Футахи Абдо Ахмед Хасан. Исследование влияния временных мобильных головных узлов на характеристики беспроводных сенсорных сетей: диссертация ... кандидата Технических наук: 05.12.13 / Футахи Абдо Ахмед Хасан;[Место защиты: ОТКЗ ФГБОУВО Московский технический университет связи и информатики], 2017

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

(СПбГУТ)

На правах рукописи

Футахи Абдо Ахмед Хасан ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ ГОЛОВНЫХ УЗЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Кучерявый Андрей Евгеньевич

Санкт-Петербург - 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

[Г лава 1. Конвергенция интернета вещей и сетей мобильной связи 11](#bookmark4)

1. [Концепция Интернета Вещей 11](#bookmark6)
2. [Интернет Вещей сегодня 12](#bookmark8)
3. [Т ехнологические тенденции 14](#bookmark10)
4. [Характеристики Интернета Вещей 16](#bookmark12)
5. [Эволюция сотовых технологий 18](#bookmark14)
6. [Эволюция от 1G до 4G 19](#bookmark16)
   1. [Системы длительной эволюции 24](#bookmark18)
      1. [Эволюция ***LTE.*** 11-я и 12 -я версии ***3GPP*** 26](#bookmark20)
      2. [***LTE-Advanced*** 26](#bookmark22)
   2. [Г етерогенные зоны обслуживания базовых станций ***LTE*** 26](#bookmark24)
      1. [Г омогенные сети сотовой связи 28](#bookmark26)
      2. [Г етерогенная сеть 28](#bookmark28)

Выводы: 31

Глава 2. Методы обслуживания трафика в гетерогенных зонах ***LTE*** 32

1. Кооперативные сети как метод обслуживания трафика в гетерогенных зонах ***LTE*** 32
2. [Принципы построения кооперативных сетей 32](#bookmark34)
3. [История развития 35](#bookmark37)
4. [Методы кооперации 37](#bookmark39)
5. [Фазы кооперации 39](#bookmark41)
6. [Схемы кооперации 40](#bookmark43)
7. [Всепроникающие сенсорные сети 41](#bookmark45)
8. Области применения сенсорных сетей 42
9. Задачи и проблемы 43
10. [Кластеризация в беспроводной сенсорной сети 47](#bookmark49)
11. [Мобильные беспроводные сенсорные сети 50](#bookmark51)
12. [Платформа динамической мобильной сенсорной сети на основе ID-](#bookmark53)

коммуникации 51

1. [Летающие сенсорные сети 57](#bookmark55)

[Выводы: 62](#bookmark58)

Глава 3. Сенсорные сети в гетерогенной зоне системы длительной эволюции 63

1. [Модель сети 64](#bookmark61)
2. [Расчет характеристик сети 65](#bookmark63)
3. [Вероятность доступности головного узла для произвольного узла сети .. 66](#bookmark64)
4. [Вероятность доступности временного головного узла 67](#bookmark68)

[Выводы: 73](#bookmark70)

[Глава. 4. Беспроводные сенсорные сети с мобильными временными головными](#bookmark71)

узлами 74

* 1. [Модель сети 76](#bookmark73)
  2. [Оптимизация длины раунда 77](#bookmark75)
  3. [Анализ влияния движения узлов на функционирование сети 81](#bookmark78)

[Выводы: 89](#bookmark81)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 90](#bookmark83)

[Список сокращений и условных обозначений 92](#bookmark85)

[Словарь терминов 95](#bookmark87)

[Список литературы 100](#bookmark89)

Приложение № 1 108

Приложение № 2 116

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Развитие сетей связи в настоящее время осуществляется на основе концепции Интернета вещей, которая подразумевает, что все физические и виртуальные вещи будут являться терминалами сети. Наиболее распространенной технологией для реализации концепции Интернета вещей на сегодняшний день являются беспроводные сенсорные сети, которые еще называют всепроникающими, поскольку эти сети могут использоваться практически во всех областях жизнедеятельности человека.

