technical Overview // Tech. Rep. HURRAYTR-050702, IPP-HURRAY! GROUP, POLYTECHNIC INSTITUTE OF PORTO (ISEP-IPP), PORTUGAL, July 2005. - p. 80

2 В. McGuigan. What is ZigBee? [Электронный ресурс, 2003]
<http://www.wisegeek.com/what-is-zigbee.htm>.

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Анализ стандартов беспроводных сенсорных сетей	11.10.2014	
2. Выбор технологии для беспроводной сенсорной сети	19.11.2014	
3. Исследование отношения сигнал/шум различных технологий, влияющих на качество взаимосвязи узлов беспроводной сенсорной сети	02.12.2014	
4. Анализ влияния помех радиозлектронных средств на беспроводные устройства беспроводной сенсорной сети	15.02.2015	
5. Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	20.04.2015	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Байкенов А.С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Чайко Е.В.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (Есебаева М.Г.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Анатпа

Бул магистрлік диссертацияда сымсыз датчик желілердің іс-қимылының тиімділігі талданды. Жұмыстың техникалық бөлігінде сымсыз датчик желілік стандарттары IEEE 802.11b / г және IEEE802.15.4 қарастырылды. Жұмыстың тәжірибелік бөлігінде сымсыз датчик желілік стандартты IEEE 802.11b / г және IEEE802.15.4 модельдеу интерфейсінің жүзеге асырыланады. Жұмыстың талдау бөлігінде 2,4 ГГц лицензияланбаған жиілігіндегі стандарттарын біріктіру шарттары талданды.

Аннотация

В данной магистерской диссертации выполнен анализ эффективности взаимодействия беспроводных сенсорных сетей. В технической части работы рассматриваются беспроводные сенсорные сети стандартов IEEE 802.11b/g и IEEE802.15.4. В экспериментальной части работы проведено моделирование сопряжения беспроводных сенсорных сетей стандарта IEEE 802.11b/g и IEEE802.15.4. В аналитической части работы произведен анализ условий совмещения стандартов в нелицензионном диапазоне частот 2,4 ГГц.

Abstract

In this master thesis the analysis of the interaction efficiency of wireless sensor networks. In the technical part of the paper discusses wireless sensor network standards IEEE 802.11 b/g and IEEE802.15.4 . In the experimental part of the work carried out the simulation of pairing wireless sensor networks IEEE 802.11 b/g and IEEE802.15.4. In the analytical part of the paper the analysis of the combination of scanditron in the unlicensed 2.4 GHz frequency band.

Содержание

Введение.....	34
1 Обзор протоколов IEEE 802.15.4 and ZigBee	13
1.1 IEEE 802.15.4	13
1.2 ZigBee	17
1.3 Состояние проблемы	20
1.4 Сосуществование деятельности в области стандартизации.....	24
Выводы к первой главе	34
2 Модель взаимодействия.....	35
2.1 Основные понятия и терминология	35
2.2 IEEE 802.11 стандарта b/g и IEEE 802.15.	36
Стандарт IEEE 802.11 b/g	36
Стандарт IEEE 802.15.4	38
2.3 Анализ пропускной способности сетей 802.15.4 в R1.	48
Выводы ко второй главе	51
3 Экспериментальная часть.....	51
Выводы к третьей главе	54
Заключение	55
Перечень сокращений.....	56
Список литературы	58
Приложение А Модель сосуществования в R1.....	60
Приложение Б Окно программы OPNET	60
Приложение В Электронная версия магистерской работы и демонстрационный материал (CD-R).....	61
Приложение Г Раздаточный материал ().	63

Введение

В последние десятилетия технологии обработки информации были разработаны достаточно хорошо на высоком уровне. Наиболее распространенной формой обработки информации происходит на больших универсальных вычислительных устройствах, начиная от старомодных мэйнфреймов на современные ноутбуки.

Во многих приложениях, таких как приложения Office, эти вычислительные устройства используются в основном для обработки информации, ее ядро сосредоточено вокруг системы человек-пользователь, но это в лучшем случае косвенно связанные с физической средой процедуры.

В другом классе приложений физическая среда находится в фокусе внимания.

Основной упор делается на контроль физических процессов, например, при контроле химических процессов на заводе для выбора правильной температуры и давления.

Существует необходимость увязать несколько сервисов в одной сети, где много разных устройств будут собирать, и обрабатывать информацию от многих различных источников и контролировать физические процессы и взаимодействовать с пользователем.

Для реализации данной цели одним из важнейших аспектов необходимым в дополнение к вычислению и управлению является правильно спроектированная беспроводная сенсорная сеть.

Все эти источники информации должны быть в состоянии передавать информацию в любой точке локализации беспроводной сенсорной сети.

Последние технологии позволяют выполнять развертывание небольших, недорогих, маломощных, распределенных датчиков, которые способны локально обрабатывать и передавать информацию.

Каждый сенсорный узел способен выполнить обработку только ограниченного объема. Но при согласовании с большим числом других узлов, они могут принимать или контролировать физические параметры в данной среде в большем объеме.

Таким образом, сенсорная сеть может быть описана как совокупность сенсорных узлов, которые координируют для выполнения некоторых специфических задач.

Ранее, сенсорные сети состояли из небольшого числа сенсорных узлов которые были подключены к центральной процессорной станции. Но на сегодняшний момент, ситуация изменилась и сенсорные сети приобрели крупные масштабы.

Это происходит потому, что установка подключения датчиков стоит дорого (до \$200 для одного датчика дополнительно к стоимости датчика), в частности, существует большое количество устройств, которые можно себе представить в нашей среде; подключение является актуальной проблемой проблемы.

Следовательно, устройства беспроводной сенсорной сети для обеспечения соединения между различными устройствами во многих сценариях приложений, должны соответствовать требованиям.

Для удовлетворения этим требованиям, появился новый класс сетей, так называемых беспроводных сенсорных сетей (WSNs).

В дополнение к беспроводному обмену данными, так же желательно для беспроводной сенсорной сети возможность распределенного зондирования.

Это необходимо потому, что, когда неизвестно точное расположение конкретного узла, распределенное зондирование позволяет размещать датчики ближе к зоне измерений.

Также, во многих случаях, нескольких распределенных узлов датчиков необходимо для устойчивой передачи данных.

Еще одним требованием является, сохранение энергии в беспроводной сенсорной сети, так как передача и прием является одним из основных потребителей энергии.

Закон Мура распределяется на энергопотребление микропроцессоров $mW/MIPS$ с уменьшением в десять раз каждые пять лет, а в беспроводных сенсорных сетях отсутствует подобная тенденция.

Например, подсчитано, что почти 80% энергии потребляемая портативными компьютерами уходит на взаимодействие между ними.

Централизованная сеть датчиков означает, что некоторым датчикам необходимо будет общаться на дальние расстояния, приводя к еще большему истощению энергии.

Следовательно, было бы хорошо перерабатывать локально как можно больше информации для того, чтобы свести к минимуму общее число битов, переданных.

Кроме того, соединение не может быть надежным, особенно в присутствии помех.

Поэтому, обработка информации локально может также уменьшить ненадежность связи и, следовательно, сделать сенсорную сети более устойчивой к помехам.

Сенсорные сети сейчас поставляются множеством производителей, что привело к появлению разнообразных стандартов, не обеспечивающих взаимодействия между оборудованием различных производителей.

Семейство стандартов IEEE 802.15.4, регламентируют физический и канальный уровни для организации беспроводных сенсорных сетей, но к сожалению неопределенны сетевой и прикладной уровни.

IP сети осуществляет передачу IPv6 пакетов поверх каналов IEEE 802.15.4 посредством открытого стандарта и предоставляющим взаимодействием с другими IP каналами и устройствами в той же мере, как и с устройствами IEEE 802.15.4.

Стандартизация протоколов взаимодействия в сенсорных сетях требует проведения классификации приложений по типу создаваемой нагрузки. Важной особенностью беспроводных сенсорных сетей является самоорганизующаяся природа таких сетей.

Сгруппированные сенсорные узлы организуют сенсорную сеть и через один или несколько шлюзов могут передавать данные для последующей обработки, например, в сети связи общего пользования.

Наличие соединений между сенсорными сетями и сетями связи общего пользования требует проведения расчета параметров данных шлюзов, для чего необходимо исследовать природу нагрузки, циркулирующей в беспроводных сенсорных сетях.

Передача пакетов данных, является важным элементом беспроводных сенсорных систем и модели нагрузки играют большую роль для оценки их эффективности.

Целью магистерской работы, является анализ эффективности взаимодействия беспроводных сенсорных сетей.

Сначала рассмотрим стандарты IEEE 802.15.4 и ZigBee, как наиболее широко используемые протоколы для беспроводных сенсорных сетей (WSN). Необходимо решить следующие задачи:

Поставленная цель достигается за счет решения следующих основных задач:

- анализ архитектур, приложений и протоколов различных беспроводных сенсорных сетей;
- имитационное моделирование типовых сценариев обслуживания нагрузки в моделях беспроводных сенсорных сетей.

1 Обзор протоколов IEEE 802.15.4 and ZigBee

Как IEEE 802.15.4 так и ZigBee являются наиболее широко используемыми протоколами беспроводных сенсорных сетей (WSNs).

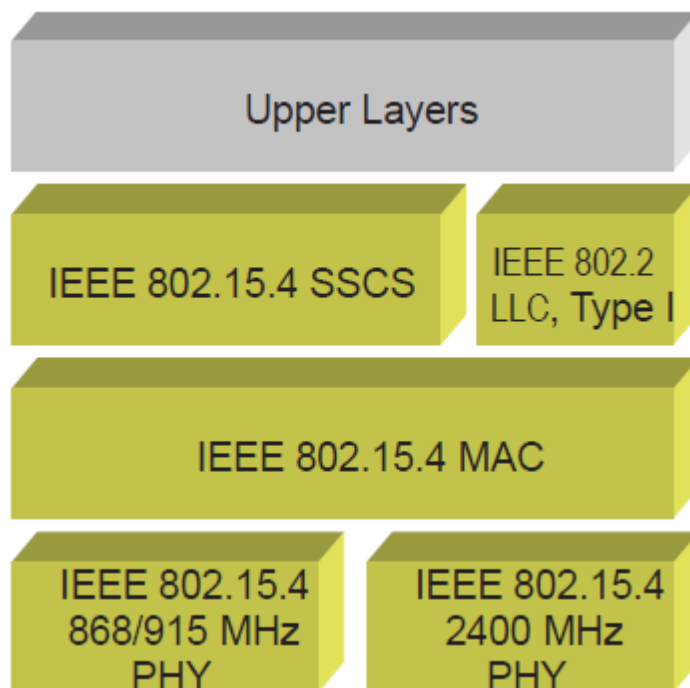


Рисунок 1.1 – Архитектура IEEE 802.15.4

1.1 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 протокол [1] определяет Управление доступом к среде (Mac) подуровень и физический уровень (PHY) для беспроводных персональных Вычислительных сетей (LR-WPANs) (смотри рисунок 1.1).

Заметим, что хотя этот стандарт не был разработан специально для WSNs, он широко используется для WSNs и может быть построен на основании LR-WPANs.

По сути, протокол IEEE 802.15.4 является протоколом с низкой скоростью передачи данных, низкой потребляемой мощностью и низкой стоимостью беспроводных сетей, который подходит к требованиям WSNs [2].

Как показано на рисунке 1.2 и таблице 1.1, цель стандарта IEEE 802.15.4 не конкурировать с другими технологиями беспроводных сетей, но дополнять ассортимент доступных беспроводных технологий в спектре скоростей передачи данных, энергопотреблении и стоимости.

Хотя возможно для некоторых приложений, стандарт IEEE 802.15.4 был не разработан для перекрытия их области применения с другими стандартами беспроводных сетей.

РНУ уровень

РНУ уровень обеспечивает услугу передачи данных, а также интерфейс физического уровня управляющей организации, которая предлагает доступ к каждому уровню управленческих функций и поддерживает базу данных информации по смежным персональным сетям.

Таким образом, физический уровень управляет физическим RF приемопередатчиком и выполняет выбор каналов и энергии и функциями сигнала управления. Как показано на рисунке 1.3, стандарт IEEE 802.15.4 РНУ предлагает три полосы рабочих частот:

- 868,0-868,6 МГц: Европа, разрешен один канал коммуникации;
- 902-928 МГц: Северная Америка, до десяти каналов [3], расширенная до тридцати [4];
- 2400-2483,5 МГц: используется во всем мире, до шестнадцати каналов.

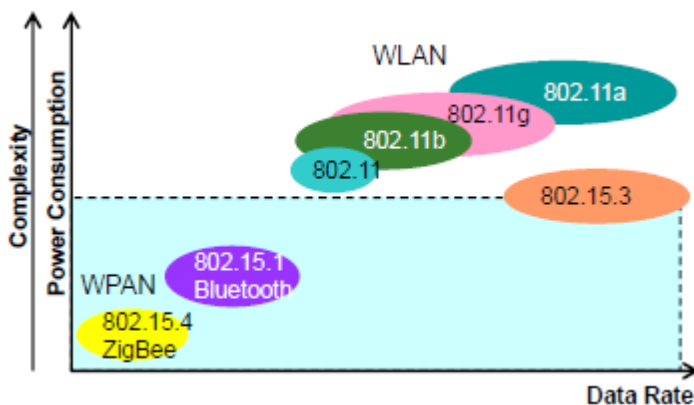


Рисунок 1.2 – Область действия стандартов WLAN и WPAN

Таблица 1.1 – Сравнение IEEE802.15.4 с другими беспроводными технологиями

Стандарты	IEEE 802.11b	Bluetooth	IEEE 802.15.4
Потребляемая мощность	100 м	10 - 100 м	10 м
Скорость данных	2 - 11 Мб/с	1 Мб/с	<=0,25 Мб/с
Потребление энергии	Среднее	Низкое	Ультра низкое
Величина	Большой	Меньше	Еще меньше
Стоимость и степень сложности	Высокая	Средняя	Очень низкая

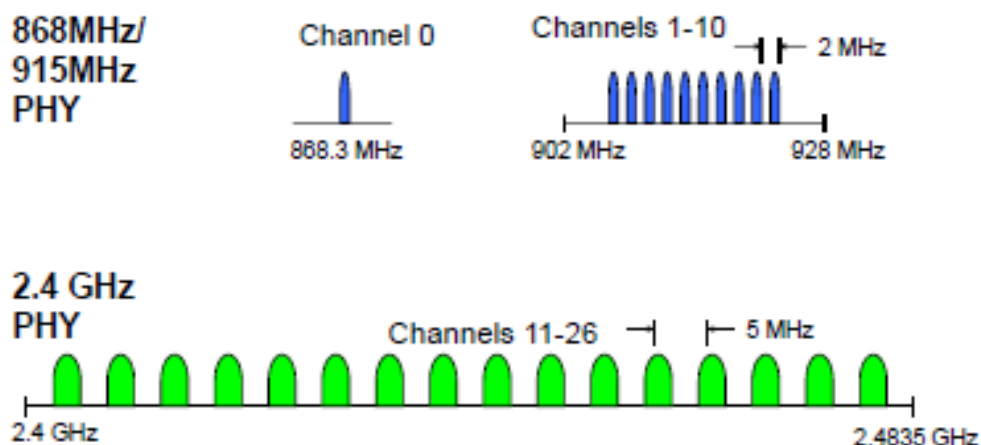


Рисунок 1.3 – Обзор IEEE 802.15.4 PHY

Оригинальная версия 2003 стандарта [3] определяет два физических уровня на основе технологии прямой последовательности расширения спектра (DSSS). Один работает на 868/915 МГц со скоростью передачи данных в 20 и 40 Кбит/с, и один в 2450 МГц со скоростью 250 Кбит/с.

В 2006 году пересмотрен [4] и улучшена максимальная скорость передачи данных с 868/915 МГц полосы, доводя их до поддержки 100 и 250 Кбит/с, а также, более того, она идет на определение четырех физических уровней в зависимости от метода модуляции.

Три из них сохранили широкополосную модуляцию с прямым расширением 868/915 МГц, используя либо бинарные или смещенную квадратурную фазовую манипуляцию; 2450 МГц использовалась позже. Разрешено динамическое переключение между поддерживаемыми частотами 868/915 МГц в PHY.

MAC подуровень

MAC-подуровень IEEE 802.15.4 протокола обеспечивает интерфейс между физическим уровнем и протоколов высокого уровня LR-WPANs. MAC подуровень протокола IEEE 802.15.4 имеет много общих черт со стандартом IEEE 802.11 протокола, такие как использование называемой CSMA/CA как механизм доступа к каналам.

