

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу
 Турлыкожаевой Даны Абдикумаровны на тему «Информационно-энтропийный метод маршрутизации беспроводных сетей»,
 предоставляемую на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D06201 – Радиотехника,
 электроника и телекоммуникации».

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направленным развитию науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Диссертационная работа на тему «Информационно-энтропийный метод маршрутизации беспроводных сетей» рассматривает одну из актуальных задач современной телекоммуникационной науки – повышение эффективности передачи данных в условиях динамичных и распределённых беспроводных сетей. Исследование проводится в рамках научного проекта, финансируемого из государственного бюджета: грант AP19674715, поддержанный Комитетом науки МНВО РК. Автор официально входит в исследовательскую группу и принимает непосредственное участие в реализации задач проекта, что полностью соответствует первому критерию. Содержание работы отражает приоритетное направление, утвержденное Высшей научно-технической комиссией при Правительстве РК – «Информационные, телекоммуникационные и космические технологии», с особым вниманием к интеллектуальным методам маршрутизации, теории информации и оптимизации сетевой структуры.

2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта.	Диссертационная работа «Информационно-энтропийный метод маршрутизации беспроводных сетей» вносит значительный вклад в развитие науки, особенно в области методов оптимизации сети и маршрутизации. Автором разработаны инновационные методы, которые нашли отражение в 8 статьях, опубликованных в международных научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus. Кроме того, результаты исследования были защищены двумя патентами на полезные модели, что дополнительно подтверждает практическую значимость и инновационность предложенных методов для беспроводных сетей.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Высокий уровень самостоятельности докторант продемонстрировал на всех этапах исследования. Все основные результаты, выносимые на защиту, получены им самостоятельно. Личный вклад автора включает проведение обзора литературы, написание и редактирование научных статей, разработку и моделирование сетей в среде Python и NS3 для анализа работы беспроводных сетей, а также проведение расчетов фрактальных размерностей. Докторант реализовал алгоритмы маршрутизации и провел сравнительный анализ с существующими методами под руководством научного руководителя Ахтанова С.Н. Также был проведен эксперимент по получению реальных сигналов MIMO для автоматической классификации модуляции, что подтвердило практическую работоспособность метода. Теоретическая часть работы разрабатывалась под руководством научного руководителя, а расчеты, программная реализация и экспериментальная работа выполнялись автором при совместной постановке задач и обсуждении результатов с научными консультантами.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) обоснована; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность диссертации обоснована необходимостью решения ряда ключевых проблем, с которыми сталкиваются беспроводные ячеистые сети (WMN). Несмотря на значительный потенциал и преимущества, такие как отказоустойчивость и масштабируемость, WMN испытывают трудности в условиях динамично меняющейся топологии сети и переменных характеристик канала связи. Это затрудняет равномерное распределение узлов и снижает эффективность маршрутизации, а традиционные алгоритмы не способны адаптироваться к этим изменениям, что негативно сказывается на пропускной способности и надежности сети.

		Кроме того, проблемы, связанные с мультиплексным распространением сигналов, шумом и ошибками приема, также влияют на качество связи и повышают уровень битовых ошибок (BER). Поэтому для обеспечения стабильной и адаптивной работы таких сетей необходимо разработать инновационные методы оптимизации и маршрутизации, которые способны эффективно работать в условиях переменных характеристик канала и высокой интерференции. В этой связи, предложенные в диссертации алгоритмы, такие как автоматическая классификация модуляции, кластеризация сети с использованием теории "box coventing" и алгоритм маршрутизации на основе информационной энтропии, являются не только актуальными, но и необходимыми для повышения эффективности работы WMN, улучшения быстродействия маршрутизации и минимизации ошибок передачи данных.
	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Содержание диссертации соответствует заявленной теме «Информационно-энтропийный метод маршрутизации беспроводных сетей». В первом разделе представлен обзор существующих методов маршрутизации, кластеризации и автоматической классификации, применяемых в WMN. Во втором разделе разработан алгоритм классификации модуляции сигналов, направленный на улучшение точности передачи данных. В третьем разделе предложен метод кластеризации сети, обеспечивающий оптимальное покрытие для эффективной маршрутизации. В четвертом разделе представлен алгоритм маршрутизации IEFA, основанный на принципах теории информации, который улучшает производительность сети.
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) соответствуют; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Цель и задачи полностью соответствуют теме диссертации. Цель работы заключается в оптимизации маршрутизации в WMN путём разработки инновационных алгоритмов, включая алгоритм классификации типов модуляции для достоверного приема сигналов, IEFA для повышения быстродействия, а также IEFA для улучшения надежности приема и пропускной способности сети. Задачи, такие как разработка алгоритмов для классификации модуляции, кластеризации и маршрутизации, направлены на решение ключевых проблем, связанных с улучшением передачи данных

