

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)
по специальности «6D071900 – Радиотехника, электроника и
телекоммуникации»

Нұрғалиев Мадияр Кәменұлы

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Диссертационная работа посвящена оптимизации и повышению энергоэффективности самоорганизующихся беспроводных сенсорных сетей на примере технологий LoRa и ZigBee.

Актуальность темы.

Беспроводные сенсорные сети это система, состоящая из сенсорных (измерительных), вычислительных и коммуникационных элементов, которая дает администратору возможность измерять, наблюдать и реагировать на события и явления в определенной среде. Администратором может выступать любая гражданская, государственная, коммерческая или промышленная организация. Окружающая среда может быть физическим миром, биологической системой или информационно технологической (ИТ) структурой. Беспроводные сенсорные сети наиболее часто применяются в следующих областях: военная техника, наблюдение за окружающей средой, здравоохранение, использование в системах Smart home, коммерческое использование для наблюдения за технологическими процессами, потоком транспорта, обнаружения и слежения за транспортными средствами и так далее. Кроме мониторинга и наблюдения часто возникает необходимость контроля и активации при определённых условиях. В беспроводной сенсорной сети есть четыре основных компонента: (1) набор распределенных или локализованных сенсоров (датчиков); (2) взаимосвязанная беспроводная сеть; (3) координатора сети для сбора данных; и (4) вычислительный ресурс для обработки корреляции данных, событий, трендов и интеллектуальный анализ данных.

Данная диссертационная работа направлена на оптимизацию и повышение энергоэффективности самоорганизующихся беспроводных сенсорных сетей. С этой целью в данной работе были исследованы параметры беспроводных сенсорных сетей и их влияние на энергопотребление отдельного узла и всей сети. Исследования в данном направлении приводят к необходимости разработки модели потребления узлов сенсорной сети.

Актуальной задачей для повышения энергоэффективности беспроводных сенсорных сетей на сегодняшний день является снижение

энергопотребления беспроводных узлов за счёт оптимизации параметров узлов сети и конфигурации сети в целом. Также снижение энергопотребление беспроводных узлов с использованием направленных антенн на передающих узлах и оптимизация расположения узлов беспроводной сенсорной сети при развёртывании в помещении.

Целью диссертационной работы является повышение энергоэффективности беспроводных сенсорных сетей в синхронном и асинхронном режиме путём исследования параметров беспроводной сенсорной сети, прогнозирования энергопотребления узлов на основе Марковских цепей а также использования направленных антенн и оптимального расположения узлов сенсорной сети.

Объектом исследования – беспроводные сенсорные сети и технологии беспроводной передачи данных LoRa и ZigBee.

Предмет исследования – энергоэффективность беспроводных сенсорных сетей в зависимости от её параметров, влияние направленных антенн и расположения узлов беспроводной сенсорной сети в пространстве на энергопотребление сети.

Методами исследования являются:

- экспериментальное определение энергопотребления беспроводной сенсорной сети в синхронном и асинхронном режиме работы;
- моделирование энергопотребления узлов сети в асинхронном режиме с помощью Марковских процессов;
- экспериментальное исследование влияния направленных антенн на энергопотребление узлов сети;
- прогнозирование мощности принимаемого сигнала с помощью машинного обучения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проектирование, сборка и отладка беспроводных узлов для построения сенсорной сети;
- изучение параметров беспроводной сенсорной сети: мощность передачи, длина пакета, динамика разряда аккумуляторной батареи, время сна, вероятность коллизий в канале связи, вероятность ошибочного приёма, и исследование их влияния на энергопотребление узлов беспроводной сенсорной сети;
- разработка модели прогнозирования энергопотребления беспроводной сенсорной сети с учётом динамики разряда аккумулятора и параметров сенсорной сети при детерминированной и случайной передаче данных;
- проектирование и изготовление направленных антенн для технологии LoRa и ZigBee на частоте 433 МГц и 2,4 ГГц соответственно и измерение их характеристик;
- изучение влияния направленных антенн и расположения узлов относительно приёмника в открытой местности и в помещении на мощность принимаемого сигнала;

– экспериментальное исследование мощности принимаемого сигнала от передающего устройства в различных точках помещения;

разработка модели прогнозирования оптимального положения узлов сенсорной сети в помещении с использованием методов машинного обучения.

Новизна работы. Новизна и оригинальность работы заключается в том, что в ней впервые:

- разработана модель прогнозирования времени работы узлов беспроводной сенсорной сети на основе Марковских цепей с учётом динамики разряда аккумуляторов в синхронном и асинхронном режиме;

- экспериментально определено влияние направленных антенн на энергопотребление и эффективность работы узлов беспроводной сенсорной сети;

- предложена модель для прогнозирования мощности принимаемого сигнала от передатчика в помещении для фиксированного положения приёмника с использованием методов машинного обучения.

