

На правах рукописи



ХУССЕЙН Али

**СПЕЦИАЛЬНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫМ
ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Специальность: 2.3.5. Математическое и программное обеспечение
вычислительных систем, комплексов и
компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2026

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Научный руководитель: **Рындин Никита Александрович**, доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Мутин Денис Игоревич**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"», профессор кафедры управления и информатики в технических системах

Таныгин Максим Олегович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск), заведующий кафедрой информационной безопасности

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина»

Защита состоится «29» мая 2026 года в 12 часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета 24.2.286.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», по адресу: г. Воронеж, Московский просп., д. 14, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» и на сайте <https://cchgeu.ru>.

Автореферат разослан «10» апреля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Гусев Константин Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. За последние годы беспроводные информационные системы и сенсорные данные в них стали существенно важным объектом в связи с интеллектуализацией их обработки и широким распространением концепции и технологий «Умный дом». Обработка сенсорных данных от множества активных устройств и многочисленных датчиков объединена с облачными сервисами, что породило проблему поиска архитектурных и структурных решений, направленных на снижение энергопотребления всей системы в целом и подсистемы управления данными в частности. Актуальной является задача управления энергоэффективного перемещения данных в распределенных системах. Большой вклад в разработку методов и средств управления данными внесли Андреев А.Н., Заболотный И.Г., Ковалев И.В., Кравец О.Я., Cobb M., Fu X., Kalkha H., Liu S. и другие.

Одной из актуальных предметных областей задач управления данными является оптимальное перемещение данных в беспроводных информационных системах. Интерес представляет и снижение энергопотребления за счет удачной кластеризации данных. С точки зрения интуитивного понимания, чем лучше мониторинг данных, тем меньше их потерь может иметь место в информационной системе.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования продиктована необходимостью разработки специальных средств математического обеспечения процессов управления энергоэффективным перемещением данных в беспроводных информационных системах на основе динамической реконфигурации и кластеризации.

Тематика диссертационной работы соответствует научному направлению ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» «Вычислительные комплексы и проблемно-ориентированные системы управления».

Целью работы является разработка моделей и алгоритмов работы средств специального математического обеспечения процессов управления энергоэффективным перемещением данных в беспроводных информационных системах.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать проблематику моделирования и алгоритмизации процессов управления перемещением потоков данных в беспроводных информационных системах.

2. Предложить модификацию стратегии управления данными, позволяющую повысить энергоэффективность маршрутизации в крупномасштабных беспроводных сенсорных сетях на основе агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния на основе дерева.

3. Разработать модель снижения энергопотребления за счет использования вероятностных методов и инструментов кластеризации.

4. Разработать алгоритм повышения показателей энергоэффективной

связи за счет сокращения общего времени, необходимого для завершения процесса.

5. Разработать структуру программного комплекса динамического мониторинга потерь больших объемов данных с многоуровневым сбором информации (уровни кластера, производительности узлов и работы заданий), повышающую максимальную точность мониторинга.

Объект исследования: процессы управления энергоэффективным перемещением потоков данных в беспроводных информационных системах.

Предмет исследования: средства математического и программного управления процессами анализа моделей и алгоритмов управления перемещением потоков данных в беспроводных информационных системах на основе агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния.

Методы исследования. При решении поставленных в диссертации задач использовались методы теории вероятностей, теории принятия решений, методы кластерного анализа, а также методы объектно-ориентированного программирования.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»: п. 4. «Интеллектуальные системы машинного обучения, управления базами данных и знаний, инструментальные средства разработки цифровых продуктов»; п. 9. «Модели, методы, алгоритмы, облачные технологии и программная инфраструктура организации глобально распределенной обработки данных».

Научная новизна работы. В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Модификация стратегии управления данными, отличающаяся применением агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния на основе дерева, позволяющая повысить энергоэффективность маршрутизации в крупномасштабных беспроводных сенсорных сетях.

2. Модель снижения энергопотребления процессов перемещения данных в беспроводных информационных системах, отличающаяся использованием скрытых марковских моделей и технологий кластеризации и обеспечивающая повышение эффективности узла слияния по мере увеличения количества кластеризуемых узлов, а также их индивидуальных уровней энергии.

3. Алгоритм улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем, отличающийся автоматическим выбором гетерогенных факторов ранжирования узла слияния – кандидата с наибольшей реализуемостью, и обеспечивающий сокращение общего времени, необходимого для завершения процесса кластеризации.

4. Гибридный итерационный алгоритм поиска аномальных данных, сочетающий применение матрицы сходства аномальных признаков данных и кластерный анализ с использованием обучения iForest, обеспечивающий улучшение точности обнаружения в среднем на 22%.

5. Структура программного комплекса динамического мониторинга потерь больших объемов данных с многоуровневым сбором информации (уровни кластера, производительности узлов и работы заданий), обеспечивающая максимальную точность мониторинга до 98%.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в развитии средств разработки специального математического и программного обеспечения процессов управления перемещением данных в беспроводных информационных системах на основе агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния.

Теоретические результаты работы могут быть использованы в проектных и научно-исследовательских организациях, занимающихся проектированием энергоэффективных программных систем управления потоками данных.

Положения, выносимые на защиту

1. Модификация стратегии управления данными позволяет повысить энергоэффективность маршрутизации в крупномасштабных беспроводных сенсорных сетях.

2. Модель снижения энергопотребления процессов перемещения данных в беспроводных информационных системах обеспечивает повышение эффективности узла слияния по мере увеличения количества кластеризуемых узлов.

3. Алгоритм улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем обеспечивает сокращение общего времени, необходимого для завершения процесса кластеризации.

4. Гибридный итерационный алгоритм поиска аномальных данных на основе кластерного анализа с использованием алгоритма обучения iForest обеспечивает улучшение точности обнаружения в среднем на 22%.

5. Структура программного комплекса динамического мониторинга потерь больших объемов данных обеспечивает максимальную точность мониторинга до 98%.

Результаты внедрения. Основные результаты внедрены в АО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М. А. Карцева» (г. Москва) при проектировании систем управления перемещением потоков данных в беспроводных информационных системах, в учебный процесс Воронежского государственного технического университета в рамках дисциплин: «Вычислительные машины, системы и сети», «Информационные сети и телекоммуникационные технологии», а также в рамках курсового и дипломного проектирования.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные системы» (Воронеж, 2021); Международной молодежной научной школе «Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах» (Воронеж, 2022); VI Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии в экономике и управлении» (Махачкала, 2024); XXX-th - XXXI-th International Open Science Conference «Modern informatization prob-

lems» (Yelm, WA, USA, 2025, 2026), а также на научных семинарах кафедры искусственного интеллекта и цифровых технологий ВГТУ (2023-2026 гг.).

Обоснованность и достоверность результатов работы обусловлена корректным использованием теоретических методов исследования и подтверждена сравнительным анализом данных вычислительных и натуральных экспериментов.

