



МИНИСТЕРСТВО
ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Ордена Трудового Красного Знамени
Российский научно-исследовательский
институт радио имени М.И. Кривошеева»
(ФГБУ НИИР)**

Почтовый адрес: Казакова ул., д. 16, Москва, 105064
Телефон: (495) 647-17-77, факс: (499) 261-00-90
E-mail: info@niir.ru, <http://www.niir.ru>
ОКПО 56622156, ОГРН 1227700388827
ИНН/КПП 9709082715/770901001

«Утверждаю»

Заместитель генерального
директора
ФГБУ НИИР по науке
Кандидат технических наук,
доцент

А.А. Захаров

«15» мая 2024 г.



№ _____

На № 935a/54 от 18.04.2024

Отзыв ведущей организации

**Отзыв ведущей организации
на диссертационную работу Мохаммада Навара
на тему «Маршрутизация данных в гетерогенной беспроводной сенсорной сети
с применением методов интеллектуального анализа данных»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций**

1. Актуальность темы диссертационных исследований

Беспроводные сенсорные сети (БСС), обеспечивающие сбор и передачу данных в системах Интернета вещей (IoT – Internet Of Things) в настоящее время находят все более широкое применение в социально-экономической сфере, в том числе в промышленности, в сельском хозяйстве, в инновационно-коммуникационных технологических решениях, на транспорте, в экологии и здравоохранении. Перспективным является применение БСС в составе гетерогенных сетей, интегрирующих сегменты наземной сети, включающей стационарные сенсорные узлы с беспроводными датчиками, с воздушной сетью беспилотных летательных аппаратов малой стоимости для передачи данных на большие расстояния. В связи с тем, что ресурсы БСС, такие как мощность, память и скорость передачи данных, ограничены, оптимизация алгоритмов и протоколов передачи данных в гетерогенных БСС, в том числе, алгоритмов и протоколов маршрутизации, становится одной из основных научных задач при проектировании гетерогенных БСС. От эффективности маршрутизации зависит эффективность работы БСС в целом и улучшение показателей

качества обслуживания (Quality of Service, QoS), обеспечиваемых БСС. Важным инструментом в повышении эффективности маршрутизации в гетерогенных БСС являются современные интеллектуальные технологии, позволяющие выполнять передачу информации в распределённых сетях даже в случаях их частичной деградации или нарушения целостности. Это относится, в том числе, к таким новым перспективным типам БСС, как сети БПЛА, роевая робототехника, тактильный интернет, интеллектуальные телекоммуникационные услуги. В этой связи задача исследования и разработки интеллектуальных методов и алгоритмов эффективной и маршрутизации БСС является актуальной и практически значимой.

Актуальность тематики диссертационных исследований Мохаммада Навара обусловлена также необходимостью применения современных беспроводных сенсорных сетей в сельском хозяйстве Сирийской Арабской Республики, где решение этой задачи затруднено географическими особенностями горной местности, обуславливающими необходимость применения гетерогенной беспроводной сенсорной сети, включающей наземный сегмент со стационарными сенсорными узлами и летающую сеть, что является крайне актуальной задачей при мониторинге и контроле зон покрытия с использованием интернета вещей в труднодоступной горной местности Сирии.

2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа Мохаммада Навара направлена на повышение эффективности беспроводных сенсорных сетей за счет применения методов и алгоритмов интеллектуального анализа при сборе и маршрутизации данных в гетерогенной БСС, объединяющей наземную и летающую сенсорные сети, что определяет новизну исследований и полученных результатов.

Логика решаемых в диссертации задач предусматривает разработку и использование новых методов, алгоритмов и реализующих их программных средств, обеспечивающих улучшение QoS гетерогенной БСС и повышение эффективности обработки и передачи трафика в разных сегментах указанной сети. Автором предложены новые методы эффективной кластеризации в наземной БСС, обеспечивающих нахождение и распределение оптимального количества кластеров и маркировку головных кластерных узлов (ГКУ), разработан новый протокол эффективной маршрутизации данных с применением методов интеллектуального анализа, улучшающий показатели QoS гетерогенной сенсорной сети,

Таким образом, полученные в диссертационном исследовании результаты обладают научной новизной, заключающейся в:

- 1) имитационной модели гетерогенной беспроводной сенсорной сети для комплексного моделирования и исследование показателей качества сети;
- 2) модифицированном алгоритме К-средних для эффективной кластеризации сегмента наземной беспроводной сенсорной сети;

3) методике маршрутизации данных *KmHNNSP* для наземного сегмента БСС с помощью интеграции модифицированного алгоритма К-средних и нейронной сети Хопфилда;

4) методике скоростной маршрутизации данных для летающего сегмента сети (рой БПЛА) с использованием генетического алгоритма.

3. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность суждений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается всесторонним анализом предшествующих научных работ в области маршрутизации БСС; корректностью постановки научной задачи; корректным практическим применением математического аппарата при решении конкретных научных задач с помощью компьютерного моделирования; публикацией полученных результатов и обсуждением их со специалистами на научных конференциях и семинарах.

Представленная в диссертационной работе последовательность диссертационных исследований и решение поставленных в диссертации задач позволили получить следующие обоснованные научные результаты диссертационных исследований и основные положения, выносимые на защиту:

- комплексная модель гетерогенной беспроводной сенсорной сети, объединяющая структурно-функциональную модель, математические модели кластеризации и маршрутизации, сформированные с применением интеллектуальных методов, обеспечивающие эффективную обработку данных и получение более высоких показателей качества сети, по сравнению с другими моделями;

- метод эффективной кластеризации наземного сенсорного поля гетерогенной сети, обеспечивающий расчет оптимального количества кластеров и их рациональную топологию исключающую «скученность» ГКУ в малой области, обеспечивающий стабильность работы и сокращающий временные затраты на обработку информации в наземном шлюзе по сравнению с другими подходами;

- обобщенный протокол маршрутизации для гетерогенной БСС на основе структуры пакетов данных, объединяющий сценарии: 1) сбора данных со всех ГКУ наземной части, увеличивающий время жизни сети и снижающий потребление энергии в среднем в 1,3 раза по сравнению с другими протоколами и 2) построения кратчайшего пути в летающей части при динамическом изменении топологии сети со скоростным доступом к базовой станции.

4. Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке и исследовании новых алгоритмов передачи данных в гетерогенной модели БСС с учетом радиовидимости узлов и их местоположения. К ним относятся: модифицированный алгоритм k-средних эффективной кластеризации, предназначенный для поиска оптимального количества кластеров; алгоритм *KmnHHSP* передачи данных между кластерами в наземном сегменте гетерогенной модели, который снижает энергопотребление узлов; алгоритм передачи данных в летающей

части гетерогенной модели предназначенный для обеспечения скоростного доступа к базовой станции. Помимо основных целей, алгоритмы также улучшают общую производительность гетерогенной модели, оптимизируя пропускную способность и время жизни наземной беспроводной сенсорной сети.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методологии планирования для реализации гетерогенной модели в интеллектуальном сельском хозяйстве. Методология планирования может быть использована для труднодоступных горных сельскохозяйственных районов в Сирийской Арабской Республике с применением летающего коридора из недорогих БПЛА.

Практическая значимость работы подтверждается наличием акта о внедрении результатов диссертационных исследований и трёх программ для ЭВМ имеющих государственную регистрацию, зарегистрированных в Федеральной службе по интеллектуальной собственности РФ.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Вследствие узкоспециализированной прикладной направленности результатов диссертационного исследования, их в дальнейшем целесообразно использовать в компаниях, специализирующихся на интеллектуальном сельском хозяйстве и производящих системы дистанционного управления и мониторинга.

6. Общая оценка диссертационной работы

Анализ диссертации показал, что ее структура характеризуется внутренним единством и логической связностью. Диссертация содержит все необходимые структурные элементы, требуемые в соответствии с положением о содержании диссертационной работы. Достижение цели диссертационных исследований осуществляется автором поэтапно. Каждая из глав диссертации представляет исследования, направленные на получение основных научных результатов диссертационной работы, содержащих научную новизну.

Проведенный **в первой главе** анализ существующего состояния исследований и разработок в области маршрутизации данных в БСС показывает высокий уровень востребованности разработки новых методов, алгоритмов и структур, связанных с беспроводными сенсорными сетями, в том числе с опорой на методы искусственного интеллекта для принятия оптимальных решений по маршрутизации данных.