Положения, выносимые на защиту:

1 Прогнозирование энергопотребления беспроводной сенсорной сети на основе Марковских цепей показывает, что вероятность продолжительности времени работы беспроводной сенсорной сети более 36 месяцев при асинхронной передаче данных приближается к 100 процентам, если количество сообщений в сутки с длиной одного пакета 500 байт не будет превышать 30 при использовании двух литий-ионных аккумуляторов модели 18650 ёмкостью 3000 мАч на каждом узле;

2 Энергопотребление передающих узлов в беспроводных сенсорных сетях с направленными антеннами снижается на 12-25% при синхронной передаче данных, и на 45-60% при асинхронной передаче данных по сравнению с энергопотреблением при использовании всенаправленных антенн;

3 Оптимальное расположение передающего узла относительно приёмника в помещении определяется на основе методов машинного обучения и повышает мощность принимаемого сигнала в среднем на 33% на частоте 433 МГц и на 78% на частоте 2,4 ГГц по сравнению с другими узлами, находящимися на том же расстоянии от приёмника.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Результаты, полученные в данной диссертации, представляют ценность для повышения энергоэффективности и оптимального соотношения энергетических затрат и площади покрытия сети, прогнозирования работы сети и увеличения времени работы узлов. Полученные сведения могут быть использованы при создании новых сенсорных сетей и улучшения существующих сетей с целью обеспечения безопасности и комфорта людей в домах и зданиях, получения данных от сенсоров в течение более длительного периода и оптимального использования ресурсов.

При развёртывании автономной беспроводной сенсорной сети для исследования медленно меняющихся процессов или случайных процессов

необходимо уметь прогнозировать время работы сети. В данной работе предложена модель потребления узлов сенсорной сети. Исследования в данном направлении приводят к необходимости разработки модели потребления узлов сенсорной сети. В частности, необходима модель энергопотребления для прогнозирования работы сети в синхронном и асинхронном режиме с учётом нелинейного характера разряда батареи узла.

Влияние направленных антенн на энергопотребление беспроводных сенсорных сетей заключается в снижении интерференции, большей дальности действия сигнала и снижении мощности передаваемого сигнала.

Оптимизация расположения узлов сенсорной сети в пространстве представляет собой практический интерес при развёртывании энергоэффективной беспроводной сенсорной сети с целью мониторинга и слежения.

Достоверность и обоснованность полученных результатов определяется тем, что экспериментальные данные, полученные в процессе выполнения работы, хорошо согласуются с расчётами, полученными с использованием предложенных моделей. Кроме того достоверность полученных результатов подтверждается наличием публикации в журнале дальнего зарубежья с импакт-фактором и в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, и в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья.

Личный вклад автора заключается в том, что весь объем диссертационной работы, выбор метода исследования, сборка беспроводных модулей, изготовление направленных антенн, проведение экспериментов и анализ полученных данных, разработка математической модели потребления узлов беспроводной сенсорной сети выполнены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

Публикации.

По материалам диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ: 4 в журналах из перечня КОКСОН МОН РК для опубликования основных результатов диссертации на соискание ученой степени PhD и 1 статья в журнале дальнего зарубежья с импакт-фактором, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science (Clarivate Analytics, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды); 3 работы в материалах Международных научных конференций.

Апробация диссертационной работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной конференции 2018 IEEE International conference on computing and network communications (CoCoNet) (2018, Нурсултан, Казахстан);

– на Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Фараби Элемі» (2019 Алматы, Казахстан);

– на Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Фараби Әлемі» (2020 Алматы, Казахстан);

Результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы:

– **Nurgaliyev M. Saymbetov, A., Yashchyshyn, Y., Kutybay, N., & Tukymbekov, D.** Prediction of energy consumption for LoRa based wireless sensors network //Wireless Networks. – 2020. – Vol. 26., No. 5. P. 3507-3520.

– **М.К. Nurgaliyev, А.К. Saymbetov, B.N. Zholamanov, A.T. Yeralkhanova, G.B. Zhuman.** Predicting the lifetime of LoRa based wireless sensor networks using a probabilistic model of Markov chains. // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan -2021. – Vol. 336., No. 2. P. 157-164 (**КОКСОН**)

– **Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Омарали Б.М., Құттыбай Н.Б., Туқымбеков Д.Х., Досымбетова Г.Б.** Беспроводные приемопередающие устройства на основа технологии LoRa с различными оконечными устройствами. // Вестник КазНУТУ. -2020. -138, №2. -С.455-461 (**КОКСОН**)

– **Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Бектұрған Ү.Қ., Шаймерденова М.Е., Құттыбай Н.Б., Туқымбеков Д.Х.** Разработка беспроводных сенсорных сетей на основе технологий LoRa WAN и NRF24L01 и исследование распространения радиоволн в различных условиях // Вестник КазНУТУ. – 2019. – 134, №4. –С.279-286 (**КОКСОН**)

Туқымбеков Д. Х., Саймбетов А.К., Құттыбай Н.Б., **Нұрғалиев М.К.** Ажибиева А.Р., Шаймерденова М.Е., Энергоэффективная автономная интеллектуальная система уличного освещения на основе ZigBee // Вестник КазНУТУ. -2019. -134, №4. -С.262-267 (**КОКСОН**)

Диссертационная работа частично выполнена соответствии с планами научно-исследовательской работы (НИР): «Разработка интеллектуальной автономной системы беспроводного контроля и мониторинга уличного освещения» 2018-2020 гг., ИРН АР05132464.

Свидетельство об авторских правах

Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К., Құттыбай Н.Б., Оптимизация беспроводных сенсорных сетей с помощью направленных антенн и выбора оптимального положения передающего узла в помещении // Авторское свидетельство, 2022. №25205.

Объём и структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников из 131 наименований, содержит 115 страниц основного компьютерного текста, включая 86 рисунков, 28 формул и 13 таблиц.