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 16 научных работ, в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ (из них 1 – в издании, индексируемом в WoS и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ). В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, лично автором получены следующие результаты: [4, 12, 14, 16] - модификация стратегии управления данными, отличающаяся применением агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния на основе дерева; [1, 7, 13] - модель снижения энергопотребления процессов перемещения данных в беспроводных информационных системах, отличающаяся использованием скрытых марковских моделей и технологий кластеризации; [5, 8] - алгоритм улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем, отличающийся автоматическим выбором гетерогенных факторов ранжирования узла слияния – кандидата с наибольшей реализуемостью; [2] - гибридный итерационный алгоритм поиска аномальных данных, сочетающий применение матрицы сходства аномальных признаков данных и кластерный анализ с использованием обучения iForest, обеспечивающий улучшение точности обнаружения в среднем на 22%; [3, 6] - структура программного комплекса динамического мониторинга потерь больших объемов данных с многоуровневым сбором информации.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 105 наименований. Работа изложена на 152 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы его цель и задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации и внедрении работы.

В первой главе исследуются проблемы управления средствами разработки специального энергоэффективного программного обеспечения перемещения данных в беспроводных информационных системах на основе агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния. Отмечено, что повысить эффективность такого управления можно путем применения модификации стратегии управления данными, отличающейся применением агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния на основе дерева, позволяющей повысить энергоэффективность маршрутизации в крупномасштабных беспроводных сенсорных сетях, создания алгоритма улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем, от-

личающегося автоматическим выбором гетерогенных факторов ранжирования узла слияния – кандидата с наибольшей реализуемостью, и обеспечивающего сокращение общего времени, необходимого для завершения процесса кластеризации, применения гибридного итерационного алгоритма поиска аномальных данных, сочетающего применение матрицы сходства аномальных признаков данных и кластерный анализ с использованием обучения iForest, разработки структуры программной системы динамического мониторинга потерь больших объемов данных с многоуровневым сбором информации (уровни кластера, производительности узлов и работы заданий), обеспечивающей максимальную точность мониторинга. Результат анализа потребовал формализации данных задач, а также алгоритмизации их решения с учетом особенностей, отраженных на рис. 1.1. Сформулирована цель и задачи исследования.



Рис. 1.1. Дизайн исследования

Необходимо также провести экспериментальные исследования для доказательства эффективности выбранного подхода к динамическому мониторингу потерь больших данных в мобильных сетях на основе Интернета вещей.

Вторая глава посвящена задаче интеграции данных для беспроводных сенсорных сетей с позиций модели энергоэффективности. За последнее десятилетие было предпринято несколько целенаправленных исследовательских

работ, направленных на изучение и поиск решений проблем, связанных с объединением данных об энергоэффективности в беспроводных сенсорных сетях.

Предложенная система - объединение данных с потенциальной энергоэффективностью (DFWPEE), отвечает за оптимизацию энергопотребления. Предлагаемая работа позволяет снизить энергопотребление за счет использования вероятностных методов и кластеризации. В процессе объединения данных архитектура Multiple Zone Data Fusion (MZDF) использует глобулярную топологию, которая помогает распределить нагрузку. Стратегия представляет собой подход к маршрутизации, который используется для повышения энергоэффективности маршрутизации в крупномасштабных беспроводных сенсорных сетях. Внедряя идею агентов маршрутизации, фреймворк для технологии слияния на основе дерева (TBFT), предлагает метод динамической реконфигурации. Этот план позволяет системе определить, какой датчик имеет более высокую скорость рассеивания энергии, а затем немедленно передать задачу по объединению данных узлу, который является более энергоэффективным. Этот метод, основанный на пороговых значениях, позволяет датчику выполнять как роль головного узла кластера, так и функцию узла-члена. Узел ведет себя как головной узел кластера, пока не достигнет порогового значения остаточной энергии, и функционирует как узел-участник после того, как он преодолет пороговое значение остаточной энергии. Обе эти роли могут выполняться одновременно. Математическое моделирование проводилось с использованием традиционной модели использования энергии радиоканалов, что повысило надежность полученных результатов. Предлагаемая система обеспечивает улучшенные показатели энергоэффективной связи при сравнении с существующими стандартами для энергоэффективных схем. Усовершенствованный метод использует почти вдвое меньше энергии, чем LEACH, при этом основное внимание уделяется сокращению общего времени, необходимого для завершения процесса, что приводит к повышению производительности.

Модель исследования и перемещения потоков данных в беспроводных информационных системах представлена формулами (2.1)-(2.9), предлагаемая архитектура системы изображена на рис. 2.1.

$$P_{Dx} = L(P_{elec} + P_{fx}xd^2), d < d_0 \quad (2.1)$$

$$P_{tx} = L(P_{elec} + P_{mp}Xd^4), d \geq d_0 \quad (2.2)$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{P_{fo}}{P_{up}}} \quad (2.3)$$

$$P_{Dx} = L \cdot P_{elec} \quad (2.4)$$

$$P_{CL} = \frac{\alpha n}{\epsilon k} - 1 \cdot \frac{\alpha}{\epsilon} L g P_{dik} + \frac{n}{k} L g P_{du} + L g E_{slax} + L S_{fi} g l_{gS}^2 \quad (2.5)$$

$$P_{SCL} = L P_{diec} + L S_{fs} d_a^2 \quad (2.6)$$

$$d_{CL}^2 = \iint_{0 \ 0}^{x_1 \ x} (x^2 + y^2) \mathbf{g}(x, y) dx dy = \frac{M^2}{2pk} \quad (2.7)$$

$$P_t = L \mathbf{g} (2nP_{die} + nP_{Dd} + (kd_{ks}^2 + n d d_{CL}^2)) \quad (2.8)$$

$$d_{As}^2 = \iint_A (x^2 + y^2) \mathbf{g}_A = 0.765 \mathbf{g} \frac{M}{2} \quad (2.9)$$

где L - объем данных;

d – расстояние;

P_{elec} - энергозатраты на аппаратную обработку одного бита информации как источником, так и получателем;

d_o - дополнительная переменная расстояния;

P_{Dx} - энергия, необходимая для передачи информации длиной L бит между парой сенсорных узлов;

P_{CL} - количество ненужной энергии, которое расходуется на получение L пакетов данных в битах.

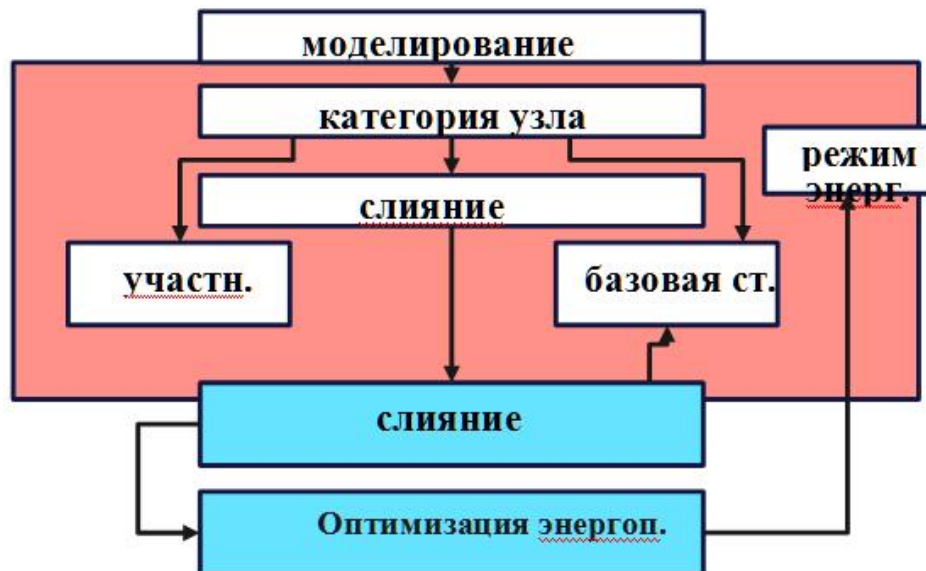


Рис. 2.1. Предлагаемая стратегия

Предлагаемая система, в отличие от ранее существовавших методов оптимизации, таких как рекурсивная оптимизация, предусматривает шаги, которые являются одновременно простыми и итеративно менее сложными, чтобы вычислить оптимальное количество сенсорных узлов, которые должны участвовать в процессе объединения данных. Эти шаги предназначены для определения оптимального количества сенсорных узлов, которые должны участвовать в процессе объединения данных. Это сделано для того, чтобы предлагаемая система отличалась от других подходов к оптимизации, которые уже существуют.