Однако, спецификация стандарта IEEE 802.15.4 MAC подуровня адаптирована к требованиям LR-WPANs путем ограничения RTS/CTS (Запрос на отправку / Готовность к приему) механизма, используемого в IEEE 802.11.

MAC протокол поддерживает два режима работы следующим образом [2]:

- маяк-включен: маяки периодически генерируемых координаторов для синхронизации подключенных устройств. Маяк кадр (первый) является частью суперфрейма, который также включает все фреймы данных обмениваемых между устройствами и PAN-координатор. Синхронизированные устройства с

координатором и фреймом передач могут только начинаться во время начала временных интервалов;

- маяк-не включен: в этом режиме устройства могут просто послать их фреймы с помощью unslotted называемой CSMA/CA.

Здесь не используется структура суперфрейма в этом режиме. На рисунке 1.4 представлена структура стандарта IEEE 802.15.4 эксплуатационных режимах

В этой работе, мы ориентируемся только на популярный режим маяк не включен и unslotted называемой CSMA /CA.

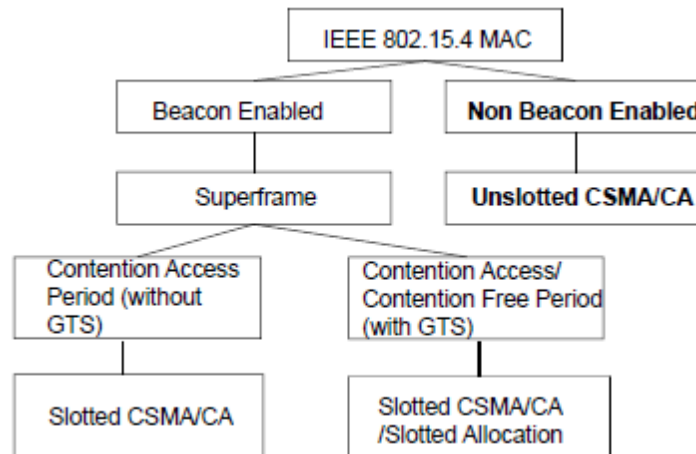


Рисунок 1.4 – Режимы IEEE 802.15.4

Типы устройств

Стандарт IEEE 802.15.4 сетей поддержки два разных типа устройств: устройство с полными функциями (FFDs) и устройство с ограниченными функциями (RFDs). FFD является устройством которое может поддерживать три режима работы, выступающей в качестве:

- персональная сеть (PAN) координатор: главный контроллер PAN. Это устройство определяет свою собственную сеть, к которым другие устройства могут быть связаны;

- координатор: обеспечивает синхронизацию услуг путем передачи маяков. Такой координатор должен быть связан в PAN координатор и не создать собственную сеть;

- простое устройство: устройство, которое не реализует функциональные возможности предыдущего.

RFD – это устройство, работающее с минимальными реализация IEEE 802.15.4 протокола. RFD предназначен для приложений, которые являются чрезвычайно простые, такие как выключатель света или пассивный инфракрасный датчик; они не имеют необходимость передавать большие объемы данных и могут связать только с одним IEEE на время.

Стандарт IEEE 802.15.4 сети должен включать по крайней мере один FFD действующий как PAN координатор, который обеспечивает глобальную синхронизацию услуг сети и управляет потенциалом FFDs и RFDs.

1.2 ZigBee

ZigBee это набор спецификаций, построенных на верхней части стандарта IEEE 802.15.4 версии 2003 [3] и добавляя сети, безопасности и службы приложений, как изображено на рисунке 1.5. Название “Стек” происходит от неустойчивой структуры впустую много пчел сделать между цветами, при сборе пыльцы. Это воспоминания невидимой паутиной связей, существующих в полностью беспроводной среде [5].

Сам по себе стандарт регламентируется как альянс ZigBee, с более чем 150 членов по всему миру, в том числе Philips. Миссия Альянса ZigBee является предоставление надежности, эффективной стоимости, низкое питание, беспроводная сеть, мониторинг и контроль продукции основываясь на мировых стандартах, и целью этого является предоставление потребителям гибкости, мобильности и простоты сети.

Типы устройств

Существуют три различных типа устройств ZigBee:

- координатор ZigBee (ZC) – наиболее ответственное устройство, координатор формирует древа сети и может связываться с другими сетями. Есть точно один координатор ZigBee и в каждой сети, поскольку он является устройством, которое было в сети изначально. Он способен хранить информацию о сети, в том числе действующей в качестве целевого центра хранилища для ключей безопасности. ZC-это FFD;

- маршрутизатор ZigBee (ZR): как запуск приложения функции маршрутизатора может выступать в качестве промежуточного маршрутизатора, передавая данные с других устройств. ZR тоже FFD;

- конечное устройство ZigBee (ZED): содержит функционал поговорить с материнским узлом (или координатором, или с маршрутизатором), он не может передавать данные от других устройств. Эта связь позволяет узлу спать значительное количество времени, тем самым давая длительное время автономной работы.

ZED требует минимальное количество памяти, и поэтому может быть менее дорогие в производстве, чем ZR или ZC. ZED – это RFD.

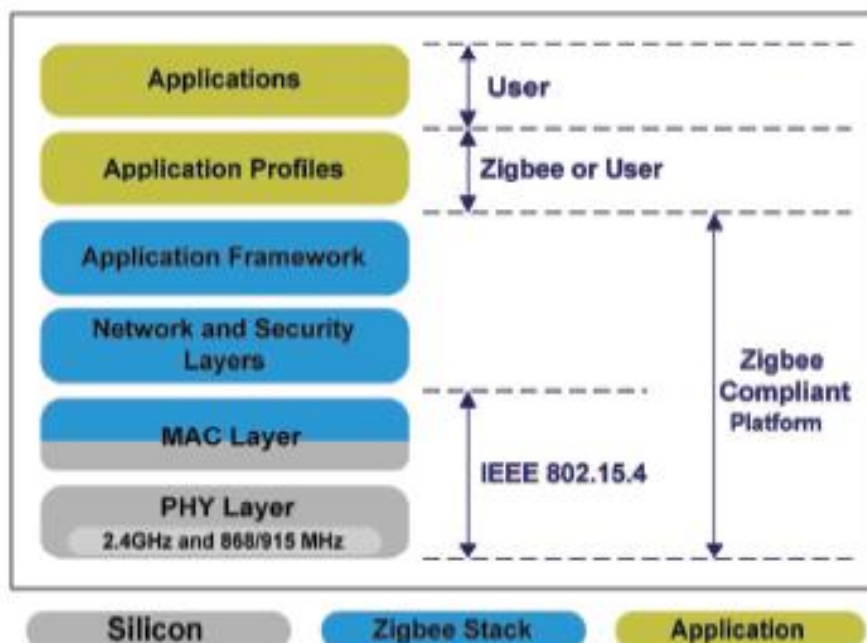
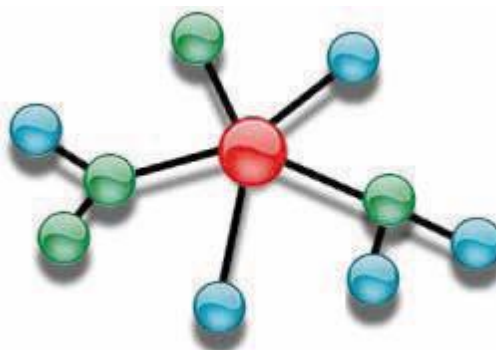


Рисунок 1.5 – Стэк протокола ZigBee

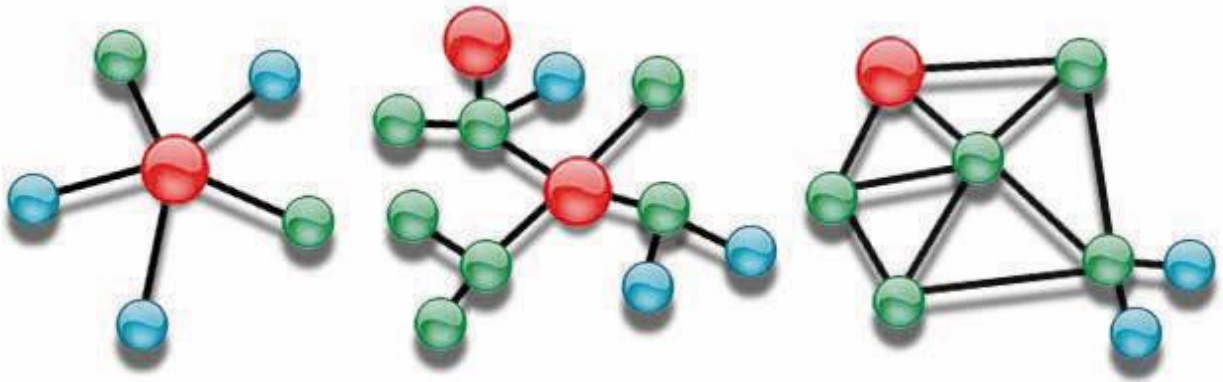
Топологии сети

В топологии сети расположены различные типы устройств рисунок 1.6. ZigBee поддерживает три различные топологии сети: звезда, сетка и кластера дерево (также называется звездой-сетка гибрид), как показано на рисунке 1.7.

Кластер древовидной топологии является менее эффективным в смысле связи между устройствами, чем в двух других, и поэтому редко (если вообще) реализован.



1 – координатор, 2 – маршрутизатор,
3 – мобильное устройство
Рисунок 1.6 – Типы устройств сети ZigBee



а – звезда, б – кластерное дерево, в – Mesh

Рисунок 1.7 – Топологии сети ZigBee

В топологии "звезда", также называемый сетки топологии, которая также называется одноранговой, состоит из сетки взаимосвязанных маршрутизаторов и конечных устройств. Каждый маршрутизатор обычно подключается по крайней мере два пути, и может передавать сообщения своим соседям.

В топологии Mesh поддерживает "мульти-хоп" коммуникации, через который данные прошли, прыгая от устройства к устройству с использованием самых надежных коммуникаций ссылок и наиболее рентабельный путь до места назначения.

Мульти-хоп помогает обеспечить отказоустойчивость, в том, что если одно устройство сбой или опытом помех в сети может перенаправить себя, используя оставшиеся устройств.

Эта топология является весьма надежной и прочной. Должен любой индивидуальный маршрутизатор становится недоступным, альтернативных маршрутов может быть обнаружено и используются.

Кроме того, применение промежуточных устройств с передачей данных означает, что ассортимент сети может быть значительно увеличена, делая эту топологию высокой масштабируемости.

С другой стороны, однако, эта топология имеет высшее коммуникаций накладные расходы, чем топология звезда, которая может привести увеличение задержки и нижнего конца в конец производительности.

Кроме того, Mesh маршрутизация требует более сложных сетевых протоколов.

Это означает, что маршрутизаторы требуют более встроенных ресурсов, что может привести к повышенному энергопотреблению и затраты. Точка-точка, все устройства находятся в пределах прямой дальность связи для координатора, через который все сообщения маршрутизируются.

Устройство посылает сообщение координатору, который затем передает его на целевое устройство.

Прямая связь между конечными устройствами не поддерживается. Преимуществом топологии типа "звезда" является его простота поскольку он не требует сложного сетевого уровня или протокола маршрутизации, и его высокая производительность.

Области применения приложений

Применение профилей являются соглашением [6]:

- набор сети и политик безопасности для обеспечения взаимодействия при обеспечении надлежащего контроля;

- определение конкретных типов устройств, связанных с применением (использование элементов из библиотеки функций или создание новых в случае необходимости);

- определение серий сообщений и атрибутов для устройства.

Разработанный конечным пользователям, поставщикам оборудования, поставщикам услуг помощь из стека поставщиков, профили определяют, каким образом использовать базовый стек особенности.

ZigBee нацелен на широкий диапазон применения профилей в том числе дома управления, промышленного управления, потребительской электроники, ПК и периферийных устройств, энергетических управления, автоматизации зданий, телекоммуникационные услуги, личные здравоохранения, и т. д., описанные на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Профили приложений [6]

1.3 Состояние проблемы

Как отмечалось ранее, стандарт IEEE 802.15.4/ZigBee в основном работает в 2,4 ГГц ISM диапазоне. В дополнение к IEEE 802.15.4/ZigBee, есть много других систем, таких как IEEE 802.11 b/g беспроводной локальной сети

(Беспроводных локальных сетей (WLAN) и Bluetooth, радиотелефоны и даже микроволновые печи, используя же полосы, как показано на рисунке. 1.9).

Это происходит потому, что полоса диапазона 2,4 ГГц ISM не подлежит лицензированию и развертыванию практически по всему миру. Однако, по мере роста популярности этих систем, в частности сетей WLAN и WPANs, увеличивается, 2,4 ГГц ISM группа становится все более насыщенной, что приводит к деградации системы QoS (Качество Сервис).

Поэтому важно исследовать сосуществование среди этих разных систем.

В соответствии с IEEE 802.15.2 [3], “сосуществование” определяется, как способность одной системы выполнять задачи в заданной общей среде, где другие системы имеют возможность выполнять свои задачи и могут или не могут использовать тот же набор правил.

Цель данной работы заключается в рассмотрении вопроса возможности сосуществования среди различных систем, т. е., используя другой набор правил, и в 2,4 ГГц нелицензированный частотный диапазон. Сосуществование беспроводных локальных сетей стандарта IEEE стандарта 802.11 b и Bluetooth сетей хорошо изучено.



Рисунок 1.9 – Сосуществование в полосе 2,4 ГГц ISM

В документе Haartsen и Zurbes [7] исследовали влияние 802.11 b сети на производительность Bluetooth. Подход, используемый в [Haa99] основывался на сочетании аналитических и Монте-Карло для конкретной конфигурации сети. В [8], влияние интерфейса Bluetooth, 802.11 b был изучен и закрытом виде аналитической модели была взята для оценки результативности. Этот подход был проиллюстрирован путем изучения сосуществования между 802.11 b и Bluetooth в типичных эксплуатационных диапазонах для сетевого трафика и радиочастотной среды. Аналогичный подход был использован для оценки влияния стандарта IEEE 802.11 b на Bluetooth как сообщили в [9]. Кроме того, Канти и его соавторы произвели аналитическую методологию оценки характеристик связи Bluetooth его влияния на стандарт IEEE802.11b, и наоборот, в Рэлеевском канале с замираниями с аддитивным белым Гауссовским шумом. (AWGN).

Ввиду важности сосуществования Bluetooth и IEEE 802.11 устройств, оба Bluetooth специальные группы по интересам (SIG) и IEEE 802 рабочая группа, активно изучают методы для улучшения сосуществования.

Специально для того, чтобы рассмотреть предложения для механизмов повышения уровня сосуществования между Bluetooth и IEEE 802.11 устройств была создана целевая группа стандарт IEEE 802.15.2.

По сравнению с количеством работ о сосуществовании беспроводных локальных сетей стандарта IEEE стандарта 802.11 b и Bluetooth сетей, меньше исследований было сделано на сосуществование стандартом IEEE 802.11 b/g WLAN и стандарта IEEE 802.15.4/zigbee с WSNs, что является цель данной работы. Стандарт IEEE 802.15.4/zigbee на базе WSNs, имеет очень низкую мощность передачи, является более уязвимым для радиопомех, создаваемых другими системами, имеющими намного большую мощность. Например, Ким и соавторы [Kim05], показали, что 802.11 вмешательство может вызвать серьезное снижение производительности в сетях 802.15.4.

Возможно плохое сосуществования 802.15.4/zigbee с WSNs, т.к. наличие помех может привести к неприемлемым для пользователей если помехи не устраняются в достаточной степени. Например, когда пользователь нажимает кнопку удаленного контроллера, используя 802.15.4/zigbee протокол может не последовать ответ в пределах допустимой задержкой или может даже не реагировать на все если контроль команды в 802.15.4/zigbee и пакеты испытывают серьезные потери из-за сильных WLAN помех.

Такое сосуществование может быть более серьезно для масштабных мульти-хот 802.15.4/zigbee на базе управления освещением сети, которая обычно охватывает несколько этажей здания. Это происходит потому, что:

- канал свободный от помех сети WLAN может не быть последовательно доступные для целой сети zigbee;

- большое количество скачков может сделать сквозную доставку пакетов. Соотношение недопустимо мало в присутствии помех;

- потеря zigbee контроля сообщений, например, сообщение изменить рабочий канал может запретить сети zigbee от операций жестко.