Исследования в области беспроводных сенсорных сетей широко проводятся с начала XXI века. За это время решены многие проблемы построения и функционирования сенсорных сетей. Беспроводные сенсорные сети обладают целым рядом особенностей по сравнению с традиционными сетями связи, что требует разработки новых методов их построения и обеспечения устойчивого функционирования. Специфика применения беспроводных сенсорных сетей, в основном используемых для мониторинга процессов, явлений и событий, а также ограниченные возможности сенсорных узлов, образующих эти сети, порождают появление новых характеристик сети, таких как длительность жизненного цикла, доля покрытия пространства, остаточная энергия узлов и т.п. Множество исследований было посвящено проблемам увеличения длительности жизненного цикла беспроводных сенсорных сетей и для большинства приложений сенсорных сетей эти проблемы были успешно решены на основе создания различных методов кластеризации. Выбор головного узла кластера и его ротация на протяжении жизненного цикла беспроводной сенсорной сети являются при этом важнейшей задачей.

Параллельно с развитием беспроводных сенсорных сетей продолжалось и развитие сотовых сетей мобильной связи. На определенном этапе при создании систем длительной эволюции LTE (Long Term Evolution) эти процессы совпали и появились так называемые гетерогенные зоны базовых станций LTE. Нахождение на одной территории мобильных терминалов, беспроводных сенсорных узлов, терминалов целевых сетей транспортных средств VANET (Vehicular Ad Hoc

Networks) и т.п. требует исследований по возможности совместного использования их ресурсов для обслуживания пользователей и/или вещей. При этом увеличение длительности жизненного цикла является основной задачей таких исследований.

В последние годы появились работы по использованию мобильных узлов иных сетей для снятия информации с узлов беспроводной сенсорной сети, а также использования беспилотных летательных аппаратов для увеличения связности беспроводных сенсорных сетей. В диссертации предлагается использовать

мобильные узлы в качестве временных головных узлов для беспроводной сенсорной сети. С учетом изложенного и новизны предлагаемого решения тема диссертации представляется актуальной.

Объект и предмет диссертации. Объектом исследования являются беспроводные сенсорные сети, а предметом исследования - временные

мобильные головные узлы для беспроводных сенсорных сетей.

Степень разработанности темы. Проблемам кластеризации беспроводных сенсорных сетей было посвящено достаточно много работ отечественных и зарубежных ученых А.Е. Кучерявого, А.П. Пшеничникова, Е.В. Туруты, В.А. Мочалова, П.А. Абакумова, А.В. Прокопьева, W. Heinzelman, O. Yonis, D. Kim, K. Lindsey, A. Salim и т.д.

По использованию мобильных узлов для снятия информации с

беспроводных сенсорных сетей и использованию беспилотных летающих

аппаратов для увеличения связности этих сетей известны работы V. Kafle и E.P.de Freitas. Работ по использованию мобильных узлов иных сетей в гетерогенной среде в качестве временных головных узлов кластеров беспроводной сенсорной сети до настоящего исследования известно не было.

Цель и задачи диссертации. Целью диссертационной работы является исследование и разработка методов использования временных мобильных головных узлов кластеров для увеличения доступности и длительности жизненного цикла беспроводных сенсорных сетей.

Для достижения поставленной цели в диссертации последовательно решаются следующие задачи:

* анализ современных направлений исследований в области беспроводных сенсорных сетей;
* анализ современных направлений исследований в области систем длительной эволюции и систем пятого поколения;
* разработка модели сенсорной сети с использованием временных мобильных головных узлов кластеров;
* определение характеристик доступности головного узла беспроводной сенсорной сети при использовании временного мобильного головного узла кластера;
* доказательство существования оптимального значения длительности раунда для разработанной модели беспроводной сенсорной сети;
* разработка методики выбора рационального значения скорости движения мобильного узла сети.

Научная новизна. Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

* разработана новая модель использования временных мобильных узлов для сбора данных с беспроводных сенсорных сетей, отличающаяся от известных выполнением этими узлами функций головных узлов кластеров;
* определены характеристики доступности головного узла беспроводной сенсорной сети при использовании временного мобильного головного узла кластера, при этом вероятность доступности головного узла беспроводной сенсорной сети может быть увеличена в несколько раз,
* доказано неизвестное ранее существование оптимального значения длительности раунда в беспроводных сенсорных сетях с временными мобильными головными узлами кластеров, что позволяет минимизировать затрачиваемую на кластеризацию энергию при ограничении на время доставки сообщений,

- разработана методика выбора рационального значения скорости движения мобильного узла сети, отличающаяся тем, что мобильный узел используется как временный головной узел кластера беспроводной сенсорной сети, что позволяет увеличить число обслуженных сенсорных узлов за интервал времени.

