

## **Отзыв официального оппонента**

Кучерявого Евгения Андреевича

на диссертационную работу **Мохаммада Навара**

на тему «Маршрутизация данных в гетерогенной беспроводной сенсорной сети с применением методов интеллектуального анализа данных», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В последние десятилетие продолжается активное развитие Интернета вещей с использованием нового класса систем передачи данных - беспроводных сенсорных сетей. Внедрение современных коммуникационных технологий Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, WiMax, 5G и других привело к повсеместному применению БСС в разных областях человеческой деятельности в том числе для мониторинга больших наземных зон покрытия и выбора способа организации передачи данных между сенсорами и шлюзами/базовыми станциями, а также их совместного использования для решения задач передачи данных в гетерогенных сетях.

Использование гетерогенной сети, объединяющей наземные сегменты со стационарными сенсорными узлами и сеть недорогих беспилотных летательных аппаратов для передачи данных на большие расстояния, является перспективным подходом для передачи данных на базовую станцию в условиях отсутствия беспроводной инфраструктуры в труднодоступных районах Сирийской Арабской Республики. Использование методов интеллектуального анализа данных также повышает эффективность и качество обработки информации в распределенных и гетерогенных сетях.

Таким образом, можно говорить об актуальности задачи разработки гетерогенной модели передачи данных с использованием эффективных и интеллектуальных методов.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе**

Обоснованность сформулированных положений и выводов, достоверность результатов, полученных в диссертации, определяются корректной постановкой задачи исследования; использованием современной архитектуры для беспроводных сенсорных сетей, оснащенных роем БПЛА; применением математического аппарата в методах интеллектуального анализа данных для обработки потока данных в сети; доказательством корректности предлагаемых решений; обсуждением результатов диссертационной работы на конференциях. Полученные результаты раскрыты в диссертационной работе достаточно полно.

## **Характеристика содержания диссертационной работы**

Текст работы изложен на 133 страницах, состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы, научной и практической значимости работы, научной новизне. Автор выделяет результаты, выносимые на защиту, приводит данные об апробации и внедрении, излагает структуру диссертации.

В первой главе проанализированы исследования и разработки в области маршрутизации данных в беспроводных сенсорных сетях, в которых использовались методы кластеризации и маршрутизации для достижения высоких показателей качества обслуживания.

Во второй главе рассмотрен анализ методов и моделей интеллектуального анализа данных для обработки трафика в гетерогенной БСС; предложен сценарий работы протокола маршрутизации в гетерогенной беспроводной сенсорной сети.

В третьей главе разработаны модель и алгоритмы обработки данных в гетерогенной БСС на основе топологии исследуемого региона в Сирийской Арабской Республике.

В четвертой главе приведены результаты компьютерных экспериментов, полученные с помощью разработанного программного комплекса для моделирования гетерогенной БСС (ПК МГБСС).

Структура работы логична и отвечает задачам исследований. Разработанная гетерогенная модель БСС, включающая модели наземной беспроводной сенсорной сети и роя беспилотных летательных аппаратов, эффективные алгоритмы и методы ИАД передачи данных описаны достаточно полно.

## **Результаты диссертационной работы**

Результаты, полученные в диссертационном исследовании аккуратно обоснованы теоретически, с практической точки зрения ценность работы подтверждена внедрениями и заключается в возможности непосредственного применения результатов для проектирования гетерогенной беспроводной сенсорной сети.

## **Научная новизна результатов диссертационной работы**

Научная новизна диссертационной работы состоит в разработке модели гетерогенной беспроводной сенсорной сети, включающей наземный сегмент и рой беспилотных летательных аппаратов, и эффективных методов передачи данных на большие расстояния, направленных на увеличение производительности наземной беспроводной сенсорной сети, а также на быструю передачу данных через рой БПЛА

Наиболее существенными новым научными результатами, полученными соискателем, являются:

1. Разработанная имитационная модель гетерогенной беспроводной сенсорной сети, включающая методы интеллектуального анализа данных.
2. Разработанный метод эффективной кластеризации наземной беспроводной сенсорной сети с использованием модифицированного алгоритма K-средних.
3. Предложенная методика маршрутизации данных для наземного сегмента БСС с использованием нейронной сети Хопфилда.
4. Разработанная методика скоростной маршрутизации данных для летающего сегмента сети (рой БПЛА) с использованием генетического алгоритма.