Как следствие, управление освещением сеть может не реагировать своевременно для пользователя команды. Кроме того, часть сети может не быть доступным, и пользователь может потерять контроль над частью сети и связанные с ним осветительные приборы. Поэтому проблема сосуществования между WSNs и других систем, а в более общем плане совместного использования спектра среди различных нескоординированных систем в нелицензированных диапазонах является серьезной проблемой, который должен быть решен правильно.

По сути, существует три способа разделения спектра: эксклюзивный доступ, вертикальный обмен и горизонтальный обмен.

Эксклюзивный доступ означает, что только конкретный пользователь может получить доступ к спектру. Типичная система, которая использует монопольный доступ это системы сотовой связи. Несмотря на свой огромный успех, эта модель часто приводит к неэффективности использования спектра в терминах спектральной эффективности [10]. Исследование [11] проведенные в городе Нью-Йорке показал, что в среднем только 13% из возможного спектра был использован.

Это обусловлено двумя основными причинами:

Во-первых, в спектр остается неиспользуемым в течение времени, что лицензированные время простоя систем.

Во-вторых, спектр может быть перегружен в одной области, будучи неиспользуемым в другой из-за низкой пространственной плотности радио устройств.

Аналогично, измерение занятости спектра кампании, проведенной в городе Чикаго [12] подтверждает тот факт, что существует значительное объем неиспользуемой полосы спектра (т. е., белый спектральных полос). Как результат, в течение последнего десятилетия и мотивировано возрастающими требованиями для более высоких скоростей передачи данных и быстрый рост количества сетей, работающих на нелицензируемых диапазонах, таких как IEEE 802.11 беспроводных локальных сетей миграции из статического для гибкого и динамического распределения частот возникла как новая парадигма для более эффективного распределения ресурсов.

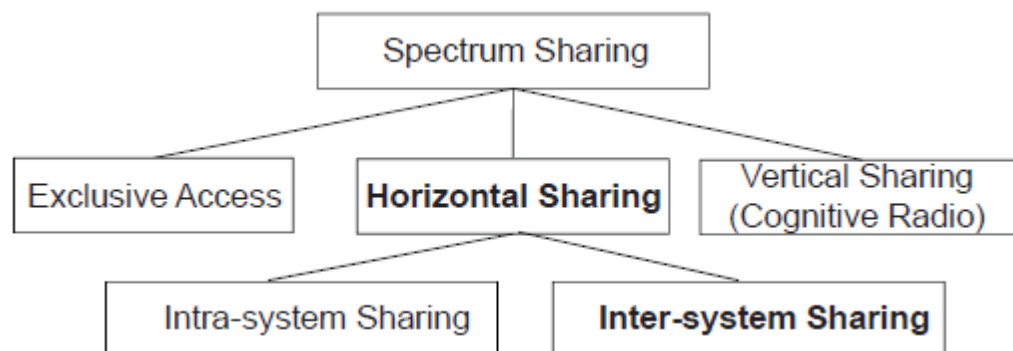


Рисунок 1.10 – Классификация методов совместного использования спектра

В [13] Kruys впервые предложена концепция вертикального обмена и горизонтально совместного использования. Вертикальный обмен означает, что системы могут иметь различные уровни административно-правового статуса (например, новички, которые вынуждены жить вместе со старожилами), т. е. основной потребитель платит деньги (первичного) доступа к спектру, а вторичный пользователь может заимствовать спектр, только если он не создаёт “вредные” помехи для основного пользователя.

Обратите внимание, что, когда один переговоры о когнитивном радио, обычно означает вертикальный обмен.

В отличие от горизонтального обмена, все системы имеют один и тот же регуляторный статус и может доступ спектрума в равных условиях.

В случае горизонтального обмена, полезно также отличить “интра-системы” общего доступа между системами, которые реализована с использованием той же технологии или технологии семье, например, стандарта 802.11 b устройств), и “Интер-системы” распределения (между технически различные системы, например, 802.11 WLAN и 802.15.4 WSNs).

Технические стандарты и координация между стандартами для облегчения эффективного общего использования спектра является необходимыми, но не достаточными. Они устраняют внутрисистемные разделения, но не межсистемный обмен [14].

В этой работе, мы ориентируемся на Интер-систему горизонтального обмена – стандарт IEEE 802.15.4/ZigBee с WSNs сосуществования с другими системами в нелицензионном частотном диапазоне ISM 2.4 ГГц.

На рисунке 1.10 приведены классификация/таксономия спектра совместного использования методов, описанных выше.

1.4 Сосуществование деятельности в области стандартизации

Опасения по поводу сосуществования различных беспроводных систем, работающих в нелицензируемых диапазонах частот, привела к некоторой

стандартизации деятельности. Стандарт IEEE 802.15.2 [3] решает проблему сосуществования беспроводных персональных сетей (WPAN) с другими беспроводными устройствами, работающими в нелицензируемых частотных диапазонах, таких как беспроводные локальные сети (WLAN). В приложении стандарта IEEE 802.15.4 [IEE06], описаны несколько механизмов, повышающих существование для IEEE 802.15.4 устройств с другими беспроводными устройствами, работающими в промышленных, научных и медицинских (ISM) диапазонах.

IEEE 802.15.2

Стандарт IEEE 802.15.1-2002 [15] имеет стандарт производный от беспроводной персональной сети, основанный на спецификации Bluetooth версии v1.1. Она включает в себя медиа контроль доступа и спецификацию физического уровня.

Поскольку оба стандарта IEEE 802.15.1 и IEEE 802.11 b определяют операции в той же 2,4 ГГц нелицензированной полосе частот, нет взаимных помех между двумя беспроводными системами, это может привести к серьезному снижению производительности.

Для решения вопроса сосуществования между IEEE 802.15.1 устройствами и устройствами стандарт IEEE 802.11 b, сосуществование нескольких механизмов описаны в IEEE 802.15.2 стандарте.

Механизмы взаимного существования сетей делятся на два класса совместные и не совместные.

Совместное сосуществование механизма может использоваться, когда существует связь между сетями WLAN. Это лучше всего реализуется, когда обе сети WLAN и WPAN-устройства встраиваются в ту же часть оборудования (например, стандарта IEEE 802.11 b на карте и IEEE 802.15.1 встроенные модуль в тот же портативный компьютер).

Не предназначенный для совместного сосуществования механизм не требует никакой связи между WLAN WPAN. Эти механизмы сосуществования применимы только после создания WLAN или WPAN и отправки пользовательских данных. Сосуществование этих механизмов не поможет в процессе создания беспроводной локальной сети или WPAN.

Оба вида механизмов сосуществования предназначены для уменьшения помех возникающих в результате эксплуатации устройств стандарта IEEE 802.15.1 в наличии частоты статических или медленно перестраивающихся устройств WLAN.

Стоит обратить внимание, что помехи из-за наличия нескольких IEEE 802.15.1 устройств уменьшаются за счет скачкообразной перестройки частоты.

Все механизмы совместного сосуществования, описанные в IEEE стандарте 802.15.2 предназначены для использования, когда, по меньшей мере,

одна WLAN станция WPAN-устройство совмещены в пределах одного физического узла.

Когда используются вместе, необходимо наличие канала связи между WLAN и WPAN устройствами в пределах этого физического узла, который может быть проводным соединением между этими устройствами или интегрированным решением.

Не предназначенные для совместного сосуществования механизмы предназначены для использования при отсутствии связи между WLAN и WPAN.

Совместное сосуществование механизмов

Три механизма совместного сосуществования, определенных в IEEE 802.15.2 состоят из двух подуровней MAC и физического уровня PHY. Оба подуровня MAC включают скоординированное планирование пакетной передачи между двух беспроводных (WLAN WPAN) сетей. На физическом уровне находится программируемый режекторный фильтр в приемнике стандарта IEEE 802.11 b для пропускания помех узкополосного сигнала стандарта IEEE 802.15.1.

Эти совместные механизмы могут быть использованы отдельно или в сочетании с другим, чтобы обеспечить лучшее сосуществование механизма.

Совместное сосуществование механизмов обеспечивает сосуществование WLAN (в частности, стандарт IEEE 802.11 b) и WPAN (в частности, стандарт IEEE 802.15.1) посредством совместного использования информации между стандарта IEEE 802.11 b и IEEE 802.15.1 радио локально контролируя передачу, чтобы избежать помех. Эти механизмы они совместимы со старыми устройствами, которые не включают эти функции.

Есть два режима работы, и режим выбирается в зависимости от сетевой топологии и поддержки трафика.

В первом режиме оба стандарта IEEE 802.15.1 синхронный с установлением соединения (SCO) и асинхронный без установления соединения (ACL) трафик поддерживаются, где SCO трафику отдается больший приоритет чем ACL трафику в планировании. Второй режим основан на временном разделении множественного доступа и используется, когда есть ACL для трафика в высокой пикосети в густонаселенных районах. В режиме с временным разделением множественного доступа (TDMA) стандарт IEEE 802.11 b Маяк-интервал широковещательного идентификатора сети подразделяется на два под интервала: один под интервал для IEEE 802.11 b и другой под интервал для IEEE 802.15.1.

Поскольку у каждого радио есть свой подинтервал, как радио будет работать должным образом, в связи с полной ортогональностью. Этот метод требует дополнительной функции ограничить, когда стандарт IEEE 802.15.1 мастер передает. Режим, который будет использоваться, выбран под командованием точки доступа (AP) программное обеспечение для управления.

Частота обнуления может быть использован в сочетании с эти режимы для дальнейшего позволяет снизить уровень помех.

Оба альтернативных беспроводных достуов к среде (AWMA) и packet traffic arbitration (PTA) могут быть объединены, чтобы произвести более благоприятное сосуществование механизма.

Рекомендуется, когда это возможно, или необходимо, чтобы разместить сети WLAN устройство и WPAN-устройства в пределах одного физического узла (например, портативный компьютер), либо AWMA механизм совместного сосуществования или использования механизма совместного сосуществования PTA.

Если используется механизм PTA рекомендуется, чтобы использовался механизм подавления детерминированных помех совместно с сочетанием из двух механизмов приводящих к увеличению сосуществования сети WLAN/WPAN.

При наличии высокой плотности физических, включающий как сети WLAN и WPAN-устройства в месте общего пользования (больше или равно трех единиц в кругу радиусом 10 метров) и WPAN SCO связь (голосовая связь) – это не используется, то рекомендуется, что AWMA механизм будет использоваться. Если плотность узлов, включающих как WLAN и WPAN устройства является низкой (менее трех единиц кругом радиусом 10 метров), или используется связь WPAN SCO, то рекомендуется PTA использоваться механизм в согласии с механизма подавление детерминированной помехи.

Не предназначенные для совместного сосуществования механизмы

Стандарт IEEE 802.15.2 описывает несколько методов, которые повышают производительность сетей стандартов IEEE 802.15.1 и IEEE 802.11 за счет использования устройства адаптивного интерференционного подавления стандарта IEEE 802.11 b, адаптивный выбор пакетов, и планирования пакетов для ACL соединений.

Эти методы не требуют сотрудничества между устройствами стандарта IEEE 802.11 и IEEE 802.15.1 устройствами. Следовательно, они принадлежат к общей категории механизмов не предназначенные для совместного сосуществования. Два других метода, т. е. планирования пакетов для SCO соединений и адаптивной скачкообразной перестройки частоты (AFH) для стандарта IEEE 802.15.1 устройств, приводятся в качестве информация в приложении А и приложении В стандарта IEEE 802.15.2. Ключевая идея адаптивного выбора пакетов и методов планирования для условий адаптации процесса передачи данных по каналу. Например, если в канале преобладают помехи от стандарта IEEE 802.11 b сеть, в основном из-за столкновений между IEEE 802.15.1 и IEEE 802.11 систем, вместо битовых ошибок, обусловленных шумом.

Типы пакетов не включают прямого исправления ошибок (FEC) защита может обеспечить лучшую пропускную способность при сочетании с интеллектуальным планированием пакетов. Основанием для эффективности этих типов методов, чтобы быть в состоянии выяснить условия текущего канала точно и своевременно. Канал оценки может быть осуществлен различными способами: уровень приема сигнала (RSSI), проверка ошибки заголовка (HEC) декодирования профиля, коэффициента битовых ошибок (BER) и PER профиль, и грамотного сочетания всех вышеперечисленных. Есть пять отличных совместных механизмов, описанных в IEEE 802.15.2. По крайней мере два из них имеют общую функцию называемую классификацией канала. Три механизма подпадают под второй пункт в следующем списке:

- адаптивное подавление помех. Механизм, основанный исключительно на обработке сигнала на физическом уровне сети;

- адаптивный пакет выбора и планирования. Стандарт IEEE 802.15.1 использует различные типы пакетов с различными конфигурациями, такие как длина пакета и степень защиты от ошибок;

Выбирая лучшей тип пакета, смотря на условия канала предстоящего частотного скачка, может быть получена лучшая пропускная способность и производительность сети. Кроме того, путем тщательного планирования передачи пакетов, так что стандарт IEEE 802.15.1 устройства передачи во время скачков, которые находятся за пределами сеть WLAN частот и воздерживаться от передачи, пока в полосе, помех для систем WLAN можно было бы избежать/минимизировать и на то же время увеличить пропускную способность систем стандарта IEEE 802.15.1.

- адаптивной скачкообразной перестройкой частоты (AFH). Стандарт IEEE 802.15.1 систем частоты более 79 каналов (в США) при номинальной ставке 1600 скачков в секунду в состоянии подключения, и 3200 скачков в секунду в выявляя каналы с помехами, можно изменить последовательность скачков, таких, что эти каналы с помехами (“плохой” канал) удастся избежать. От типа трафика и состояния каналов, последовательность раздела генерируется в качестве входного сигнала на частоту ре-картографа, который изменяет скачкообразную перестройку частоты, чтобы избежать или минимизировать эффекты помехи.

Если нет возможности, или необходимости, разместить в сети WLAN и WPAN устройства в пределах одного и того же физического узла, то есть не предназначенный для совместного сосуществования механизм может быть практически единственным методом. Есть возможный диапазон ограничения, при котором не предназначенные для совместного механизма могут оказаться недостаточными.

Например, когда стандарт IEEE 802.11 b и IEEE 802.15.1 стандарт эксплуатируются в 30 сантиметрах друг от друга, у стандарта IEEE 802.15.1

сигнал будет значительно выше порога обнаружения беспроводной локальной сети, даже когда вне диапазона; таким образом, несоблюдение схемы сотрудничества, опираясь на оценки канала и проверить интерференцию компонентов будет не в силах предотвратить вмешательство в эти короткие диапазон ситуаций.

Несовместных механизмов считается диапазон от адаптивной меняющейся скачками частоты для планирования пакетов и управления трафиком.

Все они используют похожие методики на выявление наличия других устройств в группы, такие как измерение пакета или кадра прерывания, процент ошибок, уровень сигнала или сигнал помеха (часто реализуются как RSSI).

Например, каждое устройство может поддерживать использование рамки погрешности измерения скорости частоты.

FN устройства могут затем определить, какие частоты заняты другими пользователями, группы и таким образом изменить их шаблон скачкообразной перестройки частоты. Они могут даже выбрать не передавать на определенной частоте, если частота определяется как занятая.

Подуровень MAC рассматривает возможность заключения правил и использовать разнообразные длины пакетов стандарта IEEE 802.15.1, чтобы избежать перекрытия по частоте между IEEE 802.11 и IEEE 802.15.1.

Другими словами, стандарт IEEE 802.15.1 умеет использовать длину пакета соответствующей продолжительности (1,3 или 5 слотов) для того, чтобы пропустить так называемые “плохие” частоты.

Рекомендуется использовать AFH, когда соответствующие изменения в стандарт IEEE 802.15.1 скачкообразной перестройки последовательности были реализованы.

Кроме того, рекомендуется вмешательство в планировании пакетов и реализации механизмов управления движением. Эти механизмы могут быть реализованы либо по отдельности, либо в сочетании с другими схемами, такими как AWMA, PTA, или AFH для дополнительного улучшения производительности.

Рекомендуется адаптивное подавление помех использоваться со всеми из вышеупомянутых механизмов, поскольку он работает на физическом уровне; он также может быть использован сам по себе.

Рекомендуется использовать фильтр подавления адаптивной помехи при наличии помех стандарта IEEE 802.15.1 чтобы улучшить производительность и задержки трафика стандарта IEEE 802.11.

В частности, выгода от использования этого механизма в чувствительности к задержкам трафика, таким как потоковое медиа.

