

ОТЗЫВ

Волкова Алексея Станиславовича на автореферат Фам Ван Дай на тему «Разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия» по специальности 2.2.15 – системы, сети и устройства телекоммуникаций

Актуальность темы диссертации

Развитие и распространение концепции Интернета вещей (ИВ) привело к появлению большого количества новых сетевых приложений и услуг. В рамках предоставления этих услуг часто обеспечивается возможность дистанционного мониторинга различных параметров, удаленное управление исполнительными устройствами и многое другое.

Огромную роль играют используемые для обмена данными сетевые протоколы Интернета вещей, которые в отличие от традиционных протоколов сетей связи общего пользования, обеспечивают низкое энергопотребление, возможность самоорганизации сети, выбор головного узла и т.д. К таким протоколам можно отнести протоколы ZigBee, Z-Wave, 6LowPAN и т.д. Однако большинство существующих протоколов ИВ не могут обеспечить большую дальность передачи данных, что приводит к необходимости увеличения числа узлов для покрытия большей территории.

Решением могут стать сети LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), которые рассматривались в рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в разделе «Построение узкополосных беспроводных сетей ИВ на территории Российской Федерации».

Сети LPWAN обладают высокой энергоэффективностью, а также обеспечивают передачу данных на большие расстояния. Один из недостатков таких сетей заключается в том, что в настоящее время большинство сетей LPWAN использует топологию «звезда», что не позволяет эффективно использовать такой тип сетей в условиях плотной городской застройки или сложного рельефа местности. Решением может послужить применение

«ячеистой» топологии для создания энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия.

Диссертационная работа посвящена исследованию задач маршрутизации для обеспечения более эффективной организации сети и расширения зоны обслуживания за счет применения ячеистой топологии, а также предоставлению услуг по передаче изображений на базе подобных сетей. В этой связи тема и результаты диссертационного исследования представляются весьма актуальными.

Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных автором научных и практических результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием математического и имитационного моделирования, соответствием расчетов с результатами экспериментальных исследований, а также широким обсуждением полученных результатов на международных и отечественных конференциях и семинарах.

Основные результаты диссертации, обладающие научной новизной:

1. Разработан фрагмент энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия, представленный в виде системы массового обслуживания, на базе которой в свою очередь была разработана имитационная модель, отличающаяся от известных тем, что в ней используется ячеистая топология с различной связностью. В результате имитационного моделирования определены пороговые уровни параметров качества обслуживания при различных характеристиках рассматриваемой сети связи.

2. Разработаны методы маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия на основе комплексного показателя канала связи и машинного обучения с подкреплением, отличающиеся от известных тем, что позволяют обеспечить эффективную передачу данных между узлами ячеистой сети и повысить охват зоны покрытия по сравнению с энергоэффективными ячеистыми сетями дальнего

радиуса действия с топологией «звезда», а также уменьшить задержку доставки пакетов при высокой нагрузке за счет самообучения нейронной сети на основе собираемых данных.

3. Разработан метод передачи мультимедийного трафика в энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия, отличающийся от известных тем, что он позволяет передавать изображения через сеть LoRa с поддержкой ячеистой топологии и поддержкой заданных параметров передаваемых изображений.

В автореферате представлены полученные в главах диссертации основные результаты: модели, методы, зависимости и т.д. Они имеют значительную теоретическую и практическую ценность и позволяют утверждать, что автор успешно решил поставленную в диссертационном исследовании задачу: разработать модели и методы маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия.

Результаты диссертации могут иметь большое практическое применение, в том числе в проектных организациях и у операторов связи для планирования, разработки и внедрения сетей Интернета вещей на предприятиях народного хозяйства, в рамках создания «умных городов» и т.д.

Содержание диссертации

Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы. Работа изложена на 160 страницах, иллюстрирована 51 рисунком и 10 таблицами. Список литературы содержит 111 наименований. В двух приложениях к диссертационной работе приведены документы, подтверждающие внедрение основных результатов диссертационной работы.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, приводится обзор публикаций по данной теме, формулируется суть поставленной и решенной научной проблемы, определяются предмет и объект исследований, цель и задачи исследований, кратко излагаются

содержание и основные результаты диссертации по главам, характеризуется их научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе проанализированы беспроводные технологии передачи данных Интернета вещей и рассмотрены перспективы развития энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия LPWAN. В рамках данной главы был проведен подробный анализ развития беспроводных сенсорных сетей и рассмотрены основные ограничения существующих энергоэффективных сетей дальнего радиуса действия. На основе проведенного анализа сделан вывод о необходимости реализации ячеистой топологии для эффективной передачи данных в «умных городах» в условиях плотной городской застройки. Также в рамках главы сформулированы задачи по разработке моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия, что позволит увеличить покрытие зоны обслуживания сети и повысить надежность обмена данными.