### **Теоретическая и практическая ценность полученных результатов**

Теоретическая ценность работы заключается в предложенном подходе к разработке гетерогенной модели, состоящей из сегментов наземной сети с фиксированными беспроводными датчиками и сети беспилотников, обеспечивающей беспроводную инфраструктуру для передачи данных на большие расстояния и использование интеллектуальных эффективных методов и алгоритмов, обеспечивающих такую передачу данных.

Практическая ценность результатов диссертационной работы заключается в том, что предложенные решения позволяют перейти к созданию беспроводной системы удаленного мониторинга труднодоступного горного сельскохозяйственного района Сирийской Арабской Республики в условиях отсутствия в этом регионе инфраструктуры связи.

Значимость результатов диссертационного исследования подтверждается внедрением в учебный процесс на кафедре «Интеллектуальные системы в управлении и внедрением автоматизации» Московского Технического Университета Связи и Информатики.

### **Публикации по теме диссертации**

Работы, опубликованные соискателем, дают полное представление о содержании самой диссертации и результатах, полученных в процессе исследования. По теме диссертации соискателем опубликовано 11 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки Российской Федерации, 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах Scopus, 8 статей и материалы конференций индексируемые в РИНЦ, включая 3 свидетельства о регистрации ПО.

## **Замечания по тексту диссертационной работы**

1- На стр.20, 21 автор описывает классификацию алгоритмов и протоколов маршрутизации, приведенных в ряде источников. При этом для алгоритмов маршрутизации приведены некоторые классификационные признаки, а для протоколов используется просто перечисление по принадлежности к определенной категории без классификационных признаков.

2- На стр.35 обозначена проблема избыточных данных при плотном размещении узлов. «Из-за плотного размещения сенсорные узлы генерируют избыточные данные, и базовая станция может получать несколько копий одних и тех же данных. Это приводит к неоправданному расходу энергии сенсорных узлов». Не вполне ясно является ли эта проблема актуальной для модели гетерогенной БСС, исследуемой автором.

3- На стр. 55 на рис. 3.2 гетерогенная модель содержит 10 беспилотников и имеет радиовидимость до 2000 метров для покрытия слоя длиной 20 км и шириной 6 км. Однако 10 беспилотников недостаточно для покрытия этого слоя. Кроме того, как распределяются эти беспилотники? Как перемещаются? Не существует ли вероятность того, что связь между этими дронами будет прервана?

4- На стр.91,92 в табл. 4.2-4.6 приведено время жизни сети при различном количестве кластеров  $N = \{100,250,500,1000\}$ , Единицей расчета времени жизни сети является раунд. Что означает раунд? Значения  $N$  заданы случайным образом или с помощью формулы 3.18 п.3.3.3 третьей главы, и почему для каждой таблицы был выбран именно этот диапазон значений  $K$ ?

5- На стр.115 на рис.4.36 (а,б) в протоколах LEACH и PLEACH есть раунды, в которых количество пакетов, отправленных на ГКУ, равно нулю. Означает ли это, что кластеризация в этих раундах не происходит? По какой причине эта ситуация увеличивается со временем?

Отмеченные замечания в целом не снижают общее положительное впечатление о работе и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

## **Заключение**

Диссертационное исследование Мохаммада Навара является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи связанной с разработкой эффективных методов передачи данных на большие расстояния в модели гетерогенной беспроводной сенсорной сети, включающей наземный и летающий сегменты.

Работа выполнена на высоком уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Содержание и основные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы. Оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям.

Таким образом, диссертационная работа является законченной квалификационной работой, полностью соответствующей требованиям, предъявляемым к таким работам Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации «О порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 № 842, а соискатель, Мохаммад Навар, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

#### Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова

Кучерявый Евгений Андреевич

07.06.2024

Подпись заверяю

СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ  
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА  
АЗОВЦЕВ Т. Д.

#### Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11  
телефон: + 7 (495) 771-32-32, + 7 (495) 531-00-00  
e-mail: hse@hse.ru