Сосуществования в IEEE 802.15.4

Пока не требуется стандартом IEEE 802.15.4 [6], IEEE 802.15.4 устройства в какой то степени сосуществуют с другими беспроводными устройствами.

В приложении стандарта IEEE 802.15.4 описаны несколько механизмов для улучшения сосуществования с другими беспроводными устройствами, работающими в 2.4 ГГц.

Эти механизмы включают:

- CCA;
- динамический выбор канала;
- модуляция;
- ED и LQI;
- низкая скважность;
- низкая мощность передачи;
- канал выравнивания.

Кратко опишем эти механизмы.

Чистый канал оценки (CCA)

Стандарт IEEE 802.15.4 PHY обеспечивает возможность выполнения CCA в его CSMA-CA(несущей с множественным доступом с предотвращением столкновения). В PHY требуют, по крайней мере, одного из следующих трех методов CCA:

ED (Энергетическое Обнаружение) выше определенного порога, обнаружение сигнала с IEEE 802.15.4 характеристики, или комбинация этих методов. Использование ED опция улучшает сосуществования, позволяя отсрочки передачи, если канал занимают любое устройство, не зависимо от протокола связи. Однако, как будет видно далее, в сроки, используемые в 802.15.4 CCA механизм гораздо длиннее, чем у стандарта 802.11 b/g, который влияет 802.15.4 устройств в невыгодное положение в конкуренции с каналом доступа 802.11 b/g устройств.

Динамический выбор канала

При выполнении динамического выбора канала, либо при инициализации сети или в ответ на отключения электроэнергии, с интерфейсом IEEE 802.15.4 устройство просканирует набор каналов указанного ChannelList параметр. Для 2.4 ГГц стандарта IEEE 802.15.4, которые установлены в районах, как известно, имеют высокий стандарт IEEE 802.11 b, в ChannelList параметр может быть определен как выше комплекты в целях повышения сосуществования сетей. Тем не менее, это не редкость, что некоторые новые (неизвестные) высокого стандарта IEEE802.11 b появляются рядом с зоной устоявшегося стандарта IEEE 802.15.4 сети. И когда стандарт IEEE 802.11 b происходит на канале, не определенными в ChannelList, это может привести к проблеме сосуществования, которую механизмом динамического выбора канала не в состоянии решить.

Модуляция

В IEEE 802.15.4, 2,4 ГГц PHY использует схему квази-ортогональной модуляции, где каждый символ представлен одним из последовательности 16 почти ортогональных псевдо-случайного шума (PN). Это метод эффективной мощности модуляции, которым достигается низкое отношение сигнал-шум (SNR) и соотношение сигнал-интерференция (SIR) требования за счет полосы пропускания сигнала это значительно больше, чем скорость передачи.

Обычный недорогой детектор реализация запланирована встреча 1% частоты появления ошибок пакетов (PER) требуемого SNR значения 5 дБ до 6 дБ.

Относительно широкополосные помехи, такие как IEEE 802.11 b, то будет появляться как белый шум для стандарта IEEE 802.15.4 приемник. Детектор производительность в этот случай похожа на шум, но в целом SIR требование 9дБ до 10 дБ ниже, поскольку только часть стандарта IEEE 802.11 b- входит мощность сигнала в стандарт IEEE 802.15.4 полоса пропускания приемника.

Использование стандарта PN-последовательности для представления каждого символа в этом стандарте предлагает DSSS (спектр прямой последовательности распространения) качества обработки IEEE 802.15.4 стандарта.

Например, эта обработка помогает снизить воздействие IEEE 802.15.1 [15] источника помех, чья 20 дБ полоса пропускания составляет примерно 50% меньше, чем полоса пропускания IEEE 802.15.4.

Требование SNR 5 дБ до 6 дБ для 1% PER шум, эквивалентный SIR требование IEEE 802.15.1 сигнала по центру полосы пропускания в IEEE 802.15.4 приемника составляет всего 2 дБ.

В плане помех другим, стандарт IEEE 802.15.4 появляется в качестве широкополосных помех с IEEE 802.15.1, и лишь небольшая часть (~ 50%) стандарта IEEE 802.15.4 мощности сигнала попадает в стандарт IEEE 802.15.1 приемник полосы пропускания. Кроме того, из-за соотношения полосы пропускания и частоты используются в IEEE 802.15.1 и IEEE 802.15.4 трансмиссий будут мешать примерно 3 из 79 скачков, или примерно 4%. Для стандарта IEEE приемник стандарта 802.11 b, IEEE 802.15.4 выглядит как узкополосный источник помех, и выигрыш обработки, полученный от методов расширения спектра в IEEE 802.11 b поможет уменьшить воздействие IEEE 802.15.4 источнике помех.

Хотя схему модуляции стандарта IEEE 802.15.4 могут усилить свое вмешательство надежности путем уменьшения столкновения убытков, причиненных в результате столкновения пакетов, он не может избавиться от столкновения потери полностью в случае очень сильного взаимодействия.

Кроме того, схема модуляции не может помочь уменьшить любые потери, которые возникают при ожидании IEEE 802.15.4 пакет отбрасывается, если попытки доступа в канал превышают максимальное количество backoffs такой алгоритм системы CSMA-CA будет пытаться, прежде чем объявлять канал доступа недостаточности.

ED и LQI

Стандарт IEEE 802.15.4 PHY включают в себя две измерительные функции, которые указывают уровень помех в пределах стандарта IEEE 802.15.4 канала. Получатель ED (энергетическое обнаружение) измерения представляет собой оценку принимаемого сигнала, в рамках стандарта IEEE 802.15.4 канала и предназначен для использования в качестве части канала алгоритма выбора на сетевом уровне. В LQI (индикатор качества канала) мера полученного уровня энергии и/или отношение сигнал-шум для каждого полученного пакета.

Когда энергетический уровень и SNR данные объединяются, они могут говорить о том, что пакет поврежден в результате низкого уровня сигнала или высокого уровня сигнала плюс помехи.

Низкая скважность

Спецификации стандарта IEEE 802.15.4 для применения с низкой мощностью и низкой скорости передачи данных (до 250 Кбит/с и до 20кб/с). Типичные области применения для IEEE 802.15.4 устройств, как ожидается, запуск с низким рабочих циклов (под 1%). Это позволит устройствам IEEE 802.15. меньше создавать помехи другим стандартам.

Низкая мощность передачи

Хотя эксплуатация в диапазоне 2,4 ГГц раздел 15.247 Федеральной Комиссии по коммуникациям США (FCC) код федерального регистра (CFR) 47 [FCC] правила разрешают передачу мощностью до 1 Вт, IEEE 802.15.4 устройства скорее всего будут работать с гораздо более низким уровнем мощности передачи.

Ключевой показатель стандарта IEEE 802.15.4 является стоимость, и достижение более 10 дБм мощности передачи в недорогой система на чипе, в то время как, это осуществимо, будет экономически невыгодно.

Кроме того, европейским нормам (европейские Телекоммуникации Институт стандартов (ETSI) EN 300 328 [ETSa] и [ETsb]) для внеполосного выбросы затрудняют передачу выше 10 дБм без дополнительных, дорогостоящих фильтров.

Эти факторы ограничивают распространение устройств с большей, чем 10 дБм мощностью передачи для нескольких специализированных приложений.

В низу, физического уровня (PHY) стандарта IEEE 802.15.4 определяет, что устройства должны быть способу с хотя бы -3 дБм мощность передачи. На этом уровне фактической передача представляет собой малую долю общей

мощности, потребляемой передатчиком, так что есть небольшое преимущество в плане экономии энергии для работы в этом уровне. Однако, стандарт IEEE 802.15.4 обеспечивает поддержку операционных с более низкой передаваемой мощности, когда это возможно, чтобы минимизировать помехи. Таким образом, большинство устройств стандарта IEEE 802.15.4 обязаны действовать передавать полномочия между -3 дБм и 10 дБм, 0 дБм, что является нормой. Стандарт IEEE 802.11 b устройства функционируют под эгидой раздела 15.247 по FCC CFR 47 [FCC], где передатчика разрешена до 1 Вт мощности; однако, большинство устройств на рынке сегодня работают по передачи полномочий между 12 и 18 дБм.

Стандарт IEEE 802.15.3 устройства работают в соответствии с разделом 15.249 по FCC CFR47, что ограничивает мощность передачи до 8 дБм (эквивалентная изотропно излучаемая мощность (EIRP)).

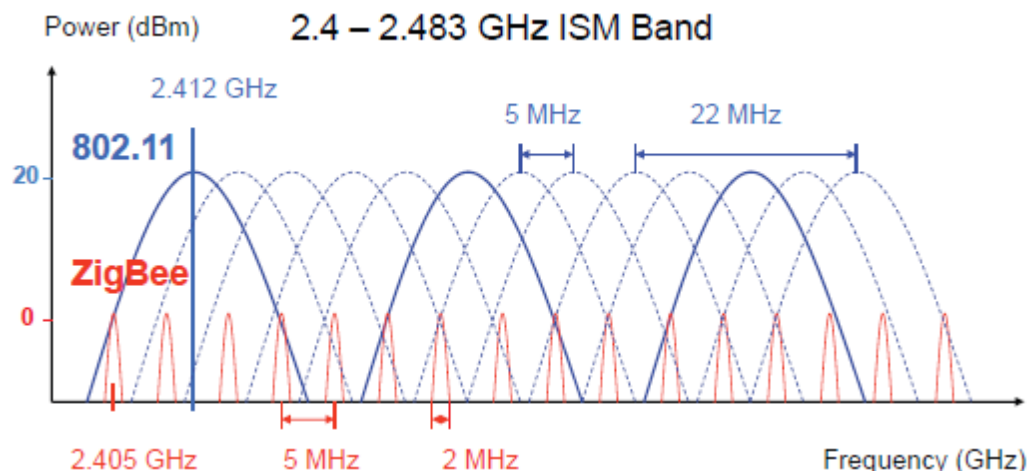


Рисунок 1.11 – IEEE 802.11b/g и IEEE 802.15.4 каналы в диапазоне 2.4 GHz ISM [16]

В EIRP измерения для стандарта IEEE 802.15.3 физического уровня включает в себя коэффициент усиления антенны; следовательно, на 1 дБ увеличить усиление антенны требует 1 дБ снижение в излучаемой мощности. В отличие от аппаратов, работающих под раздел 15,247 по FCC CFR47 допускаются до 6 дБ коэффициент усиления антенны без изменения, чтобы передать мощность.

Предполагая умеренный коэффициент усиления антенны (~0 дби) для типичных реализаций, обсуждение в этом разделе предполагает, что номинально передатчик стандарта IEEE 802.15.4 будет функционировать около 8 дБ меньше, чем стандарт IEEE 802.15.3 передатчик и около 12 дБ до 18 дБ меньше, чем обычный стандарт IEEE 802.11 b в реализации.

Канал выравнивания

Выравнивание между IEEE 802.11 b (в неперекрывающихся наборах) и IEEE 802.15.4 2,4 ГГц каналов показан на рисунке 1.11. Существует четыре стандарта IEEE 802.15.4 каналов, которые попадают в полосы между (или выше) три стандарта IEEE 802.11 b-канала ($n = 15, 20, 25, 26$ для Северной Америки; $n = 15, 16, 21, 22$ в Европе). Пока энергия в этой части пространства не будет ноль, он будет ниже, чем энергия в каналах; и операционной стандарта IEEE 802.15.4 сети на одном из этих каналов минимизируют помехи между системами. На практике, однако, нет никакой гарантии, что стандарта IEEE 802.11 b сеть и стандарта IEEE 802.15.4 сети всегда работают на неперекрывающихся каналы. Таким образом, возникает проблема сосуществования. В общем, из описания выше, мы можем узнать, что сосуществование вопрос был учтен в стандарт IEEE 802.15.4.

Однако, как показано далее, благодаря своей низкой мощности передачи и дольше времени использовали в своих США механизмах, стандарт IEEE 802.15.4 устройства часто в слабой позиции, когда они сосуществуют с устройствами, использующими другие стандарты как и стандарт IEEE 802.11 b/g.

Кроме того, как IEEE 802.15.4 WSNs и IEEE 802.11 b/g беспроводные локальные сети все больше и больше популярным, сосуществование проблема становится все более критична. Таким образом, стандарт сосуществования как стандарта IEEE 802.15.2 должны быть сделан.

Мотивации исследования, цели и сфера применения

Как рассмотрено ранее, вопрос сосуществования между IEEE 802.15.4/ZigBee WSNs и других систем обмена нелицензированных частот получили все большее внимание и интерес, в академических кругах и промышленных научных сообществах. Целями данной магистерской работы является изучение вопроса сосуществования IEEE 802.15.4/zigbee с WSNs и других систем в нелицензионной 2,4 ГГц ISM полосе частот, и предложить экономически эффективные методы увеличения сосуществования IEEE 802.15.4/Zigbee с WSNs. Среди различных систем обмена в диапазоне 2,4 ГГц ISM полоса частот стандарта IEEE 802.15.4/ZigBee WSNs, стандарта IEEE 802.11 b/g WLAN беспроводных локальных сетей наиболее широко развернуты. Поэтому, в данной работе мы сосредоточены на сосуществовании стандарта IEEE 802.15.4/zigbee с WSNs и IEEE 802.11 b/g WLAN.

Выводы к первой главе

В данной главе рассмотрены обзор протоколов IEEE 802.15.4 and ZigBee. Рассмотрены PHY уровень и режимы работы MAC подуровня. Произведено сравнение IEEE802.15.4 с другими беспроводными технологиями. Выяснили, что возможно плохое сосуществования 802.15.4/zigbee с WSNs, т.к. наличие помех

может привести к неприемлемым для пользователей если помехи не устраняются в достаточной степени.

К тому же выяснилось, что существует значительный объем неиспользуемой полосы спектра (т. е., белый спектральных полос). Как результат, в течение последнего десятилетия происходит мотивировано возрастающие требованиями для более высоких скоростей передачи данных и быстрого роста количества сетей, работающих на нелицензируемых диапазонах, таких как IEEE 802.11 беспроводных локальных сетей миграции из статического для гибкого и динамического распределения частот, тем самым возникла как новая парадигма для более эффективного распределения ресурсов.

2 Модель взаимодействия

Эта глава организована следующим образом. Во-первых, раздел 2.1 определяет некоторые основные понятия и терминологию, используемые в данной магистерской диссертации. Затем, раздел 2.2 дает обзор проблемы сосуществования между IEEE 802.15.4/zigbee с WSNs и стандарт IEEE 802.11 b/g WLAN беспроводных локальных сетей. Сопутствующие работы рассматриваются в разделе 2.3. В стандартах IEEE 802.11 b, IEEE 802.11 g и IEEE 802.15.4 рассматриваются MAC-подуровни. Далее, в разделе 2.5 представлена модель сосуществования в различных сценариях. Далее, в разделе 2.6 дается анализ модели сосуществования, и результаты моделирования приведены в разделе 2.7. Выводы представлены в разделе 2.8.

2.1 Основные понятия и терминология

В этом разделе мы определимся с понятиями и терминологией, используемой в разделе списка сокращений магистерской диссертации.

Сосуществование

Стандарт IEEE 802.15.2 [3] определяет сосуществование как: “способность одной системы выполнить задачу в заданной общей среде, где другие системы есть способность выполнять свои задачи и могут или не могут использовать один и тот же набор правил.”

В магистерской диссертации, однако, в основном мы рассматриваем сосуществование систем, используя различные наборы правил. Это потому что, с одной стороны, мы ориентируемся на сосуществование между IEEE 802.15.4 и WSNs другие системы обмена же нелицензионного 2,4 ГГц ISM полосы частот, т. е., “Интер-системы” совместного использования спектра (см. рис. 1.12), а с другой стороны, сосуществование между системами, основанными на одинаковом наборе правил, например, стандарт IEEE 802.11 использует алгоритм который соответствует избеганию столкновения (т. е., слушай, прежде чем говорить).

Сосуществование производительности

Результатами функционирования системы с точки зрения пропускной способности, потери пакетов коэффициента передачи задержек.

Возможность сосуществования

Способность одной системы выполнять задачи в присутствии помех, вызванных другими системами обмена в том же частотном диапазоне.

Область сосуществования

Область, в которой с одной системой, которая сосуществует с другими системами обмен. Частотный диапазон экспонатов характерным сосуществование.

