

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Литвиненко О.А.

*специалист, Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций имени
профессора М.А. Бонч-Бруевича
(Санкт-Петербург, Россия)*

ENERGY REDUCTION METHODS IN INTERNET OF THINGS DEVICES

Litvinenko O.

*specialist degree, Saint Petersburg State University of
Telecommunications named after Professor M.A. Bonch-Bruевич
(St. Petersburg, Russia)*

Аннотация

В данной статье рассматриваются методы и технологии, направленные на снижение энергопотребления в устройствах Интернета вещей (IoT). Описаны примеры энергосберегающих протоколов связи, таких как BLE, Zigbee и LoRaWAN, с характеристиками и основными применениями. Анализируется использование режимов пониженного энергопотребления микроконтроллеров и программных методов оптимизации для сокращения энергозатрат. Особое внимание уделено адаптивным алгоритмам управления частотой процессора и событийно-ориентированной архитектуре, позволяющим устройствам эффективно использовать ресурсы. Представлены рекомендации по выбору методов для различных типов IoT-устройств в зависимости от их задач. Статья подчеркивает значимость комплексного подхода к повышению энергоэффективности и определяет направления дальнейших исследований, направленных на улучшение существующих технологий.

Ключевые слова: IoT, энергосбережение, протоколы связи, программная оптимизация, микроконтроллеры.

Abstract

This article examines methods and technologies aimed at reducing energy consumption in Internet of Things (IoT) devices. Examples of energy-efficient communication protocols such as BLE, Zigbee, and LoRaWAN are described, along with their characteristics and primary applications. The use of low-power modes for microcontrollers and software optimization techniques to reduce energy expenditure is analyzed. Special attention is given to adaptive frequency management algorithms and event-driven architectures, enabling devices to use resources efficiently. Recommendations are provided for selecting methods suitable for various IoT devices based on their specific tasks. The article emphasizes the importance of a comprehensive approach to improving energy efficiency and identifies future research directions for enhancing current technologies.

Keywords: IoT, energy saving, communication protocols, software optimization, microcontrollers.

Введение

В последние годы технологии Интернета вещей (Internet of Things, IoT) развиваются быстрыми темпами, находя применение в различных областях, включая умные дома, промышленную автоматизацию и системы управления городским хозяйством. Основным

вызовом при проектировании IoT-устройств является энергоэффективность, так как многие устройства работают на автономных источниках питания с ограниченной емкостью. Оптимизация потребления энергии в IoT-устройствах критически важна для обеспечения их стабильной работы и продления времени автономного функционирования. Цель данной статьи – рассмотреть методы и технологии, позволяющие снижать энергопотребление в устройствах IoT, и оценить их применимость и эффективность.

Энергоэффективность IoT-устройств напрямую связана с архитектурой и особенностями их компонентов, включая микроконтроллеры, модули беспроводной связи и датчики. Современные подходы к снижению энергопотребления включают оптимизацию аппаратных и программных решений. Разработка энергоэффективных алгоритмов управления и применения технологий энергосбережения играет ключевую роль в повышении общей эффективности устройств. На фоне растущего числа подключенных устройств важность этих методов только возрастает.

В статье анализируются основные стратегии снижения энергопотребления, такие как использование энергосберегающих режимов работы, протоколов связи с низким энергопотреблением и программных методов оптимизации работы процессоров. Особое внимание уделяется сравнительному анализу их эффективности и применению на практике.

Основная часть

Энергосберегающие протоколы связи играют ключевую роль в снижении энергопотребления IoT-устройств, поскольку беспроводная передача данных часто является одним из самых ресурсоемких процессов. Одним из таких протоколов является **Bluetooth Low Energy (BLE)**, который был разработан специально для обеспечения минимального энергопотребления при сохранении достаточной скорости передачи данных. BLE использует адаптивные интервалы передачи и функции пониженной активности, позволяя устройствам переходить в спящий режим в периоды бездействия, что значительно снижает энергозатраты. Этот протокол особенно популярен в носимых устройствах и датчиках для умных домов [1].