Теоретическая и практическая значимость диссертации. Теоретическая значимость диссертационной работы состоит, прежде всего, в разработке новой модели с использованием ресурсов временных мобильных головных узлов не только для сбора данных, но и для выполнения ими функций головных узлов кластеров. Кроме того, доказаны важные положения о существовании оптимального значения длительности раунда и рационального значения скорости движения временного мобильного головного узла кластера для новой модели беспроводной сенсорной сети.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в создании научно-обоснованных рекомендаций по планированию беспроводных сенсорных сетей с временными мобильными головными узлами кластеров. При этом достигаются лучшие энергетические показатели беспроводных сенсорных сетей и увеличение длительности жизненного цикла.

Полученные в диссертационной работе результаты использованы в учебном процессе кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ) при чтении лекций и проведении практических занятий.

Тематика и область диссертации. Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.12.13 — «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»: п.2 «Исследование процессов генерации,

представления, передачи, хранения и отображения аналоговой, цифровой, видео-, аудио- и мультимедиа информации; разработка рекомендаций по совершенствованию и созданию новых соответствующих алгоритмов и процедур», п.3 «Разработка эффективных путей развития и совершенствования архитектуры сетей и систем телекоммуникаций и входящих в них устройств», п. 12. «Разработка методов эффективного использования сетей, систем и устройств телекоммуникаций в различных отраслях народного хозяйства», п. 14. «Разработка методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Новая модель сенсорной сети с временными мобильными узлами расширяет область их применения на использование в качестве временных мобильных головных узлов кластеров.
2. Вероятность доступности головного узла беспроводной сенсорной сети может быть увеличена в несколько раз при использовании временного мобильного головного узла кластера.
3. Длительность раунда для беспроводных сенсорных сетей с временными мобильными головными узлами кластеров имеет оптимальное значение, соответствующее минимуму затрачиваемой энергии на кластеризацию при ограничении на время доставки сообщений.
4. Методика определения скорости движения временного мобильного головного узла кластера для беспроводной сенсорной сети позволяет осуществить выбор рационального значения скорости, обеспечивающего увеличение числа обслуженных сенсорных узлов за интервал времени.

Степень достоверности и апробация результатов. Публикации по теме диссертации. Достоверность основных результатов диссертации подтверждается корректным применением математического аппарата и достаточно широким обсуждением результатов диссертации на конференциях и семинарах.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских конференциях и семинарах: на 17-й и 18-й международных конференциях «International Conference on Advanced Communications Technology» (ICACT 2015, 2016); на семинаре “Инфокоммуникационные технологии в цифровом мире”, ЛЭТИ, (Санкт- Петербург, 2013); на 69-й конференции СПбНТОРЭС им. А.С. Попова (Санкт- Петербург, 2014); на 67-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов СПбГУТ, Санкт-Петербург, 28-29 мая 2013;

на III международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» СПбГУТ (Санкт-Петербург, 2014), а также на заседаниях кафедры сетей связи и передачи данных СПбГУТ.

Всего по теме диссертации опубликовано 9 работ, из них 2 статьи в зарубежном научно-техническом сборнике (Scopus), 2 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, 1 статья в журналах, включенных в РИНЦ, и тезисы докладов в количестве 4-х в материалах научных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает Введение, 4 главы, Заключение, Список сокращений и условных обозначений, словарь терминов и список литературы, включающий 85 наименований. Работа изложена на 118 страницах, содержит 34 рисунка, 1 таблицу и 2 приложения.

Личный вклад автора. Основные результаты диссертации получены автором самостоятельно.