Разработка схемы вероятностного выбора, которая может эффективно выбирать оптимальный центр кластера и управлять другими узлами, чтобы они становились центрами кластера в последующих раундах имитационного моделирования, является наиболее важным аспектом принципа проектирования. Это связано с тем, что схема должна быть способна эффективно выби-

рать оптимальный центр кластера. Каждый из узлов-кандидатов обладает достаточным количеством энергии, что позволяет им самостоятельно участвовать в следующем раунде конкурса на звание центра кластера, который проводится в рамках имитационного исследования.

На рис. 2.2 представлены результаты моделирования предлагаемой схемы перемещения потоков данных в беспроводных информационных системах. Исследование проводилось на 32-разрядной операционной системе Windows 10 с двухъядерным процессором, работающим на частоте 1,84 ГГц, в качестве интегрированной среды разработки используется MATLAB. Ясно видно, что количество соседних узлов, которые находятся ближе друг к другу, напрямую связано с практической надежностью данных на узле объединения данных.

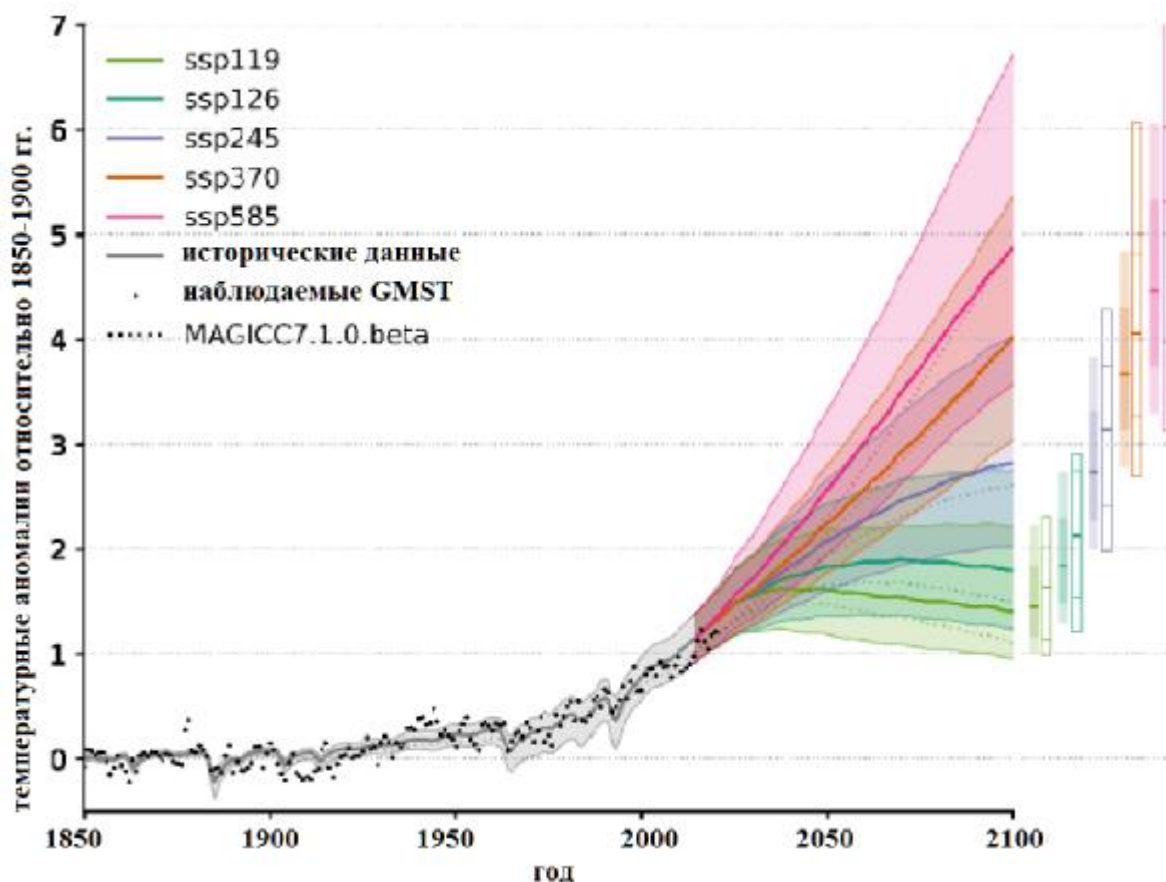


Рис. 2.2. Моделирование схемы DFWPEE

Одно из наиболее существенных различий между методологиями внедрения известного протокола LEACH и предложенной схемой показано на рис. 2.3. Можно видеть, что наблюдается резкое уменьшение наклона кривой, которая используется для представления остаточной энергии при LEACH, при количестве итераций ниже 300 и около него. Дело в том, что быстрый разряд датчика гарантируется при использовании протокола LEACH элемента, а предложенный протокол, напротив, максимизирует остаточную энергию.