Еще одним примером является **Zigbee**, который поддерживает создание энергосберегающих сетей с низкой скоростью передачи данных. Zigbee использует механизм передачи на основе пакетов с минимальной задержкой и возможностью гибкого перехода в режимы сна. Данная технология часто применяется в устройствах автоматизации зданий и системах интеллектуального освещения, где важна высокая надежность передачи данных при низком энергопотреблении [2].

Протокол **LoRaWAN** (Long Range Wide Area Network) также заслуживает внимания благодаря своей способности обеспечивать широкую зону покрытия с минимальными затратами энергии. Он позволяет передавать данные на большие расстояния с низкой скоростью, что особенно полезно для удаленных IoT-устройств, таких как сельскохозяйственные датчики и системы мониторинга окружающей среды. LoRaWAN использует технологии модуляции с расширенным спектром, что способствует энергоэффективной передаче данных и продлению времени автономной работы устройства [3].

Другим важным подходом к снижению энергопотребления в IoT-устройствах является использование режимов пониженного энергопотребления микроконтроллеров. Многие современные микроконтроллеры оснащены функциями управления энергопотреблением, которые позволяют переключаться между различными режимами работы в зависимости от нагрузки. Например, микроконтроллеры могут переходить в режимы сна или ожидания, когда устройство не активно, а при необходимости быстрого выполнения операций возвращаться в активный режим. Это позволяет значительно экономить заряд батареи, увеличивая срок службы устройства.

Примером использования этих возможностей служат микроконтроллеры с поддержкой режима **Deep Sleep**, который отключает большинство периферийных устройств и уменьшает потребление до минимального уровня. Данные методы особенно полезны в устройствах с датчиками, которые собирают информацию с определенной периодичностью. Например,

система мониторинга температуры может оставаться в режиме сна большую часть времени, активируясь только для выполнения измерений и передачи данных.

Программная оптимизация также играет важную роль в повышении энергоэффективности IoT-устройств. Разработка алгоритмов, которые минимизируют использование процессора и уменьшают количество вычислительных операций, способствует снижению энергозатрат. Примером может служить использование адаптивных алгоритмов, которые позволяют устройству изменять частоту обновлений данных в зависимости от изменений в окружающей среде. Это снижает нагрузку на процессор и уменьшает потребление энергии [4].

Примеры программной оптимизации

Программная оптимизация в контексте энергоэффективности IoT-устройств включает различные методы, направленные на снижение нагрузки на процессор и минимизацию энергопотребления. Одним из таких методов является **использование событийно-ориентированной архитектуры**, при которой процессор активируется только при возникновении событий, требующих обработки. Например, вместо периодических проверок состояния датчика используется механизм прерываний, который позволяет устройству оставаться в режиме сна и просыпаться только по мере необходимости.

Еще одним примером программной оптимизации является **адаптивное управление частотой процессора**. Эта техника предполагает динамическое изменение тактовой частоты микроконтроллера в зависимости от текущих вычислительных задач. При низкой нагрузке частота процессора уменьшается, что позволяет значительно сократить энергопотребление. В операционных системах реального времени для IoT часто применяются встроенные функции управления частотой процессора, что позволяет автоматически регулировать мощность устройства [5].

Оптимизация использования памяти и ресурсов также важна для энергосбережения. **Сокращение операций ввода-вывода** помогает минимизировать взаимодействие с периферийными устройствами и тем самым снижает энергозатраты. Например, в приложениях, где требуется передача данных по сети, целесообразно группировать данные и отправлять их пакетами вместо частых одиночных сообщений.

Использование энергоэффективных алгоритмов обработки данных также способствует снижению энергопотребления. Простейший пример – это применение алгоритмов компрессии данных перед их передачей по сети, что позволяет сократить объем передаваемой информации и, как следствие, уменьшить энергозатраты на передачу [6].

Ниже представлена таблица 1 с характеристиками популярных энергосберегающих протоколов для IoT-устройств.