Краткое содержание диссертации

Во Введении обоснована актуальность диссертации, рассмотрено состояние исследуемой проблемы, сформулированы цели и задачи диссертации, перечислены основные научные результаты диссертации, определена научная новизна, теоретическая и практическая ценность результатов, методология и методы диссертации, приведена область их применения, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы, публикациях по теме диссертации, описана структура диссертации и ее объем, краткое содержание глав диссертации.

В первой главе рассмотрена возможность конвергенции интернета вещей и систем длительной эволюции. Кроме того, проведен системный анализ концепции интернета вещей и представлены основные задачи и проблемы, которые нужно преодолеть для ее масштабного внедрения. Также были изучены этапы развития сетей мобильной связи от аналоговых систем 1 G до цифровых широкополосных систем 4G, в частности, LTE-Advanced.

Вторая глава посвящена современным методам обслуживания трафика в гетерогенных зонах LTE. При этом рассматриваются: кооперативная

коммуникация, которая обеспечивает виртуальную MIMO-систему для надежной доставки сообщений; всепроникающие сенсорные сети, области их применения и основные методы кластеризации беспроводных сенсорных сетей; летающие сенсорные сети.

В третьей главе была разработана модель сенсорной сети с использованием временных мобильных головных узлов кластеров, обеспечивающая увеличение доступности головных узлов и длительности жизненного цикла сети. В данной главе проведен расчет основных характеристик сети и вероятности доступности временного узла для остальных узлов сети.

Для обработки результатов моделирования использовался пакет Mathcad.

Четвертая глава посвящена вопросу определения значения длительности раунда для беспроводных сенсорных сетей с временными мобильными головными узлами кластеров и параметрам, влияющим на это значение. Разработана модель обслуживания сенсорных узлов временным мобильным головным узлом с учетом плотности узлов, скорости движения временного мобильного головного узла и его радиуса связи. Проведено исследование влияния скорости движения временного мобильного головного узла кластера для новой модели беспроводной сенсорной сети на функционирование беспроводной сенсорной сети.

Для обработки результатов аналитического моделирования использовался пакет Mathcad, а имитационного - среды Anylogic и Excel.

В заключении приводится описание основных результатов диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Анализ развития сетей связи на основе концепции Интернета вещей и эволюции сотовых сетей связи показал, что в настоящее время и в обозримом будущем сети связи можно охарактеризовать как гетерогенные. При этом гетерогенной становится и зона действия базовой станции системы длительной эволюции LTE, что требует модификации известных моделей для анализа и расчета сетей связи.
2. Для рационального распределения ресурсов в зоне базовой станции LTE возможно использовать методы кооперации. В работе проанализированы существующие подходы к кооперации и соответствующие методы с целью анализа их возможностей для продления жизненного цикла беспроводных сенсорных сетей при их нахождении в гетерогенной зоне LTE.
3. Разработана новая модель сенсорной сети с использованием временных мобильных головных узлов, в качестве которых могут выступать терминалы LTE, узлы VANET, квадракоптеры летающих сенсорных сетей.
4. Определены вероятности доступности головного узла кластера и временного мобильного головного узла. Доказано, что при использовании временного мобильного узла как головного узла кластера вероятность доступности головного узла беспроводной сенсорной сети может быть увеличена в несколько раз,
5. Процесс кластеризации в беспроводной сенсорной сети связан с расходом энергии, необходимым для передачи сообщений между узлами беспроводной сенсорной сети об организации кластера. Выбор продолжительности интервала кластеризации (раунда) влияет на время доставки сообщений в сети и энергопотребление. Оптимальное значение длительности раунда, определяемое минимумом расхода энергии на кластеризацию, определено из условия обеспечения требуемого времени доставки сообщений.
6. Разработана модель обслуживания узлов беспроводной сенсорной сети, отличающаяся от известных тем, что обслуживание этих узлов осуществляется временным мобильным головным узлом и при этом в модели учитываются плотность узлов сети, скорость движения временного мобильного головного узла, его радиус связи.

Разработана методика выбора рационального значения скорости движения мобильного узла сети, отличающаяся тем, что мобильный узел используется как временный головной узел кластера беспроводной сенсорной сети, что позволяет увеличить число обслуженных сенсорных узлов за интервал времени.