	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны; 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	и оптимизацией маршрутов в сетях, что напрямую связано с заявленной темой.
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	В диссертации проведен критический анализ существующих методов и предложенных решений. Автор сравнил их по эффективности, вычислительным затратам и улучшениям в производительности маршрутизации, кластеризации и классификации, что подтвердило преимущество новых подходов в контексте беспроводных сетей.
5. Принципы научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые;	Научные результаты работы являются частично новыми. Разработаны алгоритмы, которые впервые используют взаимную информацию для классификации модулей, экспоненцирует в алгоритме кластеризации CPER, а также условную информацию для маршрутизации PERA. Эти нововведения значительно повышают точность классификации, оптимизируют кластеризацию сети и улучшают пропускную способность в WMN. В то же время в работе применяются известные методы теории графов, информационной теории и численного моделирования. Выводы диссертации частично новые, так как предложен комплексный подход для оптимизации WMN, включающий инновационные алгоритмы для классификации модулей, кластеризации и маршрутизации. Эти

	2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 5.3. Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Методы интегрируют новые решения с классическими подходами, такими как теория графов и численное моделирование. Разработанная программная модель для оптимизации маршрутизации в WMN является новой и обоснованной. Эффективность предложенных технических решений подтверждается численным моделированием, экспериментальными результатами и сравнением с существующими алгоритмами. Это подтверждает высокую эффективность методов для повышения быстродействия, надежности и пропускной способности сети в реальных условиях беспроводной связи.
6.	Обоснованность основных выводов Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (кваликатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Основные выводы работы основаны на теоретических принципах в области телекоммуникаций, радиотехники и обработки сигналов, а также подтверждены результатами компьютерного моделирования и аналитических расчетов, проведенных в процессе разработки алгоритмов оптимизации WMN. Кроме того, алгоритм классификации модуляции был проверен на реальных экспериментальных данных, что подтвердило его практическую применимость и эффективность.
7.	Основные положения, выносимые на защиту Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано;	Первое положение 7.1 Это положение подтверждается как теоретическим обоснованием, так и экспериментальными данными, полученными при передаче сигналов через ММО-антенны и численным моделированием. В качестве критерия использована взаимная информация, и приведены данные о точности классификации по сравнению с другими алгоритмами.

3) скорее не доказано;	7.2 Применение взаимной информации в качестве признака для классификации модуляции при низком SNR является нетривиальным решением, так как оно учитывает вероятностные взаимосвязи между сигналами. Повышение точности классификации на 50% делает метод новым и значимым для данной области.
4) не доказано;	
5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.	
7.2 Является ли тривиальным?	
1) да;	
2) нет;	
3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	7.3 Методология построена на оригинальном применении взаимной информации для улучшения точности классификации типа модуляции, что ранее не применялось в подобных задачах.
7.3 Является ли новым?	
1) да;	
2) нет;	
3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	7.4 Этот алгоритм может быть использован в различных телекоммуникационных системах, где необходима надежная классификация сигналов при низком SNR, включая беспроводные сети и когнитивные радиосистемы.
7.5 Положение подтверждено статьей "Automatic modulation classification for MIMO system based on the mutual information feature extraction", в которой приведены экспериментальные данные и сравнительный анализ, подтверждающие практическую эффективность метода.	
7.4 Уровень для применения:	Второе положение
1) узкий;	7.1 Результаты численного моделирования показывают, что предложенный алгоритм (CIEA) значительно улучшает быстродействие маршрутизации в WMN, сокращая время обработки на 20 микросекунд по сравнению с алгоритмом Дейкстры. Эти результаты подтверждены статьей "Sentinel including essentiality algorithm for complex networks".
2) средний;	
3) широкий;	7.2 Метод кластеризации, основанный на теории "box covering", является нетривиальным, так как сочетает геометрический подход с топологическим анализом сети. Этот метод позволяет учитывать топологические особенности сети, что важно для улучшения быстродействия алгоритма.
4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	7.3 Использование понятия эксцентриситета в кластеризации позволяет эффективно делить сеть на оптимальные кластеры, что также улучшает быстродействие алгоритма маршрутизации. Такой подход способствует более точному распределению нагрузки по сети и позволяет учитывать её фрактальные характеристики.
7.5 Показано ли в статье?	7.4 Алгоритм может быть применен к различным типам сетевых архитектур, где необходимо эффективное распределение нагрузки между
1) да;	
2) нет;	
3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	