Система может находиться в одном из трех состояний сосуществования, т.е. системы и других систем есть взаимное влияние, в одну сторону влияния или не влияния между каждой другие 2.2 стандарта 802.11 b/g и 802.15.4 проблема сосуществования

Обзор стандарта IEEE 802.11 b и IEEE 802.11 g для беспроводных локальных сетей, вероятно, наиболее широко распространенным беспроводные системы. Как маломощные и недорогие технологии, стандарта IEEE 802.15.4 1 есть установления его места на рынке в качестве стимулятора для формирующейся беспроводных сенсорных сетей (WSNs) [16]. Благодаря поддержке бесплатные м. Как и стандарт IEEE 802.11 b и IEEE 802.11 G для беспроводных локальных сетей стандарта IEEE 802.15.4 WSNs также используйте частоту 2,4 ГГц ISM полоса, как показано на рис. 1.9. Как мы видим, нет ни одного канала стандарта IEEE 802.15.4, который гарантированно не распространяются протоколом IEEE 802.11 b/g каналы, если они не скоординированы должным образом, как это на самом деле. Кроме того, на рис. 1.11 показано также, что передавать полномочия по стандарту IEEE стандарт 802.11 b/g и IEEE 802.15.4 значительно отличаются. Действительно, передавать мощность стандартом IEEE 802.15.4 обычно как минимум 1 МВт [6], а стандарт IEEE 802.11 b/g обычно 100 мВт [7]. Как они совместно используют один частотный диапазон и часто collocated с каждой другие, их сосуществование было изучено во многих научных мероприятиях, как описано в следующем разделе.

2.2 IEEE 802.11 стандарта b/g и IEEE 802.15

Стандарт IEEE 802.11 b/g

Как упоминалось ранее, стандарт IEEE 802.11 b и IEEE 802.11 g являются стандарты, определяющие управления доступом к среде (MAC) и физического уровня (PHY) спецификации для сетей WLAN. Оба стандарта работают в 13 перекрывают каналы в 2.4 ГГц ISM полоса и полоса пропускания каждого канала составляет 22 МГц. Разные методы модуляции используются для предоставления различных скоростей передачи данных, например, Взаимодополняющие Код

манипуляции (ССК) используется для доставки 5.5 и 11 Мбит / с для IEEE 802.11 b и ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) используется для доставки до 54 Мбит / с для IEEE 802.11 g Стандарт IEEE 802.11 b/g MAC использует прослушивание несущей множественный доступ с избеганием столкновения (называемой CSMA/CA) - это механизм управления доступом к среде, что показано на рисунке 2.1.

Перед началом передачи стандарта IEEE 802.11 b/g узел чувствует канала, чтобы определить, может ли другой узел передавать. Если почувствовал ожидания для распределенной координационной функции межрамного пространства (DIFS) интервал времени передачи будет продолжаться.

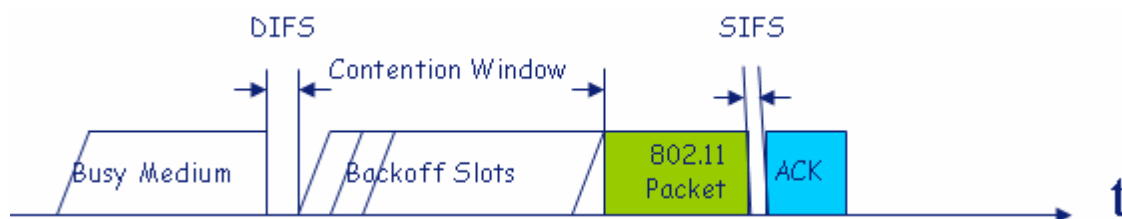


Рисунок 2.1 – IEEE 802.11b/g контроль доступа к среде

Если среда занята узел откладывает свою передачу до окончания текущей передачи. Когда среда становится на холостом ходу (DIFS) интервал, узел будет генерировать случайные отсрочки задержки, основанные на целое число, равномерно выбранных в интервале. Этот интервал $[0, W]$ называется конкурентным окном (CW), где W -размер конкурентного окна.

Начальная W имеет значение CW_{min} . Задержки таймера сократится на один, так долго, покуда среда не ощутит простой в течение времени выдержки слот.

Счетчик задержки станет замороженным, пока не выявится передача в среде, и возобновится когда канал ощутит простой для (DIFS). Когда отсрочки таймера достигнет нуля, то узел передает данный пакет. Сразу после получения правильного пакета, узел назначения ждет короткий межстрочный интервал (SIFS) интервал и затем передает сообщение ACK обратно на исходный узел.

Если два или более узлов, уменьшение их переключений таймеры в ноль одновременно, происходит столкновение. При не получении ACK пакета, CW удваивается и ретрансляция запланировано. CW удваивается при каждой повторной передачи до тех пор, пока он не достигнет максимального значения.

Если сообщение ACK еще не получили, подуровень MAC сообщит ошибкой передачи пакетов ее верхний слой.

Стандарт IEEE 802.15.4

Стандарт IEEE 802.15.4 подуровня MAC поддерживает два типа механизмов доступа к каналу, unslotted CSMA/CA с механизмом в не-Маяк сети и slotted CSMA/CA система с механизмом в Маяк с поддержкой сети. В режиме Маяк с поддержкой сети, который является более популярным до сих пор, узел просто передает его пакет данных, используя unslotted называемой CSMA /CA, когда он хочет послать данные координатору. В режиме маяк-включен, узел должен быть синхронизирован для координатора и передач пакетов может начаться только в начало временных интервалов. Как и стандарт IEEE 802.11 b/g,

Стандарт IEEE 802.15.4 также работает с CSMA/CA для среднего контроля доступа. Однако есть принципиальное отличие между их скоростью. В отличие от стандарта IEEE 802.11 b/g как показано на рисунке 2.2, канал в IEEE 802.15.4 не почувствовал во время переключений периодов. Кроме того, утверждение окно в IEEE 802.15.4 удваивается соответственно, когда канал определяется чтобы быть занятой во время CCA периода. В IEEE 802.11 b/g, однако конкурентное окно остается постоянным, независимо от канала определяется как занятый и удваивается только когда подтверждение ACK не получено.

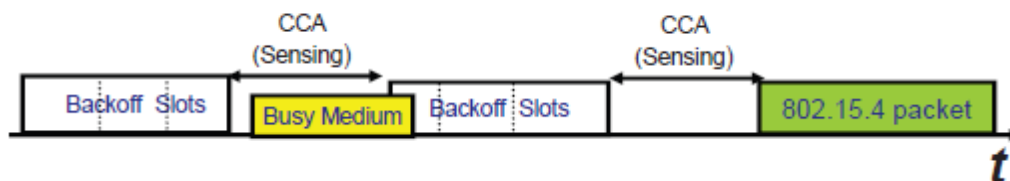


Рисунок 2.2 – IEEE 802.15.4 механизм контроля доступа к среде

Это различие имеет значительное влияние на их поведение совместное использование канала, который мы должны подробно опишем в следующих разделах.

Модель сосуществования стандарта 802.11 b/g и 802.15.4

Как упоминалось предыдущем разделе, было много исследований о сосуществовании стандарта IEEE 802.11 b/g WLANs и IEEE 802.15.4 WSNs, но выводы часто противоречат друг другу. Чтобы получить ясное представление, мы должны создать модель, которая, разумно упростит сложную реальность и, может дать понимание поведение сосуществования

Стандарт IEEE 802.11 b/g WLAN и стандарт IEEE 802.15.4 WSNs. не только можно использовать модель, чтобы понять взаимодействие между интерфейсом IEEE 802.11 b/g WLAN и стандарта IEEE 802.15.4 сенсорной сети, когда они сосуществуют, но и прогнозировать их сосуществование производительности, которые могут помочь создать совмещение стандартов IEEE 802.11 b/g WLAN и стандарта IEEE 802.15.4 сенсорной сети, с меньшими взаимными помехами.

Как уже упоминалось ранее, в связи с очень низкой мощностью передачи, устройства стандарта IEEE 802.15.4 более уязвимы к радиопомехам, создаваемым устройствами IEEE 802.11 b/g устройств, которые имеют гораздо более высокие мощности. Поэтому мы ориентируемся на те помехи, которые по стандарту IEEE 802.11 b/g устройств довести до стандарта IEEE 802.15.4 устройств, когда они сосуществуют. Во-вторых, мы предполагаем, что стандарт IEEE 802.11 b/g вмешательство-это всегда насыщенные, а значит там всегда пакеты стандарта IEEE 802.11 b/g, доступны для передачи. Это соответствует наихудшему сценарию помех, которые в реальности могли бы произойти, например когда люди смотрят видео через IEEE 802.11 b/g устройства.

Это становится все более распространенным также среди онлайн видео приложений, таких как YouTube и IEEE802.11 b/g. Поддерживаемые умные электронные устройства, такие как iPhone все больше и больше популярны.

Кроме того, это предположение упрощает наш анализ и, следовательно, позволяет нам сосредоточиться на наиболее критических аспектах существования вопроса. Расследовать в худшем случае, мы также предполагаем, что их рабочие диапазоны частот перекрывают друг друга в большей степени, т. е. существует только 2 МГц смещение между центральной частоты стандарта IEEE 802.15.4 и IEEE 802.11 b/g, как указано в таблице 2.1.

Сосуществование эффектов, вызванных различной рабочей частотой были изучены. Как показано на рис. 2.3, измерение в [15] свидетельствует о том, что 2 МГц смещение между центром частот может быть причиной стандарта IEEE 802.15.4 диапазон процента ошибки быть 0,22 до 0,81 в зависимости от размера пакетов стандарта IEEE 802.15.4.

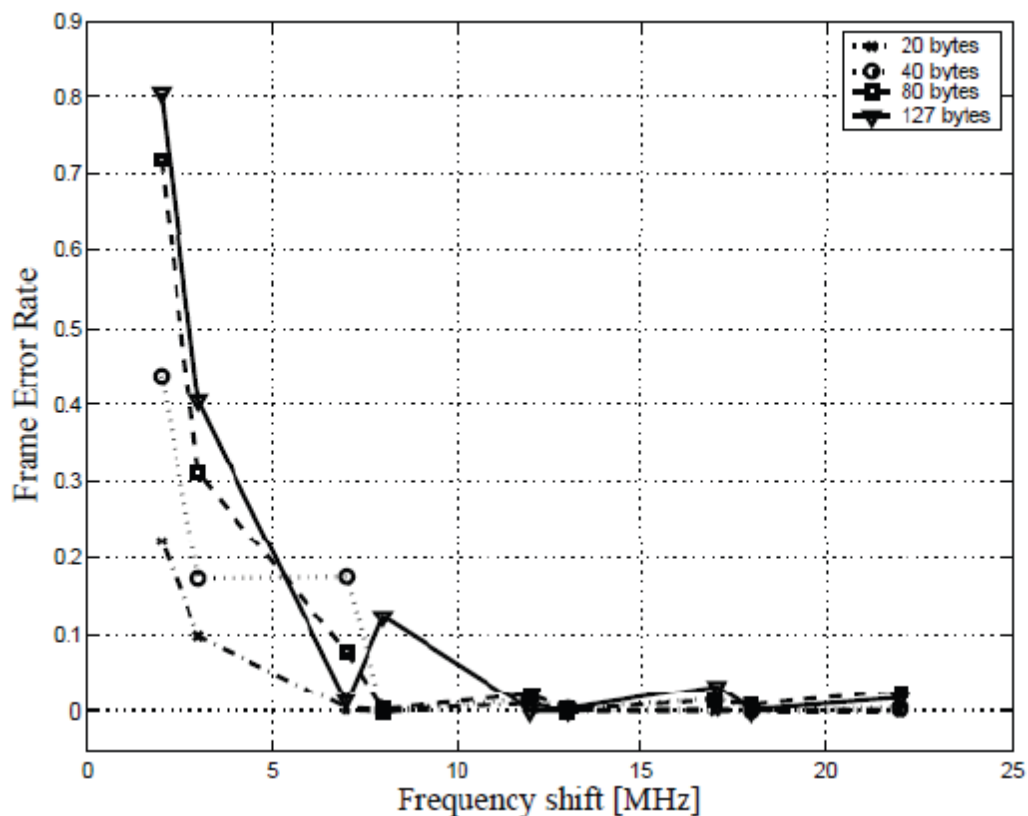


Рисунок 2.3 – Стандарт IEEE 802.15.4 Диапазон процента ошибки, когда мешает 802.11 b передача[15]

Как и ожидалось, чем больше размер пакета стандарта IEEE 802.15.4, тем выше диапазон процента ошибок, вызванных IEEE 802.11 b помехами.

Как смещение увеличивается, стандарт IEEE 802.15.4 диапазон ошибок, вызванные помехами стандартом IEEE 802.11 b, снижается. Когда смещение превышает 7 МГц, рамы процент ошибок приближается к нулю. Это означает, что для достижения почти “без помех” стандарта IEEE 802.15.4 производительности, смещение между оперативной частотой стандартов IEEE 802.11 b и IEEE 802.15.4 должно быть в минимум 7 МГц. Наконец, мы рассмотрим лишь unslotted стандарта IEEE 802.15.4 MAC. Это происходит потому, что в случае unslotted стандарта IEEE 802.15.4 была изучена экстенсивно [15][16], а также потому, что в случае unslotted стандарта IEEE 802.15.4 был менее изучены, в то же время более популярным в практике. В соответствии с IEEE 802.11 b/g вмешательство, стандарта IEEE 802.15.4 packet может быть успешно полученные при выполнении любого из следующих двух условий:

- режим питания: когда стандарта IEEE 802.15.4 пакет пересекается с интерфейсом IEEE 802.11 пакета, в-диапазон мощности помех от стандарта IEEE 802.11 пакетов значительно ниже, чем мощность полезного сигнала из стандарта

IEEE 802.15.4 в пакет стандарта IEEE 802.15.4 приемник. В соответствии со спецификацией [15], если стандарт IEEE 802.11 b/g вмешательство достаточно слаб поэтому, что в полосе сигнала-tointerference соотношение (SIP) превышает 5 - 6 дБ, определенный в стандарте IEEE 802.15.4 пакет может быть успешно получены с вероятностью в 99%. Обратите внимание, что IEEE 802.15.4 имеет возможность коррекции ошибок и всего один бит ошибки могут сделать полный пакет ошибочное;

- сроки условия: время передачи пакета стандарта IEEE 802.15.4 меньше междиапазонного времени простоя, обозначенного T_{idle} , между двумя последовательными пакетам стандарта IEEE 802.11 b/g так, что пакет стандарта IEEE 802.15.4 не перекрывает пакеты стандарта IEEE 802.11.

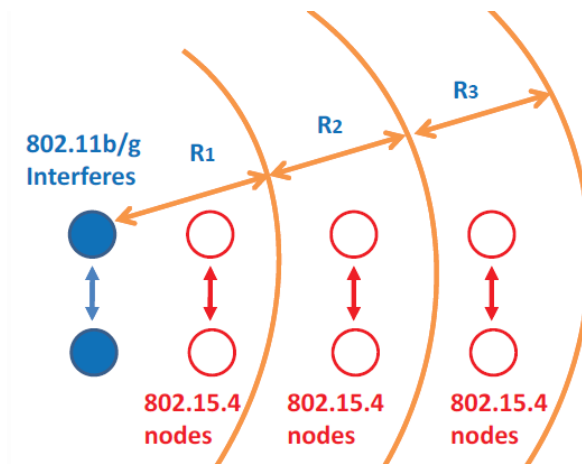


Рисунок. 2.4 – Сосуществование регионов стандартом IEEE 802.15.4 и IEEE 802.11 b/g

Соответственно, наша модель включает в себя сосуществование мощности и временной аспект, которые рассматриваются следующим образом.

Аспект мощности

Как показано в таблице 2.1, передающего полномочия по стандарту IEEE 802.11 b/g узлов и стандарт IEEE 802.15.4 узлы обычно 100 мВт [15] и 1 МВт [15], соответственно, в то время как чистый канал оценки (ССА) пороги стандартов IEEE 802.11 b/g узлов и IEEE 802.15.4 узлы обычно -84 дБм -85 дБм, соответственно. Поскольку всенаправленные антенны чаще всего используются оба стандарта IEEE 802.11 b/g узлов и IEEE 802.15.4 узлов на практике, мы рассмотрим только всенаправленные антенны в этой работе.