Во второй главе диссертационной работы проведен анализ существующих методов маршрутизации в беспроводных сетях с ячеистой топологией. Поскольку маршрутизация базируется на определенных метриках (например, минимальное количество переходов, наличие ошибок и сетевая задержка в каналах связи и т.д.). В результате анализа таких протоколов как AODV, DSR, DSDV было отмечено, что для выбора оптимального маршрута используется метрика минимального количества промежуточных узлов. Однако для эффективной работы сетей LPWAN необходимо учитывать и другие параметры, такие как сетевая задержка и потери при передаче данных для эффективной переадресации пакетов.

В третьей главе проводится разработка моделей и методов маршрутизации в энергоэффективных ячеистых сетях дальнего радиуса действия, для чего последовательно решается ряд задач: от разработки моделей фрагмента энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия до разработки методов маршрутизации в данной сети.

Для разработки модели фрагмента сети LPWAN автором была выбрана технология LoRa, которая является одной из базовых технологий для сетей LPWAN. При рассмотрении данной технологии были выделены такие параметры как коэффициент расширения спектра SF (Spreading Factor), ширина полосы пропускания BW (Bandwidth) и скорость кодирования CR (Coding Rate). В **разделе 3.1** представлено описание гибридных ячеистых сетей как элемента сетевой инфраструктуры для устройств ИВ в умных городах; в **разделе 3.2** предложена модель энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия на основе технологии LoRa; в **разделе 3.3** предложен метод маршрутизации на основе оценки комплексного показателя качества соединения; в **разделе 3.4** предложен метод маршрутизации на основе машинного обучения с подкреплением.

В **четвертой главе** представлен оригинальный метод передачи мультимедиа трафика в энергоэффективной ячеистой сети дальнего радиуса действия на основе технологии LoRa, описаны формат пакета для передачи изображения и процедура запроса передачи изображения. Подробно рассмотрены такие параметры, как размер изображения, количество пакетов, потери пакетов, оценка качества полученных изображений, энергопотребление узла передатчика изображения. В экспериментальном исследовании, проведенном на базе научно-исследовательской и испытательной лаборатории инновационных инфокоммуникаций ПАО «Ростелеком», передавались изображения различного качества. Установлена возможность передачи мультимедиа данных в сети LPWAN, а также особенности и зависимости, связанные с передачей изображений.

Замечания по диссертационной работе

По автореферату имеются следующие замечания:

1. **Во второй главе** автор упоминает о том, что существует несколько типов протоколов маршрутизации в беспроводных ячеистых сетях: проактивные, реактивные и гибридные. При этом далее рассматриваются только протоколы AODV и DSR (реактивные), а также DSDV (проактивный)

и не упоминается рассмотрение гибридных протоколов маршрутизации (например, ZRP, TORA и т.д.).

2. В четвертой главе описываются условные уровни качества изображения JPEG (10, 30 и 60), которые рассматривались в работе. При этом не очень понятно (в отличие от упоминаемого автором разрешения изображений), с какими численными характеристиками изображений связаны эти уровни.

Выводы и заключение

Отмеченные недостатки не влияют на результаты диссертации и ее общую положительную оценку. Судя по автореферату, диссертационная работа соответствует всем критериям, предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций, которые установлены пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор Фам Ван Дай заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Доцент кафедры телекоммуникационных систем

к.т.н., доцент



Волков Алексей Станиславович

25.10.2021

Организация: ФГАОУ ВО «Национальный Исследовательский Университет «Московский институт электронной техники».

Почтовый адрес: площадь Шокина, дом 1, ауд. 4335, Зеленоград, Москва, 124498.

Тел. (499) 731-44-41. Сайт: www.miet.ru. Email: leshvol@mail.ru.

Подпись Волкова А.С. удостоверяю

Начальник ОРП



Данилова Е.И.