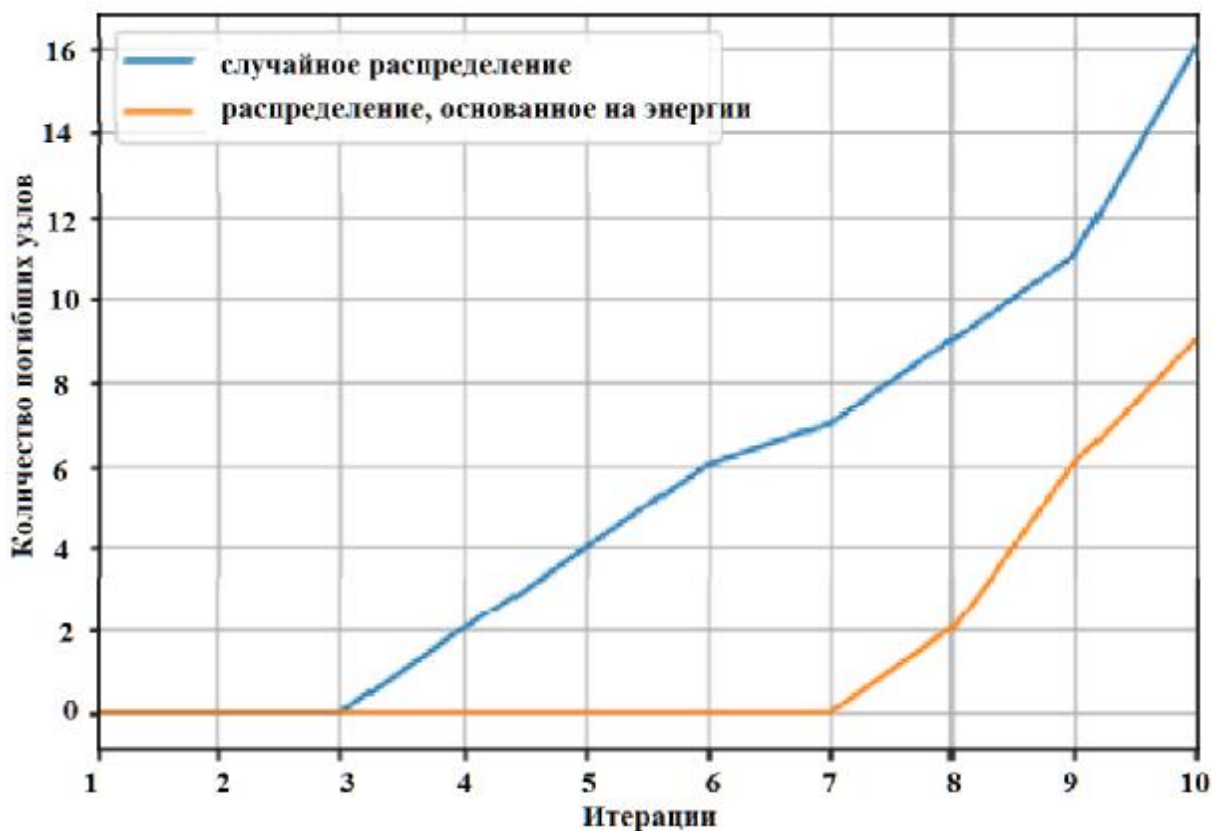


Рис. 2.3. Сравнение с LEACH (живые узлы и итерации)

Таким образом, разработана модификация стратегии управления данными, отличающаяся применением агентного подхода и фреймворка динамической реконфигурации для технологии слияния на основе дерева, позволяющая повысить энергоэффективность маршрутизации в крупномасштабных беспроводных сенсорных сетях.

Третья глава посвящена повышению энергоэффективности протокола управления потоками данных со скрытой марковской моделью в беспроводных сенсорных сетях.

В алгоритме 3.1 К кратчайших путей были вычислены с использованием процесса, предоставленного алгоритмом Йена, на основе стоимости ребер.

Алгоритм 3.1. Стохастический поиск кратчайшего пути

Требуется: $G=(V, E)$

Задача: Найти К - Кратчайший путь

1: Общая энергия пути: $E_k = \sum_{i=1}^n e_{k_i}$

2: Общий вес пути: $Cost_k = \sum_{i=1}^n cost_{k_i}$

3: Вычисляем начальные параметры (А, В, П)

4: Фиксируем символы Y_t для наблюдения за временными рядами

5: Применяем алгоритмы "Вперед-назад" и "Витерби"

6: **If** Достигнуто Пороговое значение,

7: **Then** Выбираем оптимальный маршрут

8: **Else**
 9: Обучаем модель
 10: Возврат (3)
 11: **EndIF**

Пример сетевой топологии, используемой для демонстрации протокола управления потоками данных по стохастическим кратчайшим путям, представлен на рис. 3.1.

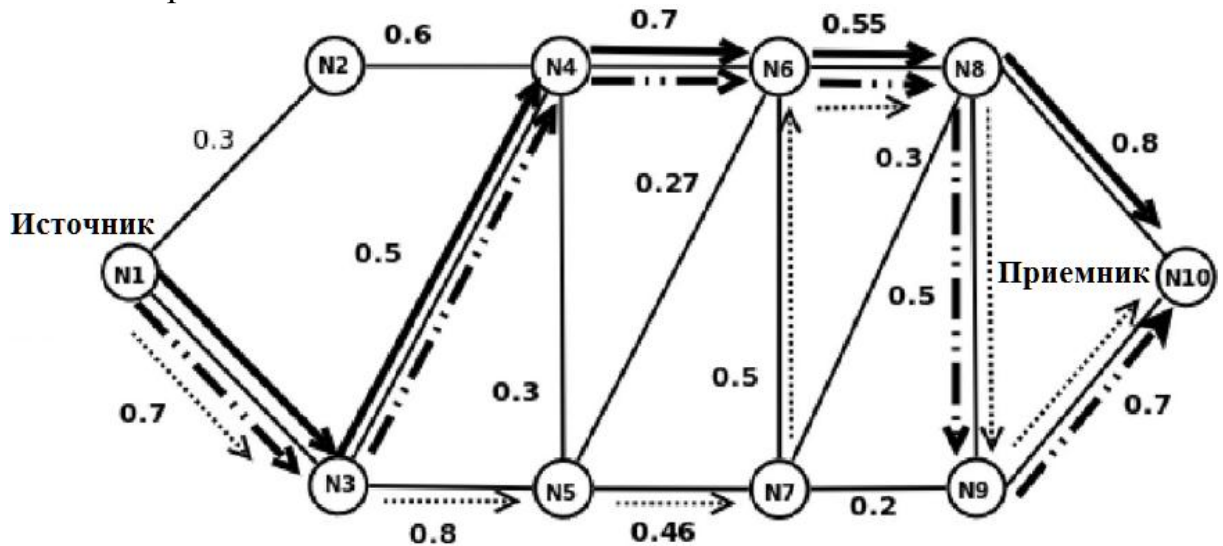


Рис. 3.1. Пример сетевой топологии, используемой для демонстрации протокола управления потоками данных по стохастическим кратчайшим путям: — ребро; \rightarrow E_1 (маршрут 1); \dashrightarrow E_2 (маршрут 2); $\cdots \rightarrow$ E_3 (маршрут 3)

Входные данные нашей системы используют численные значения энергий, показанные на предыдущем графе в качестве примера, для вычисления соответствующих коэффициентов на основе предложенного эмпирического подхода. Формулы, используемые для получения начальных параметров системы, используют минимальное значение энергопотребления в каждом канале. Каждый передаваемый пакет содержит минимальное количество энергии, необходимое для передачи информации по сети. Минимальная энергия пути - это минимальное потребление всеми узлами на выбранном пути.

Скрытая марковская модель (НММ) I , состоит из набора параметров, которые определяются следующим образом (пример на рис. 3.2).

$$I = (A, B, \Pi) \tag{3.1}$$

• Вероятности начального состояния Π :

$$\Pi_i = [P(X_1 = E_i | I)]_{1 \leq i \leq N} \tag{3.2}$$

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1 \tag{3.3}$$

• Матрица A переходов состояний:

$$A = a_{ij} = [P(X_t = E_j | X_{t-1} = E_i, I)]_{1 \leq i, j \leq N} \tag{3.4}$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1 \quad (3.5)$$

Каждый элемент a_{ij} представляет собой коэффициент перехода между скрытыми состояниями. Значение переходных состояний зависит от энергии каждого пути.

- Матрица $N \times M$ вероятности излучения $V=b_j(v_k)$ представляет вероятность наблюдения в момент времени t символа v_k при заданном состоянии E_j .
- Последовательность наблюдений $V=v_1, v_2, \dots, v_M$ - это последовательность из M наблюдений, где $v_j \in \{\text{Низкий; Средний; Высокий}\}$.

