

Научная статья
УДК 004.896
DOI: <https://doi.org/10.18127/j19997493-202502-06>

Поиск оптимальной конфигурации радиоресурсов линии вверх для снижения энергопотребления UE NB-IoT при передаче данных

С.Г. Мосин¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет (г. Казань, Россия)

¹ ООО «ЛабСистемс» (г. Владимир, Россия)

¹ smosin@ieee.org

Аннотация

Постановка проблемы. К длительности автономной работы пользовательского оборудования узкополосного Интернета вещей (UE NB-IoT – User Equipment for Narrowband Internet-of-Things) предъявляют высокие требования – до 10 лет при использовании аккумуляторной батареи емкостью 5 А·ч. Стандарт предусматривает перевод UE NB-IoT в режимы пониженного энергопотребления – расширенный прерывистый прием (eDRX – Extended Discontinuous Reception) и энергосбережения (PSM – Power Saving Mode). Однако наибольшее потребление энергии приходится на передачу данных, в ходе которой обеспечивается требуемое качество обслуживания (QoS – Quality of Service) за счет механизмов многократного повторения передачи ресурсных единиц и перехода на менее эффективные схемы модуляции и кодирования. Разные конфигурации радиоресурсов линии вверх (UL – Uplink), используемые для передачи данных фиксированной длины от UE NB-IoT к базовой станции (eNB), могут приводить к потреблению приемопередатчиком разного объема энергии от аккумулятора. Поиск конфигурации радиоресурсов, обеспечивающей минимальное энергопотребление приемопередатчика (TRX – Transmitter) при передаче данных от UE NB-IoT к eNB с требуемым качеством – оптимальное планирование, является актуальной задачей развития мобильного IoT.

Цель. Разработать и исследовать модель поиска оптимальной конфигурации радиоресурсов, обеспечивающую снижение энергопотребления TRX при передаче данных по UL.

Результаты. Предложена модель оценки энергопотребления приемопередатчика UE NB-IoT при передаче данных по UL. Определен набор параметров, влияющий на величину энергопотребления. Сформулирована задача поиска конфигурации радиоресурсов, обеспечивающей снижение энергопотребления TRX при передаче данных по UL в виде оптимизационной задачи и предложен метод ее решения с учетом особенностей канала связи NB-IoT и процедур взаимодействия пользовательского оборудования с eNB. Проведено комплексное экспериментальное исследование, включающее верификацию предложенной модели, оценку сходимости предложенного метода решения и границ его применимости, одновариантный и многовариантный анализ энергопотребления приемопередатчика UE NB-IoT при оптимальном планировании радиоресурсов для передачи данных по UL и оценку эффективности предложенного решения. В результате численного моделирования продемонстрировано снижение до 50% минимального энергопотребления при использовании оптимальной конфигурации радиоресурсов по сравнению с ближайшим следующим вариантом. Определено направление дальнейших исследований, ориентированных на развитие предложенного решения для случая одновременного взаимодействия с eNB многих пользователей.

Практическая значимость. Предложенная математическая модель и ее программная реализация представляют интерес для использования на ранних стадиях автоматизированного проектирования сетей Интернета вещей по технологии NB-IoT для выбора оптимальных конфигураций радиоресурсов с целью повышения срока автономной работы пользовательского оборудования без снижения качества обслуживания.

Ключевые слова

Узкополосный Интернет вещей, снижение энергопотребления, оптимальное планирование, радиоресурсы, математическая модель

Для цитирования

Мосин С.Г. Поиск оптимальной конфигурации радиоресурсов линии вверх для снижения энергопотребления UE NB-IoT при передаче данных // Динамика сложных систем. 2025. Т. 19. № 2. С. 40–49. DOI: <https://doi.org/10.18127/j19997493-202502-06>

A brief version in English is given at the end of the article

Введение

Развитие систем беспроводной связи ориентировано на расширение спектра предоставляемых услуг от классической голосовой связи и интернет-сервисов до Интернета вещей (IoT – Internet of Things) и межмашинной связи (M2M – Machine-to-Machine) [1, 2]. Спецификация систем связи пятого поколения определяет три ключевых сценария развертывания: сверхширокополосная мобильная связь (eMBB –