		маршрутизаторами, включая MANET, сенсорные сети и mesh-инфраструктуры. 7.5 Положеное подтверждено публикациями: "Routing Algorithm for Software Defined Network Based on Voronoi Covering Algorithm" и "Cluster router based on essentiality", где представлены результаты расчета времени поиска кратчайшего пути при объединении алгоритма кластеризации с алгоритмом маршрутизации. Третье положение 7.1 Положеное доказано тем, что алгоритм IERA значительно улучшает пропускную способность сети и минимизирует задержки по сравнению с классическими методами маршрутизации, такими как AODV и OLSR. Подтверждено статьей "A Routing Algorithm for Wireless Mesh Network Based on Information Entropy Theory". 7.2 Метод, основанный на энтропийных характеристиках, требует учета не только стандартных метрик, но и более глубокого понимания информации о сети, что значительно повышает его эффективность при работе в условиях переменной нагрузки и динамичных топологий. 7.3 Алгоритм IERA использует метрику условной информации для принятия адаптивных маршрутизирующих решений, что позволяет более эффективно распределять трафик и улучшать производительность сети. 7.4 Этот метод применим в децентрализованных сетях с высокой нагрузкой на маршрутизаторы, таких как промышленные сети, системы экстренного реагирования, беспилотные транспортные сети и распределенные вычислительные системы, где эффективность маршрутизации играет ключевую роль. 7.5 Положеное подтверждено статьями "Routing metric and protocol for wireless mesh network based on information entropy theory" и "A Routing Algorithm for Wireless Mesh Network Based on Information Entropy Theory", в которых представлены методы маршрутизации, основанные на теории информации и энтропийных подходах.
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии обоснован или методология достаточно подробно описана: Методология исследования обоснована и подробно описана. Используются методы теории графов (box covering для кластеризации), информационной теории (взаимная информация для классификации сигналов), численного

Достоверность источников и предоставляемой информации	1) да;	моделирования (NS3 и Python для тестирования алгоритмов) и экспериментальная передача сигнала через MIMO-антенны. Каждый метод поддержан теоретическими и практическими доводами, включая реализацию на Python с использованием библиотек для моделирования и вычислений, что обеспечивает точность и верификацию предложенных решений.
	2) нет.	
	8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты диссертации были получены с использованием передовых методов научных исследований, а также современных подходов к обработке и анализу данных с применением компьютерных технологий. Для решения поставленных задач применялись алгоритмы теории графов и информационной теории, а также численные методы моделирования, реализованные с помощью программного обеспечения, включая NS3 и Python. Экспериментальная часть работы, включающая передачу сигнала через MIMO-антенны, позволила подтвердить эффективность предложенных методов. Для обработки данных использовались специализированные библиотеки Python (NetworkX, NumPy, SciPy), что обеспечило точность вычислений и гибкость в анализе различных сценариев.
	1) да;	
	2) нет.	
	8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):	Теоретические выводы, модели и выявленные взаимосвязи подтверждены экспериментальными исследованиями, включая численное моделирование и реальный эксперимент с передачей сигнала через MIMO-антенны.
	1) да;	
	2) нет.	