Символы наблюдений относятся к физическим характеристикам системы. В работе они состоят из оставшейся наблюдаемой мощности узлов для разных состояний и называются низким (L), средним (M) и высоким (H).

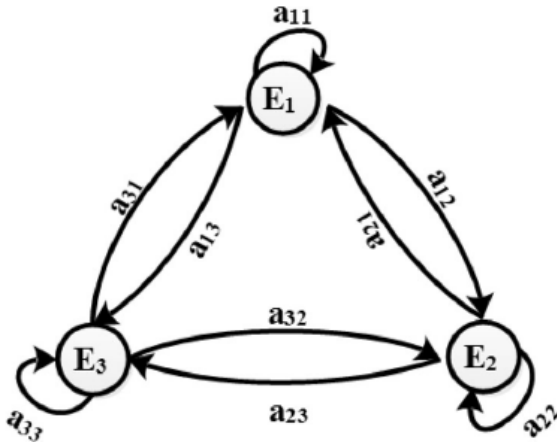


Рис. 3.2. Пример эргодического полностью связного графа НММ, используемый в протоколе стохастического управления потоками данных

Формулы (3.6)-(3.8) демонстрируют инициализацию модели:

$$p_i = \frac{E_i^{\min}}{\sum_{j=1}^3 E_j^{\min}} \quad (3.6)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} \frac{|E_i^{\min} - E_j^{\min}|}{\sum_{i,j=1}^3 (E_i^{\min} - E_i^{\min})} & , i \neq j, E_i^{\min} \neq E_j^{\min} \\ 1 - \sum_{k=1}^3 a_{ik} & , i = k, E_i^{\min} = E_j^{\min} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$b_{E_j}(v_k) = \frac{\left| \frac{\text{cost}_i - \text{cost}_j}{\prod_{j=1}^3 \text{cost}_j} \right|^{a_i} \cdot \prod_{j=1}^3 \text{cost}_j}{\left| \frac{\text{cost}_i - \text{cost}_j}{\prod_{j=1}^3 \text{cost}_j} \right|^{a_i} \cdot \prod_{j=1}^3 \text{cost}_j} \cdot \prod_{k=1}^3 b_j(k), j = k, E_j^{-1} v_k \quad (3.8)$$

На рис. 3.3 показана тенденция изменения маршрута на четырех этапах обучения. Начиная с этапа 1, обозначенного пунктирной линией, высокая вероятность составляет около 0,6%. Вероятность на этапе 2, обозначенном пунктирной линией, значительно снижается. А с этапа 3 по этап 4 общее снижение энергопотребления составляет почти 0,4%. Динамика между наблюдениями при $t=0$ и $t=1$ показывает, что вероятность управления потоками данных в начале процесса высока. По истечении первой единицы времени это значение уменьшается до определенного системного порога. Кривая продолжает сходиться. В момент времени $t=2$ траектория соответствует траектории 1, выбранной модулем принятия решений, и ее вес составляет $\text{cost}=7$ хопов при низкой энергии около 196,895 Дж. На данном этапе это наименьшее значение по сравнению с другими траекториями.

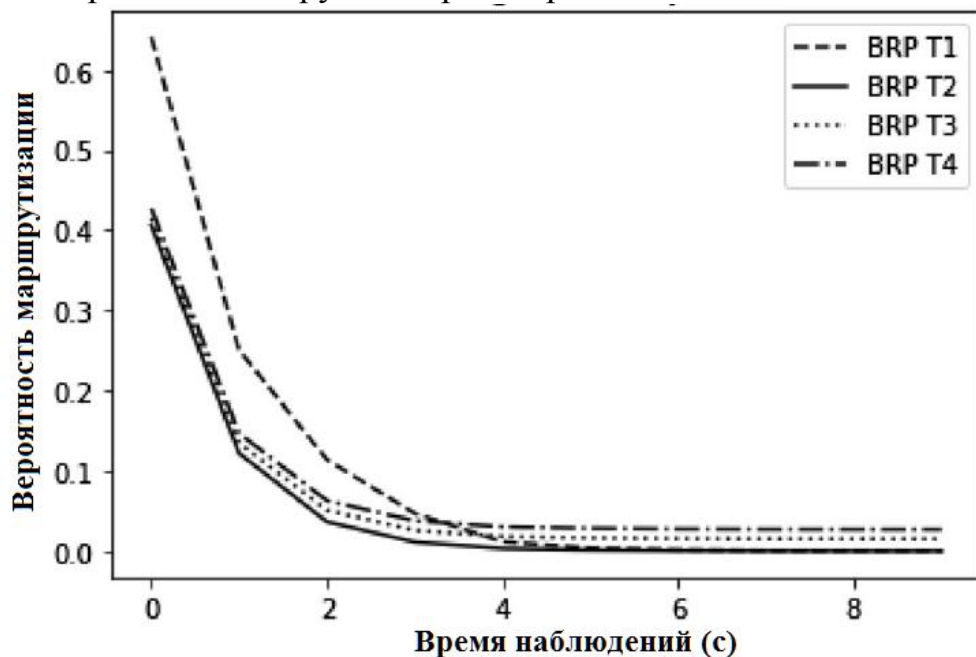


Рис. 3.3. Сравнение тенденций наилучшей вероятности управления потоками данных (BRP) между четырьмя этапами обучения

Таким образом, представлена модель снижения энергопотребления процессов перемещения данных в беспроводных информационных системах, отличающаяся использованием скрытых марковских моделей и технологий кластеризации и обеспечивающая повышение эффективно-

сти узла слияния по мере увеличения количества кластеризуемых узлов, а также их индивидуальных уровней энергии.

Далее рассматриваются способы улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем.

На этом этапе система использует численное значение эмпирического расчета для определения наилучшей скрытой последовательности в соответствии с исходной моделью. Декодирование производится с использованием алгоритма Витерби, и предлагаемая система оценивает, требуется ли шаг обучения с использованием метода Баума-Уэлча для оптимизации модели.

Чтобы определить стохастическую модель, запускаем последовательность Y в момент времени $T=10$ для наблюдаемых символов. Каждый символ Y_t представляет значение энергии, которое, вероятно, наблюдается на пути в это время. Для процесса принятия решения использовались алгоритмы прямого и обратного хода для получения вероятностей всех возможных скрытых путей управления потоками данных, которые могли бы генерировать последовательность наблюдений Y .

Учитывая наблюдаемую последовательность $Y_{1:t}=Y_1, \dots, Y_t$, получим вероятности того, что первый $Y_{1:t}$ завершится состоянием E_i , для $i=1 \dots T-1$. Рассмотрим прямые переменные α_i , определенные по формулам:

$$\alpha_t(i) = \prod_{E_i} \phi_{E_i}(Y_t) \quad (3.9)$$

$$\alpha_{t+1}(j) = b_j(Y_{t+1}) \prod_{i=1}^N \alpha_t(i) \phi_{ij} \quad (3.10)$$

Каждый элемент α_i в уравнениях (3.9), (3.10) представляет собой вероятность использования энергии пути после просмотра первого наблюдения t .