Таблица 1

Характеристики энергосберегающих протоколов связи для IoT-устройств

Протокол	Максимальная скорость передачи данных	Дальность передачи	Энергопотребление	Основные применения
BLE (Bluetooth Low Energy)	До 2 Мбит/с	До 100 метров	Низкое	Носимые устройства, умные дома
Zigbee	До 250 Кбит/с	До 100 метров	Низкое	Автоматизация зданий, системы освещения

LoRaWAN	До 50 Кбит/с	До 15-20 км	Очень низкое	Сельскохозяйственные датчики, мониторинг окружающей среды
Wi-Fi HaLow	До 347 Мбит/с	До 1 км	Среднее	Промышленные системы, датчики с большим объемом данных

Таблица, приведенная выше, демонстрирует ключевые характеристики энергосберегающих протоколов связи, применяемых в IoT-устройствах. Сравнение параметров, таких как скорость передачи данных, дальность действия и уровень энергопотребления, позволяет выбрать наиболее подходящий протокол для конкретного применения. Например, BLE и Zigbee обеспечивают низкое энергопотребление и применяются в устройствах с ограниченным радиусом действия, таких как датчики и носимые устройства. В то же время LoRaWAN выделяется своей способностью передавать данные на большие расстояния с минимальными затратами энергии, что делает его идеальным для распределенных систем мониторинга. Wi-Fi HaLow, обладая высокой скоростью передачи, подходит для приложений с увеличенным объемом данных, таких как промышленные датчики, требующие более широкого охвата и производительности [7].

Заключение

Снижение энергопотребления в устройствах IoT является одной из ключевых задач при проектировании современных систем, обеспечивающих автономность и надежность их работы. Рассмотренные методы, включая использование энергосберегающих протоколов связи, оптимизацию программного обеспечения и управление энергопотреблением микроконтроллеров, демонстрируют высокую эффективность в повышении энергоэффективности устройств. Примеры протоколов BLE, Zigbee и LoRaWAN показывают, что выбор подходящего решения зависит от требований к дальности передачи, скорости и уровня энергопотребления.

Оптимизация работы микроконтроллеров и программное управление ресурсами устройства позволяет значительно снизить потребление энергии. Использование событийно-ориентированной архитектуры и адаптивного управления частотой процессора помогает поддерживать баланс между производительностью и энергозатратами. Это особенно важно в системах, где требуется длительное автономное функционирование.

Перспективы дальнейших исследований могут включать разработку гибридных решений, комбинирующих преимущества различных методов и технологий. Это позволит создать более сложные и энергоэффективные системы, которые смогут отвечать растущим требованиям современных приложений Интернета вещей.

Список литературы

1. Мутханна А.С.А. Модель интеграции граничных вычислений в структуру сети «воздух-земля» и метод выгрузки трафика для сетей интернета вещей высокой и сверхвысокой плотности // Труды учебных заведений связи. 2023. Т. 9. №3. С. 42-59.
2. Воробьев А.И., Колбанев А.М., Колбанев М.О. Модель оптимизации энергопотребления умными вещами // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. №7. С. 46.
3. Шиков С.А. Проблемы информационной безопасности: интернет вещей // Инженерные технологии и системы. 2017. Т. 27. №1. С. 27-40.
4. Шешалевич В.В. LPWAN–низкопотребляющие сети большого радиуса действия. Связь для интернета вещей // Безопасность информационных технологий. 2017. Т. 24. №3. С. 7-17.
5. Черняк Л. Интернет вещей: новые вызовы и новые технологии // Открытые системы. СУБД. 2013. №4. С. 14-18.
6. Довгаль В.А., Довгаль Д.В. Анализ проблем обеспечения информационной безопасности беспроводных сенсорных сетей и методов обеспечения безопасности интернета

вещей // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2021. №1(276). С. 75-83.

7. Ядровская М.В., Поркшеян М.В., Синельников А.А. Перспективы технологии интернета вещей // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2021. Т. 21. №2. С. 207-217.