Таким образом, учитывая такие сопоставимые ССА пороги, существенных различий в мощности передатчика в результате следующие три различных региона, R1, R2 и R3, как показано на рисунке 2.4:

- область R1:, в которой узлы стандарта IEEE 802.15.4 и IEEE 802.11 b/g узлов может чувства друг к другу. Это происходит, когда узлы стандарта IEEE 802.15.4 и IEEE802.11 b/g узлы находятся близко друг к другу;

- область R2 , в которой IEEE 802.15.4 узлы могут чувствовать узлы стандарта IEEE 802.11 b/g, но не наоборот. Это происходит потому, что стандарт IEEE 802.11 b/g в узлах гораздо больше мощности чем у узлов стандарта IEEE 802.15.4;

- область R3: , в которой ни один не может почувствовать других, но по стандарту IEEE 802.15.4 узлы могут по-прежнему ощущать вмешательство стандарта IEEE 802.11b/g. Это происходит особенно когда взаимосвязь стандарта IEEE 802.15.4 узлов очень слабая.

Таблица 2.1 – Стандарт IEEE 802.15.4 и IEEE 802.11 b/g параметры системы и дополнительные параметры, используемые для получения результатов моделирования

Стандарты	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
Мощность передатчика	0 Дбм	20 Дбм	0 Дбм
Чувствительность приемника	-85 Дбм	-76 Дбм	-85 Дбм
Порог оценки очистки канала	-85 Дбм	-84 Дбм	-85 Дбм
Пропускная способность	2 МГц	22 МГц	2 МГц
Время внутреннего прибытия	640 мс	744 мс	640 мс
Скорость передатчика	250 Кбит/с	11 Кбит/с	250 Кбит/с
Величина загрузки	1 байт	1024 байт	1024 байт
Короткое внутри кадровое пространство	192 мс	10 мс	10 мс
Функционирующе распределенное и согласованное межкадровое пространство	N/A	50 мс	28 мс
Оценка очистки канала	128 мс	N/A	N/A
Минимальное конфликтное окно	7	31	15
Частотный центр	2410 МГц	2412 МГц	2412 МГц

Определим эти направления, как сосуществование регионов. Поскольку всенаправленные антенны считается, сопротивления R1, R2 и R3 представляют собой площадь круга, и кольца, соответственно. Обратите внимание, что для экономии пространства, мы показываем только некоторые части из этих областей на рисунке 2.4.

В случае невыполнения всенаправленными антеннами, фигуры из трех регионы будут меняться или даже эти регионы не могут существовать.

Для количественной оценки этих регионов, мы используем модель с потерей связи, которая описана в [15] и рекомендуются в формате IEEE 802.15.2 спецификации [IEE03b].

$$PL(d) = \begin{cases} 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) & \text{if } d \leq d_0 \\ 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + 40 \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) & \text{if } d > d_0 \end{cases}, \quad (2.1)$$

где d - расстояние между передатчиком и приемником и d_0 , т. е., 8 м, длина линии прямой видимости (LOS);

$$\lambda = c/f_c,$$

f_c - несущая центральной частоты.

c - скорость света;

Взяв чувствительности приемников которые показаны в таблице 2.1, принятые мощности и принимая SIR 6 дБ в приемниках, получим R1, R2 и R3, как показано в таблице 2.2. Для простоты при вычислении радиуса R3, мы не принимали во внимание шум окружающей среды.

Таблица 2.2 – Области совместной работы IEEE 802.15.4 и IEEE 802.11b/g

Диапазон	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
R1	22 м	32 м
R2	67 м	67 м
R3	95 м	95 м

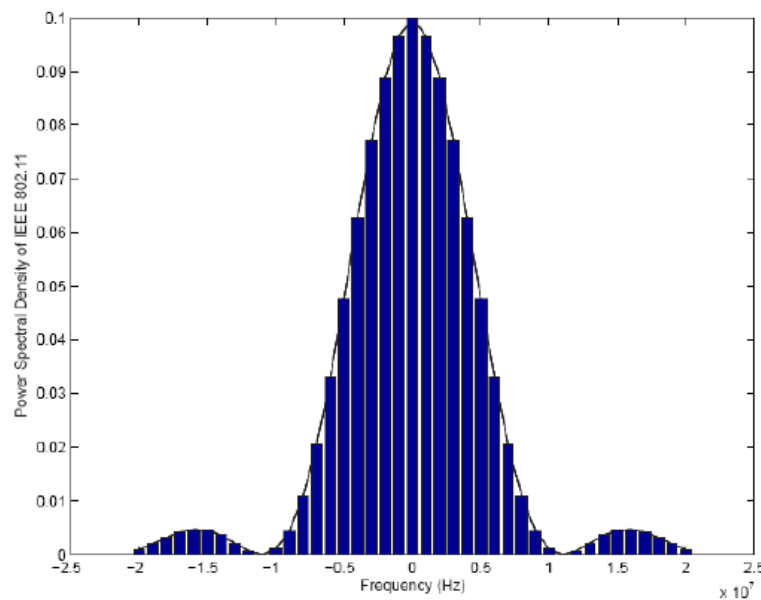


Рисунок 2.5 – Спектральная плотность мощности стандарт IEEE 802.11 b [15].

Впрочем, это нельзя игнорировать в случае очень слабого полезного сигнала. Кроме того, хотя мощности передачи узел стандарта IEEE 802.11 b/g, распределенны в полосе частот 22 МГц, только частью общей мощности передачи стандарта IEEE 802.11 b/g может упасть в 2 МГц диапазон стандарта IEEE 802.15.4 узел.

Для удобства в вычислениях, мы просто взяли $2/22$ от общей мощность передачи стандарта IEEE 802.11 b/g, как мощность, которая может быть принята узлом IEEE 802.15.4. Фактически, как показано на рисунке 2.5, мощность спектральной плотности 802.11 b не равномерно распределены в 22 МГц. Есть больше энергии, распределенной тесно вокруг центральная частота. Таким образом, в качестве смещения между средними частотами стандарта IEEE 802.11 b/g узлов и IEEE 802.15.4 узлов небольшие, узлы стандарта IEEE 802.15.4 могут получать больше питания от узлов IEEE 802.11 b/g, в результате чего в большем радиусе пространства R2. Вместо этого, большее смещение частоты приведет к снижению мощности, попадающих в группу стандарта IEEE 802.15.4 узлов и, следовательно, меньшего радиуса R2. Приведем временной аспект нашей модели сосуществования.

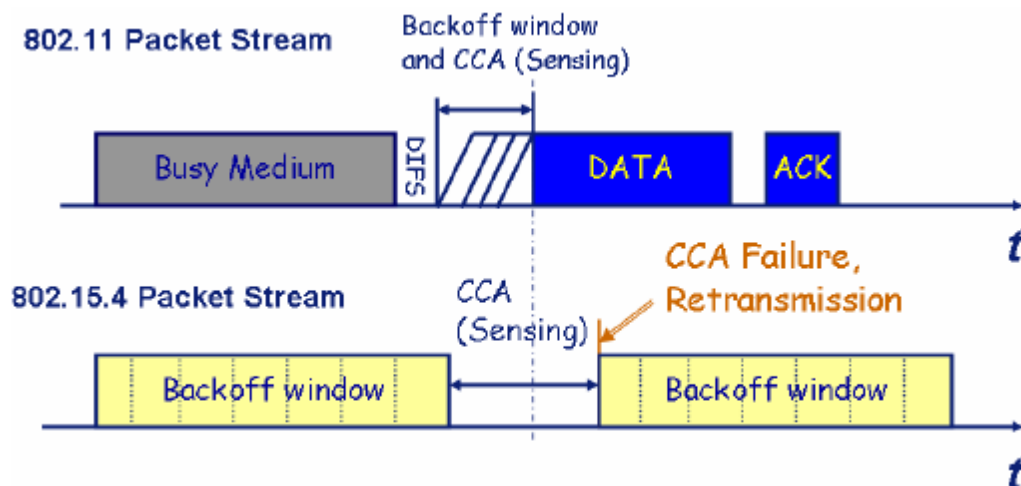


Рисунок 2.6 – R1 интерфейс IEEE 802.15

R1 интерфейс IEEE 802.15.4 узел имеет мало шансов получить доступ каналу из-за более длительного интервала времени использования в его MAC механизме.

Временной аспект

Область R1

В R1, стандарта IEEE 802.11 b/g узел и стандарта IEEE 802.15.4 узел может почувствовать каждый другие и поэтому и их CSMA/CA механизмы работы, т. е., как один передает, другой должен ждать. Такая система управления

CSMA/CA механизм гарантирует, что никакого перекрытия передач может случиться, если один узел схватывается среднесрочной первой. В соответствии с условиями мы обсудили для успешной передачи, мы знаем, что пропускная способность стандарта IEEE 802.15.4 зависит от того, насколько много шансов попасть на него смогут передавать пакеты между двумя последовательными устройствами IEEE 802.11 b/g-пакеты. Стандарт IEEE 802.15.4 узлы, как правило, используют от 10 до 30 раз дольше временной интервал, чем протокол IEEE 802.11 b/g узлы, например, задержки слот блок 320 мкс, 50 мкс и 9 мкс для IEEE 802.15.4, стандарт IEEE 802.11 b и IEEE 802.11 g, соответственно. Чем короче интервал времени дает IEEE 802.11 b/g узлов приоритет над стандартом IEEE 802.15.4 узлов доступа к каналу и, следовательно, привести к несправедливости стандарту IEEE 802.15.4 узлов. Это показано на рисунке 2.6.

Однако, как только стандарт захватил канал IEEE 802.15.4, узлы могут передавать пакеты свободные от помех, поскольку узлы стандарта IEEE 802.11 b/g будут отложены для пакетной передачи стандарта IEEE 802.15.4 узлов в этой области. Поэтому, сосуществование достаточное условие для этого сценария заключается в том, что из CCA Стандарт IEEE 802.15.4 происходит в период простоя, t_{idle} , между двумя подряд пакетов стандарта IEEE 802.11 b/g-

Теперь мы видим, является ли это достаточным условием сосуществования.

В соответствии со спецификацией [15],

$$t_{idle} \triangleq DIFS + t_{bo} \triangleq DIFS + m \cdot T_{bs}, \quad (2.2)$$

где t_{bo} - случайный период времени, в течение дополнительного времени отсрочки до передачи и $t_{bo} \triangleq m \cdot T_{bs}$, где T_{bs} находится единица отхода, m -случайный целое взятое из равномерного распределения на интервале $[0, CW_{min}]$.

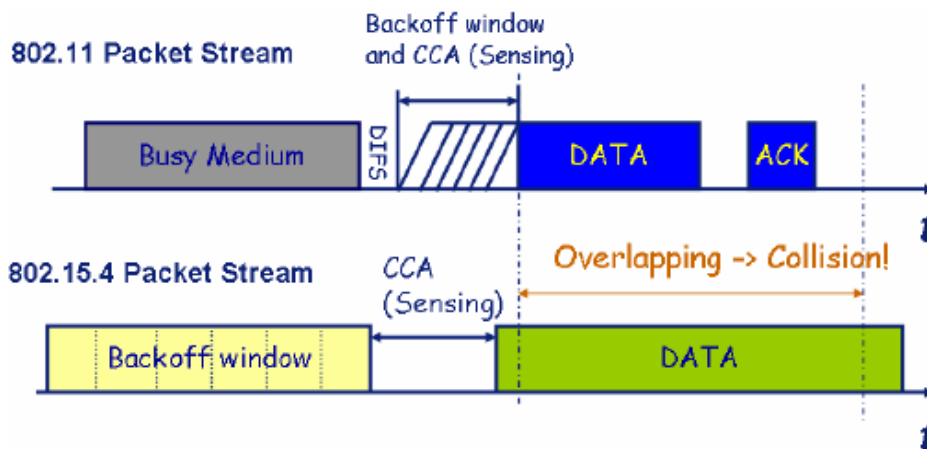


Рисунок 2.7 – R2 IEEE 802.11 b/g узлов

В R2 IEEE 802.11 b/g узлы не понимают узлы стандарта IEEE 802.15.4, целое взято из равномерного распределения на интервале $[0, CW_{min}]$.

Значения этих параметров приведены в таблице 2.1.

Когда $m \geq 4$ и 12 для IEEE 802.11 b и IEEE 802.11 g и, соответственно, $t_{idle} \geq CCA$. Таким образом, когда m выбрана так, чтобы быть значением в диапазоне $[4, 31]$ и $[12, 15]$ для IEEE 802.11 b и IEEE 802.11 g и, соответственно, t_{idle} - это достаточно долго для выполнения CCA.

Область R2

В R2, стандарт IEEE 802.15.4 узлы могут иметь узлы стандарта IEEE 802.11 b/g, но не наоборот, поскольку мощность передачи стандарта IEEE 802.11 b/g узлов намного выше чем у узлов стандарта IEEE 802.15.4. Следовательно, когда узлы передачи IEEE 802.11 b/g стандарта, узлы IEEE 802.15.4 должны быть в режиме ожидания, в то время как узлы передачи стандарта IEEE 802.15.4, узлы IEEE 802.11 b/g не знают об этом и таким образом они просто переходят в режим передачи, случайным образом, и являются причиной перекрывающихся передач пакетов. Это показано на рисунке 2.7.

Проверить могут ли узлы стандарта IEEE 802.15.4 иметь результативную передачу, видно что перекрывающаяся передача может произойти в области R2.

Аналогично региону R1, узлы стандарта IEEE 802.15.4 захватили канал так, что могут начать передачу. Следовательно, t_{idle} также должен быть длиннее CCA периода в регионе R2. Кроме того, как IEEE 802.11 b/g узловые отложить больше для передачи пакетов стандарта IEEE 802.15.4, для обеспечения неперекрывающиеся трансмиссий, следующее условие должно быть удовлетворено:

$$t_{idle} \triangleq DIFS + m \cdot T_{bs} \geq CCA + t_p + SIFS + ACK, \quad (2.3)$$

где t_p - время передачи пакета стандарта IEEE 802.15.4.

Теперь покажем, что неравенство (2.3) не может проводить. Берем LHS_{max} и минимальное значение CCA ,

RHS_{min} , от (2.3) как следующее:

$$\begin{aligned} LHS_{max} &= DIFS + CW_{min} \cdot T_{st} \\ &= \begin{cases} 50 + 31 \cdot 20 = 670 \text{ мс для } 802.11b \\ 28 + 15 \cdot 9 = 163 \text{ мс для } 802.11g \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RHS_{min} &= CCA + t_{min} + SIFS + ACK \\ &= 128 + 640 + 192 + 160 = 1120 \text{ мс}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

где $t_{idle_{max}}$ - максимальное t_{idle} ;

$t_{p_{min}}$ - минимальный пакет передачи время, которое составляет 640 мкс, учитывая минимальный размер пакета 160 бит передаются со скоростью 250 Кбит / с.

Значения соответствующих параметров приведены в таблице 2.1. Видно, что с LHS_{max} меньше сем RHS_{min} , неравенство (2.3) не может держать в любом случае. Даже в случае, если АСК не работает, где RHS из (2.3) имеет только два элемента, ССА и t_p , (2.3) по-прежнему не может держать, потому что LHS_{max} остается меньше, чем RHS_{min} , которое составляет 768 мкс. Как например, в R2, стандарта IEEE 802.15.4 пакеты не могут быть получен в течение интервала двух последовательных пакетов стандарта IEEE 802.11 b/g.

Ранее говорилось, что в соответствии с IEEE 802.11 b/g вмешательством в стандарт IEEE 802.15.4 пакет не может быть получен успешно, если хотя бы одно из двух условий, т. е. условия мощности, и временные условия, будут удовлетворены. Условия по мощности гласят, что условие стандарта IEEE 802.15.4 пакетов и его последующий АСК, если любой может быть получен успешно, не смотря на перекрытые стандарт IEEE 802.11 b/g вмешательство покуда сигнал-помехи-коэффициент (SIR) является достаточно хорошим. Сроки и условия фактически говорят, что независимо от того, насколько тяжелым стандарта IEEE 802.11 b/g вмешательство, стандарта IEEE 802.15.4 пакетов и его последующий АСК если таковые могут быть переданы и получены в интервал между двумя последовательными устройствами IEEE 802.11 b/g-пакеты. Согласно анализу выше, стало известно, что в R2, поскольку нет стандарта IEEE802.15.4 пакетов (независимо от того, через подтверждение или нет) может быть получено в течение интервалом два подряд стандарта IEEE 802.11 b/g-пакеты, стандарта IEEE 802.15.4 пакет не может быть получен успешно, если отношение коэффициента сигнал-помехи (SIR) является достаточно хорошим.