Процесс завершения в прямом/обратном алгоритме для оценки вероятности соблюдения наилучшей последовательности представлен с помощью уравнения (3.11):

$$P(Y/I) = \prod_{i=1}^{N=10} \alpha_T(i) \quad (3.11)$$

В каждый момент времени t наблюдается уровень энергопотребления v_k . Это означает, что уровень энергопотребления системы может зависеть от вероятности. Процесс завершения (3.11) используется для определения решения об управлении потоками данных.

Предварительная оценка помогает оценить вероятность управления потоками данных с использованием наилучшего кратчайшего пути с минимальными затратами энергии. Коэффициент принятия решения об управлении потоками данных вычисляется как $P(Y||I) \cdot e$, где e - постоянный параметр, эквивалентный начальной энергии в каждом узле в начале моделирования. Он умножается на вероятность перехода от одной тренировки к другой для оптимизации параметров НММ.

Структура алгоритма улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем приведена на рис. 3.4. Это

проектирование сети, инициализация случайных параметров и поиск оптимального скрытого пути. Все эти шаги позволяют системе прогнозировать наилучшие параметры управления потоками данных.

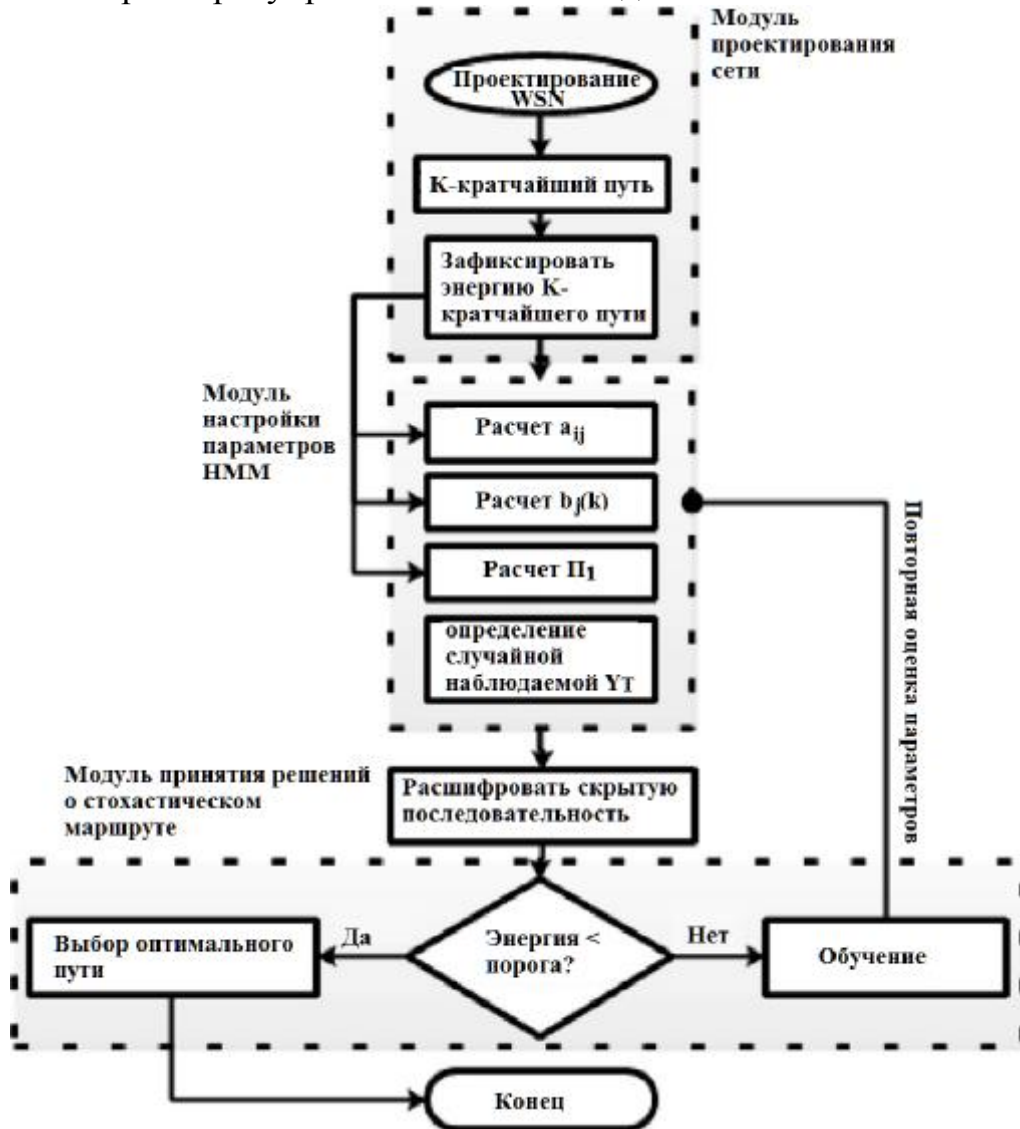


Рис. 3.4. Структура алгоритма улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем

Таким образом, предложен алгоритм улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем, отличающийся автоматическим выбором гетерогенных факторов ранжирования узла слияния – кандидата с наибольшей реализуемостью, и обеспечивающий сокращение общего времени, необходимого для завершения процесса кластеризации.

В главе 4 проанализированы особенности математического и программного обеспечения специального управления данными в прикладных задачах.

Сначала исследуется задача обнаружения аномальных данных в электроэнергетической системе. Данные, используемые для обнаружения аномалий в системе автоматизации учета электроэнергии, содержатся в таких таблицах, как таблица потока сообщений системного терминала и таблица запи-

сей потерь на линии в полевых условиях.

Таблица 4.1

Таблица потока сообщений

Объект	Имя поля БД	Данные
Код терминала	rtuid	
Дата передачи данных	datetime	
Байт отправки (нисходящий поток)	sendbytes	
Байт получения (восходящий поток)	recvbytes	
Время повторного подключения	logintimes	
Поток данных	databytes	
Поток сигналов тревоги	alarmbytes	
Время работы потока тактов	linkbytes	
Время	onlinetimes	

Таблица 4.2

Таблица потерь на линии

№ п/п	Объект	Имя поля БД
1	Номер строки	LINEID
2	Название строки	DISC
3	Дата передачи данных	DATETIME
4	Входная мощность	ENERGY_IN
5	Выходная мощность	ENERGY_OUT
6	Частота потери данных на линии	LINELOSS_RATE
7	Дата отправки данных	SENDDATE

По разным причинам данные будут неполными и противоречивыми. Эти данные называются данными об ошибках и оказывают большое влияние на последующее обнаружение аномалий. Поэтому фильтрация данных очень важна для обнаружения аномалий.

При фильтрации данных сначала необходимо удалить избыточные данные в наборе данных. Если данные отсутствуют в значительной степени, пользователь исключается из области исследования, и для восстановления пропущенного значения используется метод многоуровневой лагранжевой интерполяции. После внесения исправлений в данные устраняются шумы путем сглаживания кривой зависимости времени работы системы.

В процессе обнаружения аномальных данных в системе автоматизации измерения электроэнергии сначала получают временной ряд для каждого из данных в сетевой базе данных, в качестве элемента которого используется среднее значение временного ряда. Предложен гибридный алгоритм обнаружения аномальных данных на основе алгоритма кластеризации и алгоритма iForest в качестве метода обнаружения аномалий. Проведенные эксперименты доказывают, что этот метод исследования по сравнению с традиционными методами требует меньше времени для обнаружения, а результаты обнаружения более надежны и что этот метод осуществим. Структурная схема алгоритма представлена на рис. 4.1.