	8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Теоретические выводы, модели и выявленные закономерности подтверждены экспериментальными данными, полученными в ходе численного моделирования и экспериментальных испытаний, что подтверждает их практическую применимость и достоверность.
	8.5 Используемые источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора, так как охватывают все ключевые направления исследования, включая теорию графов, информационную теорию, методы численного моделирования и экспериментальные подходы. Кроме того, представлены актуальные публикации из рецензируемых международных журналов, что подтверждает полную и современность выбранных источников.
9	Принцип практической ценности	Диссертация имеет теоретическое значение:
	1) да;	Диссертация имеет значительное теоретическое значение, так как в ней разработаны новые подходы для оптимизации маршрутизации в WMN, включая кластеризацию на основе эксцентриситета и использование информационно-энтропийных критериев. Эти методы расширяют теоретические основы маршрутизации и управления трафиком, подчеркивая важность применения теории графов и информационной теории для практических задач оптимизации.
	2) нет.	
	9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Практическое значение работы проявляется в разработке новых моделей маршрутизаторов для беспроводных сетей, таких как кластерный маршрутизатор на основе эксцентриситета и маршрутизатор, использующий информационно-энтропийный анализ. Эти алгоритмы могут быть эффективно применены в реальных беспроводных сетях, таких как IoT, мобильные сети и сети для мониторинга окружающей среды.
	1) да;	Результаты работы подтверждены численными моделями и реальными экспериментами, что повышает уверенность в их успешном применении на практике.
	2) нет.	
	9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложенные модельные маршрутизаторы, включая кластерный маршрутизатор на основе эксцентриситета и маршрутизатор на основе информационно-энтропийного анализа, являются частично новыми и инновационными. Эти решения включают уникальные подходы, которые ранее не использовались в сочетании для маршрутизации в беспроводных
	1) полностью новые;	
	2) частично новые (новыми являются 25-75%);	

	3) не новые (новыми являются менее 25%).	ячейных сетях. Использование эксцентриситета для кластеризации и информационно-энтропийного анализа для оценки маршрутов представляется собой новое сочетание методов, которое улучшает эффективность и адаптируемость решений для современных беспроводных сетей, хотя элементы этих методов могут быть использованы и в других контекстах.
10. Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	1) Текст выполнен в строгом академическом стиле с корректным использованием терминологии. 2) Структура изложения логична и последовательна, переходы между разделами плавные. 3) Предложения ясны и выразительны, отсутствуют стилистические неточности и канцеляризм. Оформление соответствует требованиям ВАК (пронумерованные пункты, единообразные ссылки, стандартизированные обозначения).
11. Замечания к диссертации	1) Следует более подробно описать процесс проведения эксперимента, а также привести результаты в виде сравнений с теоретическими расчетами или другими методами для лучшей оценки предложенных алгоритмов. 2) Некоторые математические выкладки слишком сложны и перегружены символами. Рекомендуется упростить объяснение и привести шаги более последовательно, с чёткими пояснениями. 3) Добавить подробные подписи к графикам и таблицам для лучшего понимания данных и улучшения восприятия информации.	
12. Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официально рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Научный уровень представленных публикаций по теме диссертационной работы можно оценить как высокий. Каждая из статей вносит существенный вклад в развитие теоретических и прикладных аспектов маршрутизации в беспроводных ячейных сетях (WMN), а также расширяет научное понимание в смежных областях, таких как информационно-энтропийный анализ, графовая кластеризация и моделирование сетей. 1) Статья в IEEE Access (2024) демонстрирует оригинальность и высокую научную новизну, предлагая использование взаимной информации для классификации модуляции в MIMO-системах. Это решение особенно актуально при низких уровнях сигнала, и подтверждено публикацией в журнале высокого уровня (Q1, 92-й перцентиль). 2) Статья в Eurasian Physical Technical Journal (2024) по оценке алгоритмов маршрутизации в различных топологиях WMN с использованием NS-3 отражает прикладной подход и глубоко проработку модели. Авторы демонстрируют понимание особенностей поведения сетей при различных конфигурациях и предлагают обоснованные выводы на основе моделирования.	

	3) Публикация в Physical Sciences and Technology (2024) посвящена задаче размещения единственного шлюза в WMN и раскрывает значимость топологических характеристик для устойчивости маршрутизации. Несмотря на более узкую направленность, работа имеет теоретическую и практическую значимость. Все 8 публикаций, представленных к защите, комплексно охватывают как теоретические основы, так и практическое применение алгоритмов маршрутизации для WMN, что создает прочную научную базу для диссертационного исследования.
13. Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа на тему «Информационно-энергетический метод маршрутизации беспроводных сетей» представляет собой завершённое научное исследование, которое в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени доктора философии (PhD). Автор, Турлыкожаева Дана Абдикумаровна, заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности «8D06201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации».

Официальный рецензент:

PhD, ассоциированный профессор кафедры «Телекоммуникационной инженерии», Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева.


(подпись)

Мухамеджанова Альмира Далгханкызы