Область R3

В этом регионе, ни узлы стандарта IEEE 802.15.4 ни узлы стандарта IEEE 802.11 b/g не могут чувствовать друг друга. Узлы стандарта IEEE 802.15.4, однако, могут по-прежнему страдать от вмешательства стандарта IEEE 802.11 b/g в случае слабого стандарта IEEE 802.15.4, потому что регион, в котором беспроводное устройство может вызывать помехи для других обычно больше, чем там, где оно может быть воспринят другими.

Это означает, что оба узла стандарта IEEE 802.15.4 и IEEE 802.11 b/g могут свободно передавать пакеты без отсрочки для другой, которая описывается следующим предположении, называется слепой трансмиссией в [Shi05].

Это может быть показано, что как в R2, в случае использования АСК, временные условия описаны как неравенство (2.3), т. е. условие для непересекающихся трансмиссий, никогда не сможет выполняться в R3 тоже.

Поэтому, для успешной передачи стандарта IEEE 802.15.4, необходим хороший SIR приемника. Напротив, в отличие от в R2, в случае не подтверждения использования, условие для непересекающихся передач могли бы быть удовлетворены в R3. Из приведенного выше обсуждения, мы видим, что стандарт узлов IEEE 802.11 b/g и IEEE 802.15.4 узлы имеют взаимное влияние только в R1, которая делает сосуществование в R1 наиболее интересные, а также наиболее сложные. Следовательно, в следующем разделе, мы сосредоточимся на анализе сосуществования производительности в R1.

2.3 Анализ пропускной способности сетей 802.15.4 в R1.

В этом разделе мы анализируем стандарт IEEE 802.15.4 сосуществования производительности в условиях пропускной способности в R1. Для простоты анализа мы предполагаем, что есть только одна пара из стандарта IEEE 802.15.4 узлы и одна пара узлов стандарта IEEE 802.11 b/g. Мы обсудим это предположение в конце этого раздела. Кроме того, в каждой паре, один узел является передатчиком, а другой приемником.

Кроме того, мы предполагаем что физический канал является идеальными, т. е. не возникает передачи ошибки, если нет помех. Таким образом, стандарт IEEE 802.11 b/g передатчик может всегда получать подтверждения АСК после передачи пакетов данных, вызывая ее конкурентное окно, чтобы сохранить начальное значение, т. е. CW_{min} .

Согласно [12] и нашим собственным моделям, стандарт IEEE 802.15.4 имеет малое воздействие на производительность, IEEE 802.11 которая оправдывает наше предположение о том, что стандарт IEEE 802.11 b/g трафик не подвержен стандарт IEEE 802.15.4 трафика.

Наконец, мы предполагаем, что оба трафика стандарта IEEE 802.11 b/g и трафик IEEE 802.15.4 в насыщенном режиме, который предполагает, что всегда существует хотя бы один пакет в ожидании передачи на передатчике.

Как показано на рисунке 2.8, для каждой попытки передачи данных, стандарта IEEE 802.15.4 узел выполняет отход, сначала для интервала выборка из равномерного распределения в диапазоне $[0, 2^{BE_i-1}]$ ($i=0, 1, 2, 3, 4$), где BE_i является показателем переключений для i -ой повторной передачи и 0-ой попытки повторной передачи значит первая попытка передачи. Успешный ССА последует успешной передаче пакетов стандарта IEEE 802.15.4.

Иначе, в случае занятого канала, узел стандарта IEEE 802.15.4 будет отложен для отхода, период, определенный по BE_{i+1} и затем снова выполняется ССА до тех пор, пока максимальное число попыток по умолчанию не достигнет предела, т. е. 4, достигается [6].

Впоследствии, ошибка доступа к каналу неудачи будут доведены до верхнего слоя. В любом случае, новый цикл передачи начнется с периода отхода определяемого BE_0 на следующем пакете.

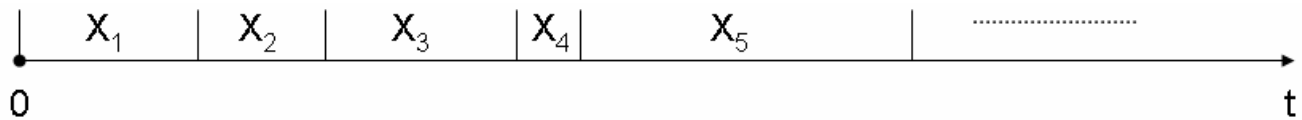


Рисунок 2.9 – Передача пакетов обновления процесса X_j

Ввиду предположения, что трафик стандарта IEEE 802.11 b/g не влияет на трафика стандарта IEEE 802.15.4 и тот факт, что длительность IEEE 802.11 b/g и IEEE 802.15.4 существенно отличается, время передачи цикла пакетов стандарта IEEE 802.15.4 считаются независимыми друг от друга. Поэтому, передача пакетов стандарта IEEE 802.15.4-это по существу процесс обновления.

Обозначим X время цикла передачи пакета, который либо передается успешно при i -той ретрансляции или не передается в конечном итоге после пяти неудачных попыток доступа по умолчанию канал [IEEE06].

Таким образом, X продление времени возобновления процесса. Кроме того, пусть X_j обозначения передачи время цикла в j -й пакет, показанный на рисунок 2.9 и пусть $\{W(t); t > 0\}$ обновление функции для возобновления процесса с ожидаемым значением продления времени $E(x)$. Таким образом, согласно [17], получена пропускная способность S с вероятностью 1:

$$S = \lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{1}{t} \right) \int_t^\tau W(\tau) d\tau = \frac{E[W_n]}{E[X]}, \quad (2.5)$$

где $E[W_n]$ - ожидаемое значение улучшения, т. е. время передачи одного пакета стандарта IEEE 802.15.4, обозначается t_p , n -ом интервале обновления.

Вычислим $E[W_n]$.

Поскольку в n -нный интервал обновления, передается только один пакет или пакет не передается, W_n составляет соответственно либо t_p или ноль. Таким образом,

$$E[W_n] = p \cdot E[t_p] \cdot \sum_{i=0}^4 (1-p)^i + 0 \cdot (1-p)^5 = p \cdot E[t_p] \cdot \sum_{i=0}^4 (1-p)^i, \quad (2.6)$$

где $E[t_p]$ - ожидаемое значение t_p и p -вероятность, что канал находится в режиме в холостого хода периода АСС. По предположению что стандарт IEEE 802.11 b/g трафик не подвержен стандарт IEEE 802.15.4 трафика, стандарт IEEE 802.11 b/g вмешательство фактически вкл./выкл. автономный процесс, независимые стандарта IEEE 802.15.4 трафика. Это на период t_p и для периода DIFS $+t_{bo}$, t_{bo} , где происходит равномерное RV на $[0, CW_{min}] * T_{bs}$.

Поэтому, между двух последовательных попыток передачи стандарта IEEE 802.15.4 узел, состояние, on или off, интерференции не зависит. Чтобы сделать попытку передачи узла стандарта IEEE 802.15.4 успешной, два условия должны быть выполнены:

- время ожидания t_{idle} пакетов между двумя последовательными устройствами IEEE 802.11 b/g должно быть больше, чем период CCA с пакетом IEEE 802.15.4, $t_{idle} \geq CCA$, так, что пакетов стандарта IEEE 802.15.4 может перехватить канал;

- данные в первом пункте начало и конец в пределах периода t_{idle} . Это событие определено E.

Таким образом, p определим:

$$\begin{aligned} p &= P\{t_{idle} \geq CCA \cup E\} \\ &= P\{t_{idle} \geq CCA\} \cdot P\{E|t_{idle} \geq CCA\}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

Учитывая значения параметров в таблице 2.1, условие $t_{idle} \geq CCA$ верно, если $t_{bo} \in [a, CW_{min}] * T_{bs}$, где a равно 4 и 12 для узлов стандарта IEEE 802.11 b и соответственно узлов стандарта IEEE 802.11 g и.

Таким образом, p рассчитаем:

$$\begin{aligned} p &= \sum_{i=a}^{CW_{min}} P\{t_{idle} = DIFS + iT_{bs}\} \\ &\quad \cdot P\{t_{idle} \leq t_c \leq t_{idle0} + DIFS + iT_{bs} - CCA\} \\ &= \frac{1}{CW_{min} + 1} \cdot \sum_{i=a}^{CW_{min}} \frac{DIFS + iT_{bs} - CCA}{E[t_w] + DIFS + iT_{bs}}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

где t_{idle0} - начальное время периода t_{idle} ;

t_c - начальное время CCA, равномерно распределенная на $[0, t_c]$;

t_c - время передачи цикла стандарта IEEE 802.11 b/g пакета, т. е. $t_c = t_w + DIFS + iT_{bs}$, $i = a, \dots, CW_{min}$, t_w - это сумма времени стандарта IEEE 802.11 b/g пакетной передачи, в следующем времени SIFS и ACK времени.

Эти параметры показаны на рисунке 2.8. Подставляя (2.7) в (2.5), найдем $E[W_n]$. Вычисляем $E[x]$:

$$\begin{aligned} E(X) &= \sum_{i=0}^4 [p (1 - p)^i (\sum_{j=0}^i E(B_j) + (i + 1)CCA + E(t_p))] \\ &\quad + (1 - p)^5 (\sum_{i=0}^4 E(B_i) + 5CCA), \end{aligned} \quad (2.9)$$

где $E[V_i]$ - значение ожидаемого времени выдержки V_i для i -ой повторной передачи, и V_i равномерно распределена в $[0, 2^{BE_i}]$, в силу предположения, что трафик стандарта IEEE 802.11 b/g не подвержен трафику стандарта IEEE 802.15.4.

Подставляя (2.6) и (2.9) в (2.5), пропускная S получается. При использовании значений параметров в таблице 2.1, мы получаем, что если насытить стандарт IEEE 802.11 b в возникновении помех в R1, пропускная способность стандарта IEEE 802.15.4 узлов снижается до 5,75% первоначальной стоимости, которая четко показывает, что IEEE помехи стандарта 802.11 b значительно могут повлиять на исполнение стандарта IEEE 802.15.4 сенсорной сети.

Выводы ко второй главе

В данной главе выполнен анализ пропускной способности сетей 802.15.4 в R1, так же получена пропускная способность S , вычислили ожидаемое значение t_p и p -вероятность, что канал находится в режиме в холостого хода. В результате получается, что между двух последовательных попыток передачи узел стандарта IEEE 802.15.4 интерференция от изменения состояние, on или off, не зависит.

3 Экспериментальная часть

Значения соответствующих параметров приведенных в таблице 2.1. обращают внимание, что пропускная способность стандарта IEEE 802.11 b составляет 22 МГц, что гораздо больше, чем в стандарте IEEE 802.15.4, т. е. 2 МГц.

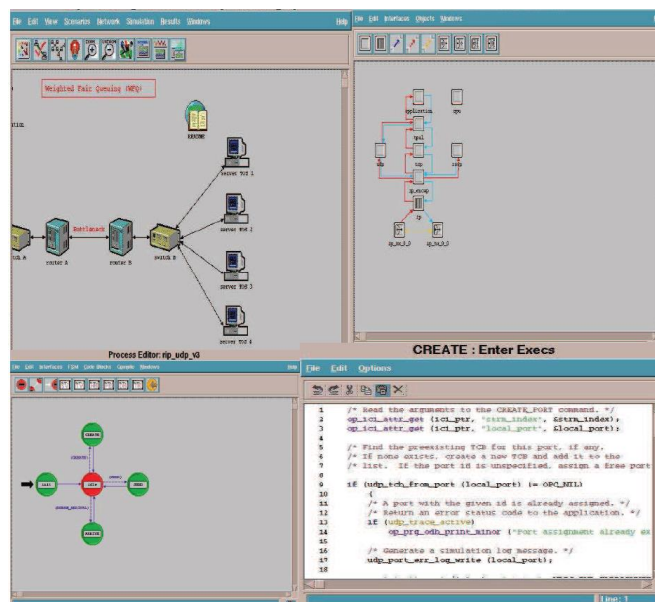


Рисунок 3.1 – Окно программы OPNET

Поэтому помехи сигнала стандарта IEEE 802.11 b/g можно смоделировать с ограниченной полосой аддитивного белого Гауссовского шума (AWGN) с сигналов IEEE 802.15.4 [18].

Спектральная плотность мощности 802.11 b/g в 11 раз больше IEEE 802.15.4, мощность интерференции 802.11 b/g к 802.15.4 обычно рассчитывается как $P_r/11$, где P_r принятая мощность. Однако спектральная мощность 802.11 b/g не равномерно распределены по полосе 22МГц. Рисунок 2.5 из [15] иллюстрирует спектральную плотность мощности из стандарта 802.11 b.

В нашей модели, чтобы показать худший случай совместного использования спектра, мы используем каналы для IEEE стандарт 802.11 b/g и IEEE 802.15.4 в диапазоне 2.4 ГГц ISM полосы таким образом, что центральные частоты f_c из каналов расположены ближе всего друг к другу. Таким образом, у нас работают 2412 МГц и 2410 МГц, как центральные частоты для стандарта IEEE 802.11 b/g и IEEE 802.15.4 соответственно, показано на рисунке 1.10. Чем ближе их центральные частоты становятся; тем сильнее стандарт IEEE 802.11 b/g влияет на стандарт IEEE 802.15.4, потому что больше мощности распределяется вокруг центральной частоты, как показано на рисунке. 2.5 [15].

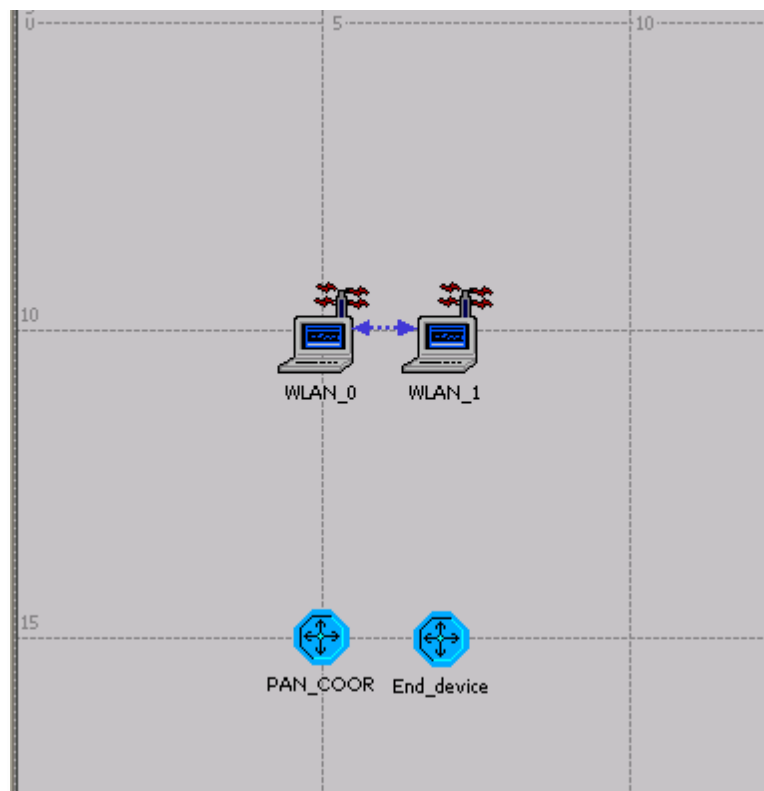


Рисунок 3.2 – R1: 802.15.4 и 802.11 b/g

Моделирование стандарта IEEE 802.15.4 сосуществования производительности в R1

Учитывая значения параметров в таблице 2.2, R1 представляет собой круг, площадь которого радиусом менее 22 м и 32 м для IEEE 802.11 b и IEEE 802.11g соответственно.

Следовательно, как показано на рис. 3.2, мы задаем расстояние между двумя узлами стандарта IEEE 802.11 и стандарта IEEE 802.15.4 в качестве узлов 2 м, и расстояние между узлами IEEE 802.11 и IEEE 802.15.4 как узлы 5 м, для того, что бы убедиться, что оба могут чувствовать друг друга, т. е. в R1.

Насыщенный udr трафик пакетов, который, в нашей имитационной модели, составляет 532 пакетов в секунду при скорости 11 Мбит / с, передаваемая между устройствами IEEE 802.11 b в сеть WLAN 0 или WLAN 1.

Только стандарт IEEE 802.15.4 координатор, PAN_COOR, передает пакеты данных, в то время как узел назначения, окончных устройств, отправляет только подтверждения.

Рисунок 3.3 показывает, что при возникновении помех в стандарте 802.11 b на пропускную способность стандарта IEEE 802.15.4 узел выходит от 18000 бит / с в среднем до 1000 бит / с в среднем, т. е., только 5.56% пропускная способность остается.