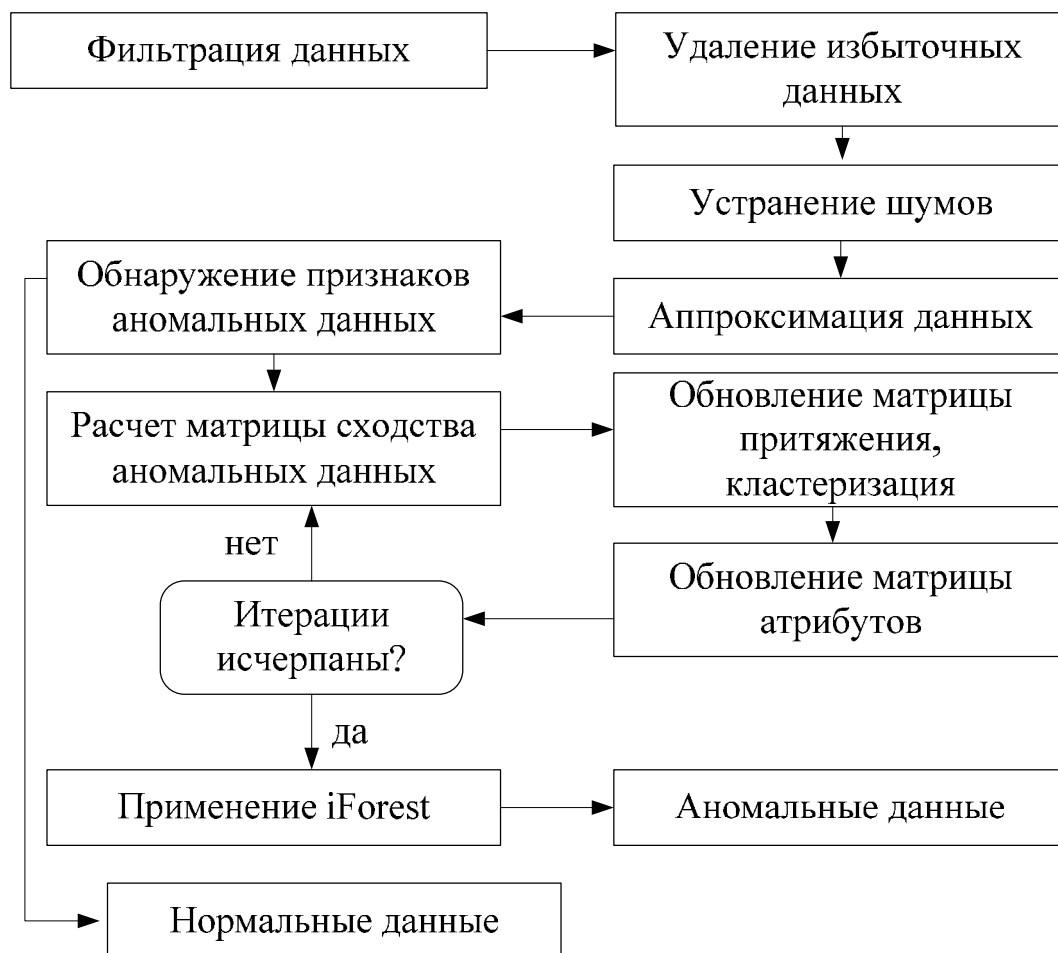


Рис. 4.1. Структурная схема алгоритма выявления аномальных данных

Таким образом, представлен гибридный итерационный алгоритм поиска аномальных данных, сочетающий применение матрицы сходства аномальных признаков данных и кластерный анализ с использованием обучения iForest, обеспечивающий улучшение точности обнаружения в среднем на 22%.

Далее рассмотрена задача динамического мониторинга потерь больших данных. Управление узлами и планирование их работы является важной частью кластеров больших данных. От того, хорошо ли работает кластер, напрямую зависит эффективность всего кластера, поэтому система должна отслеживать различные информационные ресурсы каждого узла и управлять ими в режиме реального времени. Администратор может настроить кластер в режиме реального времени в соответствии с производительностью кластера, устранить узкое место в кластере и обеспечить бесперебойную работу задания.

Агент мониторинга кластера в основном отвечает за сбор индексных данных мониторинга кластера. Для мониторинга кластера можно просматривать информацию о состоянии кластера, общее количество компьютеров в кластере, пользователей кластера, группы хостов и другую информацию.



Рис. 4.2. Структура программного комплекса динамического мониторинга потерь больших объемов данных с многоуровневым сбором информации

Для проверки эффекта временной синхронизации системы динамического мониторинга потерь больших объемов данных в мобильной сети была создана экспериментальная платформа для проверки функции временной синхронизации. В ходе эксперимента система мониторинга используется для сбора сигналов фиксированной частоты, генерируемых генератором сигналов в режиме реального времени. После проведения эксперимента путем анализа собранных данных вычисляется ошибка синхронизации по времени сбора

данных сенсорным узлом, а затем сравнивается эффективность синхронизации сбора данных традиционной системы мониторинга и разработанной системы динамического мониторинга потерь больших данных в мобильной сети.

Для дальнейшей проверки эффективности системы, описанной в статье, традиционная система на базе ZigBee и система Интернета вещей используются для сравнения и анализа точности динамического мониторинга потерь больших данных в мобильной сети. Результаты сравнения показаны на рис. 4.3.

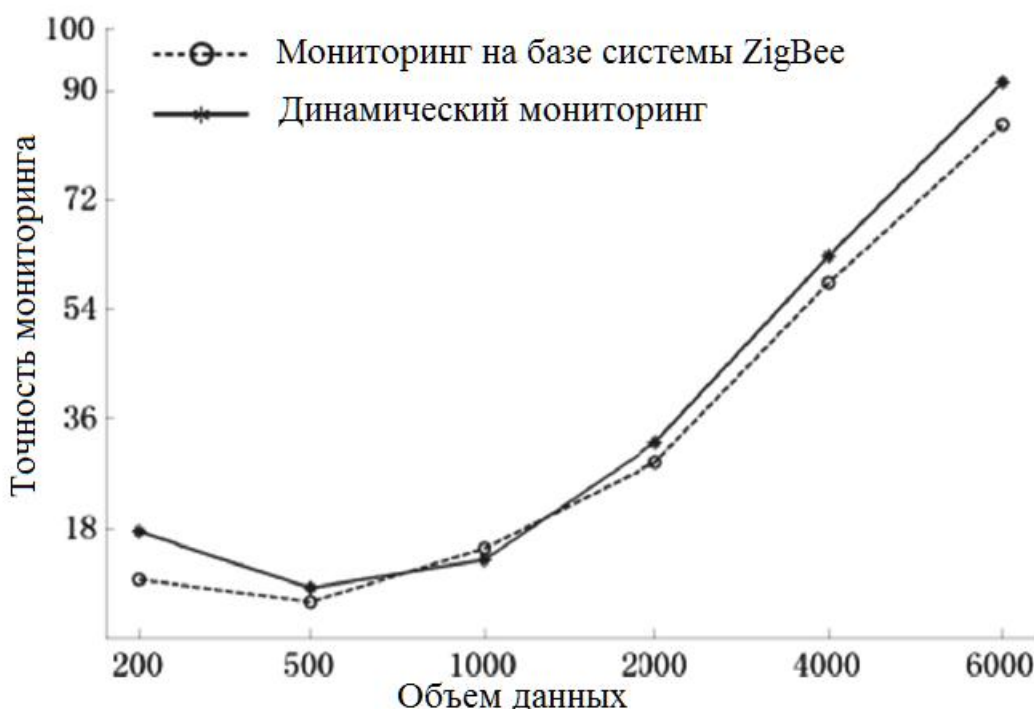


Рис. 4.3. Результаты сравнения точности мониторинга

Согласно рис. 4.3, максимальная точность динамического мониторинга потерь больших данных в мобильной сети может достигать 98%, в то время как максимальная точность динамического мониторинга потерь больших данных в мобильной сети на базе системы ZigBee составляет всего 82%, что показывает, что точность динамического мониторинга потерь больших данных в мобильной сети превосходит традиционную систему мониторинга потерь больших данных в мобильных сетях на основе системы ZigBee.