В результате проведенных **во второй главе** исследований сформирован набор наиболее эффективных в настоящее время методов и моделей интеллектуального анализ данных, которые могут быть использованы при обработке трафика в исследуемой гетерогенной сети БСС для эффективной кластеризации и маршрутизации БСС с помощью машинного обучения. Разработана структура пакетов данных для алгоритма маршрутизации в модели беспроводной гетерогенной сети,

В третьей главе, на основе применения методов и моделей, исследованных в первой и второй главах, разработаны алгоритмы обработки данных, использование которых обеспечивает улучшение эксплуатационных показателей гетерогенных БСС. В том числе разработан метод эффективной кластеризации наземной БСС на основе алгоритма обучения сети Кохонена с Конструктивным методом, протокол сбора и

маршрутизации данных в наземной БСС на основе нейронной сети Хопфилда, и протокол, обеспечивающий последовательную передачу данных в разных сегментах гетерогенной БСС.

В четвертой главе на базе разработанного программного комплекса установлено, что разработанный соискателем протокол маршрутизации данных в наземной беспроводной сенсорной сети обеспечивает улучшенные значения для таких показателей QoS БСС как время жизни сети, энергоэффективность (остаточная энергии сети), и пропускная способность сети по сравнению с широко используемым в беспроводных сенсорных сетях современным протоколом LEACH и его усовершенствованной версией PLEACH. Кроме того, установлено, что алгоритм маршрутизации в летающей части обеспечивает ускоренный доступ к базовой станции.

В приложении к диссертации представлен Акт о внедрении результатов диссертационных исследований в учебный процесс МТУСИ.

По диссертационному исследованию Мохаммада Навара имеются следующие замечания.

Отсутствует обоснование выбора алгоритма обучения сети Кохонена с Конструктивным методом для кластеризации БСС. Не сформулирован набор критериев выбора способа кластеризации БСС и не проведен сравнительный анализ различных способов кластеризации на основе сформированного набора критериев.

Отсутствует обоснование использования нейронной сети Хопфилда для маршрутизации данных в БСС. Не сформулирован набор критериев выбора вида нейронной сети для маршрутизации данных в БСС.

Отсутствует обоснование выбора генетического алгоритма для маршрутизации данных в летающем сегменте БСС (рой БПЛА). Не сформулирован набор критериев выбора алгоритма из числа существующих эвристических алгоритмов, используемых для решения сложных оптимальных задач.

В тесте диссертационной работы имеются опечатки и отсутствуют расшифровки отдельных аббревиатур.

Вместе с тем, проблема улучшения показателей QoS в гетерогенных БСС несомненно является актуальной. В результате проведенных в работе исследований разработан алгоритм маршрутизации данных в гетерогенной БСС с применением методов интеллектуального анализа данных, использование которого способствует решению указанной проблемы. С учетом отмеченного, перечисленные замечания не влияют на полученные результаты и не снижают уровень научной и практической значимости работы Мохаммада Навара. Результаты моделирования в достаточной мере показывают эффективность предлагаемых в диссертационной работе моделей, методов, алгоритмов и протоколов. Поставленные задачи в работе выполнены в полном объеме, цель исследования достигнута.

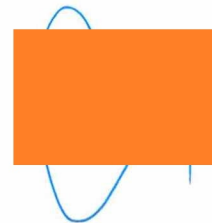
7. Заключение о соответствии диссертации требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ

Диссертационное исследование Мохаммада Навара на тему «Маршрутизация данных в гетерогенной беспроводной сенсорной сети с применением методов

интеллектуального анализа данных» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком уровне, в которой содержится решение актуальной научной задачи, имеющей важное значение для развития теории и практики создания перспективных гетерогенных беспроводных сенсорных сетей. Внедрение полученных результатов будет способствовать улучшению эффективности сетевых показателей QoS, в том числе, повышению времени жизни сетей, энергоэффективности и пропускной способности сетей. Диссертационная работа соответствует 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 Мохаммад Навар заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Диссертация и автореферат рассмотрены и обсуждены на заседании научно-технического совета Федерального государственного бюджетного учреждения «Ордена Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский институт радио имени М.И. Кривошеева» 14 мая 2024 года, протокол № 035-24-05.

Директор Центра исследований
систем обработки больших данных ФГБУ НИИР
доктор технических наук, доцент



С.В.Кизима

Заместитель директора Центра исследований
беспроводных сетей связи ФГБУ НИИР
кандидат технических наук



М.В. Иванкович

Подпись С.В. Кизимы и М.В. Иванкович заверяю
Директор службы персонала ФГБУ НИИР



В.А. Тютюнова