Этот результат совпадает с аналитическим результатом, т. е. 5.75%, и, таким образом, подтверждает наш анализ. Делаем заключение, что даже в худшем случае в область R1 пропускная способность стандарта IEEE 802.15.4 сенсорной сети, хотя он снижается значительно, не достигают нуля.

Это происходит потому, что в R1 узлы, стандарта IEEE 802.11 b/g чувствуют трафик IEEE 802.15.4, и, следовательно, может возникнуть пауза что позволяет прохождению трафика небольшой части стандарта IEEE 802.15.4. Вывод также подтвержден экспериментами в [Sik05].

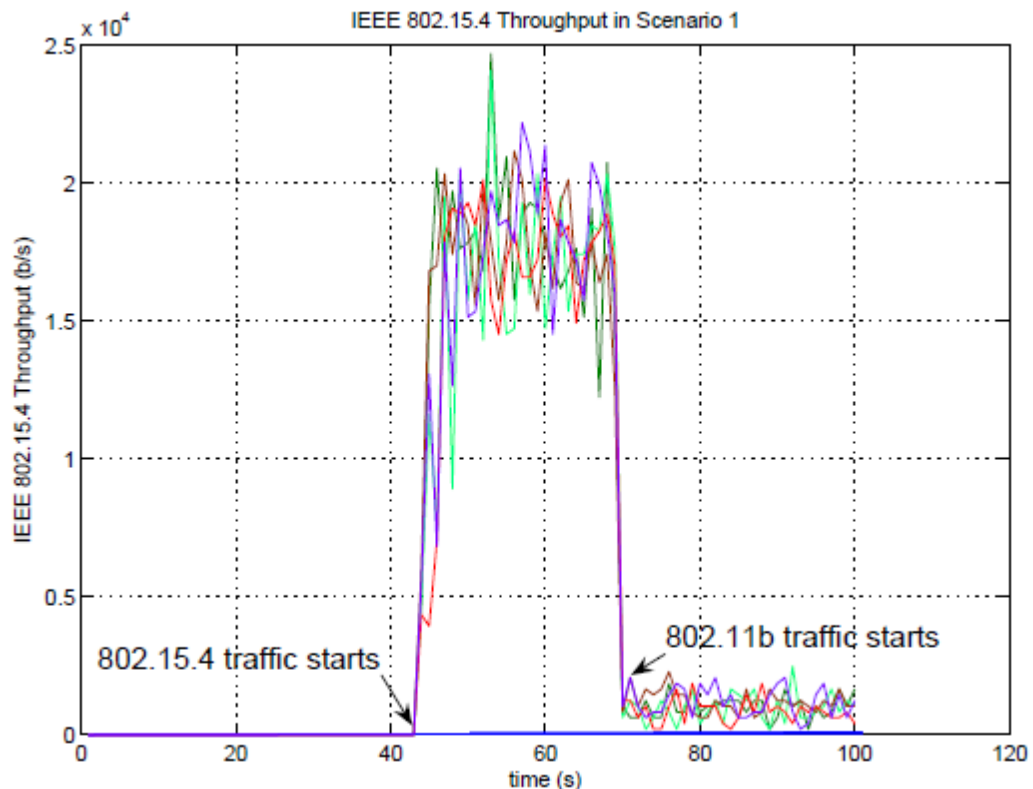


Рисунок 3.3 – Пропускная способность стандарта IEEE 802.15.4 узлов до и после стандарта IEEE 802.11 b

Выводы к третьей главе

В данной главе выполнено моделирование стандарта IEEE 802.15.4 сосуществования производительности в R1. Помехи сигнала стандарта IEEE 802.11 b/g смоделированы с ограниченной полосой аддитивного белого Гауссовского шума (AWGN) с сигналов IEEE 802.15.4. Спектральная плотность мощности 802.11 b/g в 11 раз больше IEEE 802.15.4, мощность интерференции 802.11 b/g к 802.15.4 обычно рассчитывается как $P_r/11$, где P_r принятая мощность. Однако спектральная мощность 802.11 b/g не равномерно распределены по полосе 22МГц. Данный раздел иллюстрирует спектральную плотность мощности из стандарта 802.11 b.

Заключение

Развитие беспроводных сенсорных сетей связано с появлением смартфонов, планшетных и мобильных компьютеров, которые, в том числе, могут быть универсальными устройствами управления, при условии обеспечения доступности к Интернету, не зависимо от того, перемещается ли терминал в пространстве. Помимо этого необходимо организовывать надежные системы управления распределенными объектами и объединять их в глобальную сеть.

В связи с расширением технологий беспроводных сетей стала возможна использование беспроводных сенсорных сетей не только по их основному применению, но и для создания мобильной беспроводной инфраструктуры для обмена речевой и видео информацией. Самыми распространенными для этих задач являются технологии Bluetooth и ZigBee, которые согласно с конструируемым стандартом ISA довольно просто интегрируются в единую беспроводную среду больших предприятий и масштабных комплексов.

В данной работе выполнен анализ возможности сосуществования стандартов беспроводных сенсорных сетей.

Основной упор делается на контроль физических процессов в канале связи между узлами сенсорной сети. Сенсорная сеть описана как совокупность сенсорных узлов, которые координируют для выполнения некоторых специфических задач.

Проведен анализ обеспечения соединения между различными устройствами во многих сценариях с, соответствующими требованиями.

Перечень сокращений

ACL	Asynchronous Connectionless
ACK	Acknowledgment
AFH	Adaptive Frequency-Hopping
AP	Access Point
AWGN	Additive White Gaussian Noise
AWMA	Alternating Wireless Medium Access
BER	Bit Error Rate
CCA	Clear Channel Assessment
CCK	Complementary Code Keying
CFR	Code of Federal Register
CTS	Clear to Send
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CW	Contention Window
DIFS	Distributed coordination function Inter-Frame Space
DFS	Dynamic Frequency Selection
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum
ED	Energy Detection
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FEC	Forward Error Correction
FFD	Full Function Device
GF	Group Formation
GTS	Guaranteed Time Slot
GUTPC	Goodput-oriented Utility-based Transmit Power Control
HEC	Header Error Check
ID	Interference DetectionIEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM	Industrial, Scientific, and Medical
LOS	Line-Of-Sight
LQI	Link Quality Indicator
MAC	Medium Access Control
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAN	Personal Area Network
PER	Packet Error Rate
PHY	PHYSical layer
PN	Personal Network
PNP2008	Personal Network Pilot 2008

PTA	Packet Traffic Arbitration
RSSI	Received Signal Strength Indication
RFD	Reduced Function Device
RTS	Request to Send
SCO	Synchronous Connection-Oriented
SIFS	Short Inter Frame Spacing
SINR	Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TDMA	Time-Division Multiple Access
TIC	Transmit Interval Control
TPC	Transmit Power Control
UDP	User Datagram Protocol
UWB	Ultra-Wide Band
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
ZC	ZigBee Coordinator
ZED	ZigBee End Device
ZR	ZigBee Router
WSN	Wireless Sensor Network

Список литературы

- 1 IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2006. - p. 10
- 2 A. Koubaa, M. Alves, and E. Tovar. IEEE 802.15.4 for Wireless Sensor Networks: A Technical Overview // Tech. Rep. HURRAYTR-050702, IPP-HURRAY! GROUP, POLYTECHNIC INSTITUTE OF PORTO (ISEP-IPP), PORTUGAL, July 2005. - p. 80
- 3 IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003. - p. 19
- 4 IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2006. - p. 25
- 5 B. McGuigan. What is ZigBee? [Электронный ресурс] [Цитировано 02 Февраля 2015 г.] <http://www.wisegeek.com/what-is-zigbee.htm>.
- 6 S. Ashton. ZigBee Technology Overview. Tech. Rep. 095376r00ZB, Ember Corporation, 2009. - p. 87
- 7 J. C. Haartsen and S. Zurbes. Bluetooth Voice and Data Performance in 802.11 DS WLAN Environment. Ericsson Sig Publication, 1999.
- 8 I. Howitt. WLAN and WPAN Coexistence in UL Band. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 50(4), 2001. pp. 1114–1124.
- 9 I. Howitt. Bluetooth performance in the presence of 802.11b WLAN. IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 51(6), 2002. pp. 1640–1651.
- 10 M. Bennis. Spectrum Sharing for Future Mobile Cellular Systems. Phd, University of Oulu, - Finland, 2009. - p. 91
- 11 M. Marcus, J. Burtle, B. Franca, A. Lahjouji, and N. McNeil. Report of the Unlicensed Devices and Experimental Licenses Working Group. Tech. Rep. 02-135, Federal Communications Commission (FCC) Spectrum Policy Task Force, 2002. - p.8
- 12 M. A. McHenry, P. A. Tenhula, D. McCloskey, D. A. Roberson, and C. S. Hood. Chicago Spectrum Occupancy Measurements and Analysis and a Long-term Studies Proposal // In the Workshop on Technology and Policy for Accessing Spectrum (TAPAS). - Boston, USA, 2006. - p. 71
- 13 J. Kruys. Co-existence of Dissimilar Wireless Systems. [Электронный ресурс, 2003] [Цитировано 02 Марта 2015 г.] http://www.wi-fi.org/opensection/pdf/co-existence_dissimilar_systems.pdf.
- 14 P. D. Vries and A. Hassan. Spectrum Sharing Rules for New Unlicensed Bands. [Электронный ресурс, 2003] [Цитировано 10 Апреля 2015 г.] <http://www.wi->

fi.org/files/kc_32_Spectrum%20Sharing%20Rules%20for%20New%20Unlicensed%20Brands.pdf. – p.25

15 IEEE 802.15.1. Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs), 2002. - p.53

16 S. Pollin, M. Ergen, A. Dejonghe, L. V. D. Perre, F. Catthoor, I. Moerman, and A. Bahai. Distributed Cognitive Coexistence of 802.15.4 with 802.11. In the 1st International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom 2006). Mykonos, Greece, 2006. - p.35

17 R. G. Gallager. Discrete Stochastic Processes. Kluwer, 1996. - p.33

18 S. Shin, S. Choi, H. Park, and W. Kwon. Packet Error Rate Analysis of IEEE 802.15.4 Under IEEE 802.11b Interference // In the the Third International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC). Xanthi, Greece, 2005. [Электронный ресурс] [Цитировано 20 Мая 2015 г.]

Приложение А

Модель сосуществования в R1

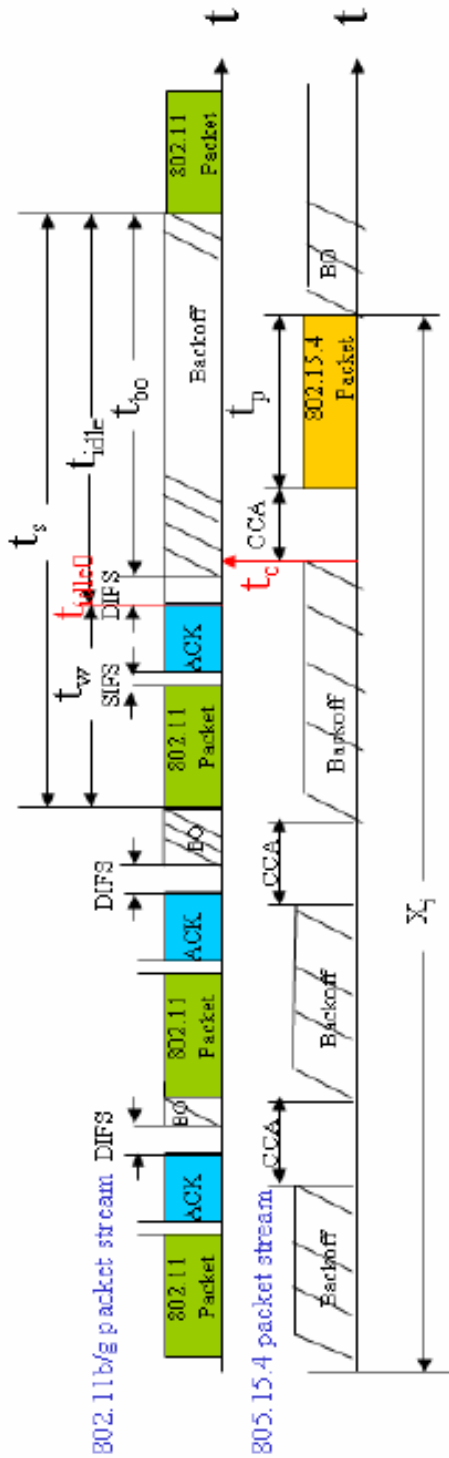


Рисунок А – Модель сосуществования в R1

Приложение Б Окно программы OPNET

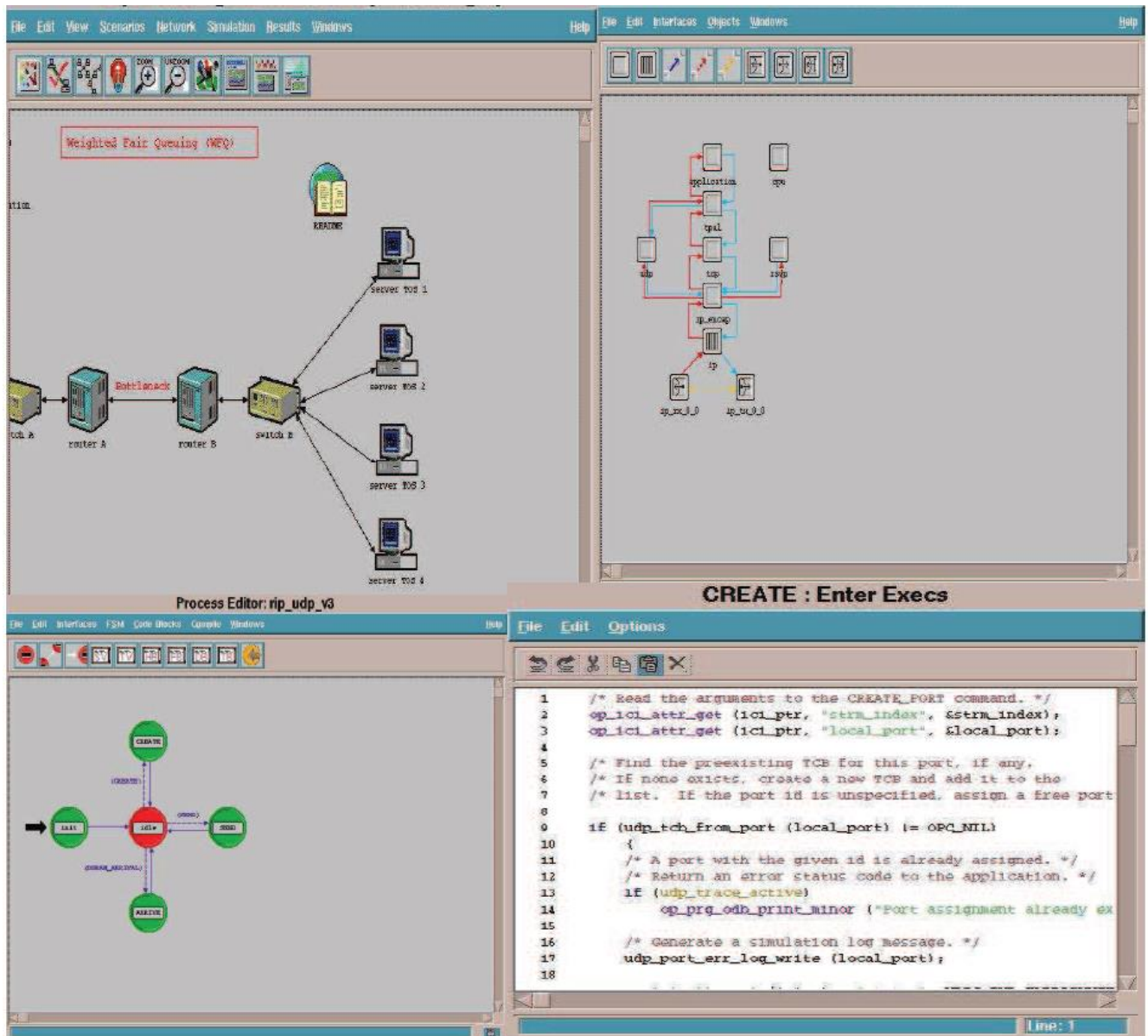


Рисунок 3.1 – Окно программы OPNET

Приложение В
Электронная версия магистерской работы и демонстрационный материал

Приложение Г
Раздаточный материал