Таким образом, разработана структура программного комплекса динамического мониторинга потерь больших объемов данных с многоуровневым сбором информации (уровни кластера, производительности узлов и работы заданий), обеспечивающей максимальную точность мониторинга до 98%.

Заключение

В процессе выполнения диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Создана модель снижения энергопотребления процессов перемещения данных в беспроводных информационных системах, обеспечивающая

повышение эффективности узла слияния по мере увеличения количества кластеризуемых узлов, а также их индивидуальных уровней энергии.

2. Предложена модификация стратегии управления данными на основе агентного подхода, позволяющая повысить энергоэффективность маршрутизации в крупномасштабных беспроводных сенсорных сетях.

3. Разработан алгоритм улучшения показателей энергоэффективной связи объектов беспроводных информационных систем, обеспечивающий сокращение общего времени, необходимого для завершения процесса кластеризации.

4. Разработан гибридный итерационный алгоритм поиска аномальных данных, сочетающий применение матрицы сходства аномальных признаков данных и кластерный анализ с использованием обучения iForest, обеспечивающий улучшение точности обнаружения в среднем на 22%.

5. Разработана структура программного комплекса динамического мониторинга потерь больших объемов данных с многоуровневым сбором информации (уровни кластера, производительности узлов и работы заданий), обеспечивающая максимальную точность мониторинга до 98%,

6. Элементы программного обеспечения зарегистрированы в ФИПС.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Результаты исследования рекомендуются к применению в задачах исследования и разработки программного обеспечения в беспроводных информационных системах.

Дальнейшая разработка темы будет направлена на практическую реализацию теоретических и алгоритмических результатов, интеграцию в проекты наиболее распространенных распределенных систем. Развитие результатов будет направлено на дальнейшее снижение энергопотребления беспроводных коммуникационных систем.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах: Публикации в изданиях списка ВАК

1. Хуссейн Али Иед, Баталов Д.И., Красновский Е.Е. Модель интеграции данных для беспроводных сенсорных сетей, направленная на повышение энергоэффективности// Системы управления и информационные технологии, №3(97), 2024. С. 93-100.

2. Хуссейн Али Иед, Рындин Н.А., Божко Л.М., Мутина Е.И. Моделирование мониторинга аномалий в системе автоматизации измерения мощности// Системы управления и информационные технологии, №2.1(100), 2025. С. 74-80.

3. Хуссейн Али Иед, Рындин Н.А., Питолин А.В. Архитектура интеллектуальной системы динамического мониторинга потерь больших объемов данных в мобильной сети// Системы управления и информационные технологии, №3(101), 2025. С. 69-77.

4. Хуссейн Али Иед, Рындин Н.А. Стохастический поиск кратчайших путей с использованием параметров управления потоками данных на основе протокола динамической маршрутизации для мобильных AD-НОС сетей//

Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2025.
– Т. 21, № 4. – С. 78-86.

Публикация в издании, входящем в базу данных WoS

5. Kravets O.Ja., Ali Husein, Getmanskaia D.V., Mustafa Jaafar Baqer Al-Imari, Chernoiivanenko I.A., Redkin Yu.V., Varlamov O.O. Automata model of a system with distributed ledger technology based on a blockchain// International Journal on Information Technologies and Security, vol. 17, no. 4, 2025, pp. 79-86. <https://doi.org/10.59035/VSVB7916>. WOS: 001622781400008.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

6. Атласов Д.И., Сотников Д.В., Васми Ихаб А Васми, Хуссейн Али Иед, Линкина А.В. Типовой интерфейс облачных вычислений. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025681822 от 18.08.2025. - М.: Роспатент, 2025.

Статьи и материалы конференций

7. Анализ методов и моделей распределения местоположения узлов в сетях для оценки эффективности работы беспроводных датчиков / Али Хусейн, В.В. Лавлинский // Моделирование систем и процессов. – Вып. 2.– 2020. – С.27-34.

8. Имитационная модель распределения местоположения узлов в сетях для оценки эффективности работы беспроводных датчиков / Али Хусейн, В.В. Лавлинский // Моделирование систем и процессов. – Т. 13, Вып. 2. - 2020. – С.35-42

9. Хуссейн А. Исследование эффективности работы беспроводных датчиков на основе местоположения узлов в сетях// Интеллектуальные информационные системы: тр. Междунар. НПК: в 2 ч.. Ч. 2. - Воронеж: ВГТУ, 2021. - С. 153-157

10. Хуссейн А.Е. Математическая модель оценки эффективности работы беспроводных датчиков на основе местоположения узлов в сетях// Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: тр. Междунар. молодежной научной шк. – Воронеж: ВГТУ, 2022. – С. 116-121.

11. Хуссейн Али Иед. Численное исследование протокола LEACH в качестве полураспределенного протокола кластеризации для беспроводных сенсорных сетей// Информационные технологии моделирования и управления, №3(137), 2024. – С. 199-208.

12. Хуссейн Али Иед, Рындин Н.А. Моделирование управления межобъектным взаимодействием в беспроводных сенсорных сетях// Сб. тр. VI Всеросс. НПК «Информационные технологии в экономике и управлении». – Махачкала, 2024. С. 96-102.

13. Husein A.E., Ryndin N.A. Development of a probabilistic method for managing data flows based on a hidden Markov model// Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2025'SCT): Proc. of the XXX-th Int. Open Science Conf. - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2025. – pp. 54-64.

14. Хуссейн Али Иед, Рындин Н.А. Особенности использования параметров управления потоками данных для стохастического поиска кратчай-

ших путей// Экономика и менеджмент систем управления, №1(55), 2025. – С. 90-100

15. Хуссейн А.И. Математическое и программное обеспечение для повышения энергоэффективности протокола управления потоками данных со скрытой Марковской моделью в беспроводных сенсорных сетях// Информатика. Экономика. Управление - Informatics. Economics. Management, 4(2), 2025, pp. 3007–3013. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2025-4-2-3007-3013>.

16. Husein A.E., Ryndin N.A. Stochastic data flow management process to minimize energy consumption// Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2026'SCT): Proceedings of the XXXI-th International Open Science Conference (Yelm, WA, USA, January 2026). - Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2026. – Pp. 65-75.

Подписано в печать 27.03.2026.
Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ №212.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14