

## ПОДХОДЫ К ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ NB-IoT С СЕТЬЮ 5G

*О.А. Шорин, д.т.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики, o.a.shorin@mtuci.ru;*

*В.А. Асланян, Московский технический университет связи и информатики, varazdataslanian@gmail.com.*

### УДК 621

**Аннотация.** Новая узкополосная радиотехнология *NB-IoT* (Интернета вещей), разработанная консорциумом *3GPP*, нацелена на сверхнизкое энергопотребление, низкую стоимость устройств и максимальное покрытие. *NB-IoT* работает с минимальной пропускной способностью, что позволяет связывать огромное количество устройств с низкой скоростью передачи данных в будущем. В данной статье раскрыты результаты исследования по объединению узкополосной технологии *NB-IoT* с сетью пятого поколения. Основное внимание уделяется развертыванию пограничных облачных систем для приложений, работающих с минимальной задержкой.

**Ключевые слова:** *NB-IoT*; Интернет вещей; *MEC* (*Mobile Edge Computing*); *5G*; архитектура.

## APPROACHES TO INTEGRATING NB-IOT TECHNOLOGY INTO 5G NETWORKS

*O.A. Shorin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics;*

*V.A. Aslanian Moscow Technical University of Communications and Informatics, Russia.*

**Annotation.** The new narrowband radio technology developed by the *3GPP* consortium is called *NB-IoT* (narrowband radio technology of the Internet of Things). The main goals of creating this technology are ultra-low power consumption, low cost of devices and maximum coverage. *NB-IoT* works with minimal bandwidth, which allows you to connect a huge number of devices with low data transfer rates in the future. In this work, the narrowband *NB-IoT* technology is combined with the fifth generation network. The focus is on deploying edge cloud systems for applications running with minimal latency.

**Keywords:** *NB-IoT*; Internet of Things; *MEC*; *5G*; architecture.

### Введение

Развитие мобильных сетей связи пятого поколения *5G*, включая обеспечение связи и оптимального уровня трафика, сталкивается с трудностями из-за резкого увеличения числа беспроводных устройств, таких как смартфоны [1, 2]. Прогнозируется, что к 2030 г. мировой трафик увеличится в 1000 раз по сравнению с 2020 г. Одной из основных целей развития сетей *5G* является достижение скорости передачи данных около 10 Гбит/с. Кроме того, сети пятого поколения обещают высокую пропускную способность, низкие задержки, надежность, связность и мобильность.

Для решения проблем загрузки трафика, проблем подключения и достижения высокой скорости передачи данных с минимальной задержкой, новая сотовая система *5G* должна использовать новые технологии в различных точках сети. Некоторые из этих технологий, такие как программно-определяемая сеть

(SDN) и виртуализация сетевых функций (NFV), должны быть внедрены в основной сети [3].

Глобальное медиа агентство MEC проводит облачные вычисления непосредственно рядом с пользователем – буквально на расстоянии шага от него [4]. Использование MEC означает переход от централизованных крупных центров обработки данных к небольшим распределенным центрам обработки данных с ограниченными возможностями по сравнению с централизованными единицами. Это позволяет достичь больших успехов и преимуществ. Мобильное облачное вычисление – это, безусловно, тренд в области облачных вычислений, поскольку все вычисления переносятся на мобильное портативное устройство. С точки зрения лицензирования частотного спектра технологии Интернета вещей [5, 6] можно разделить на две категории: работающие в разрешенном и неразрешенном спектре. Первую категорию представляют *Lora*, *Sigfox* и др. Большинство из них являются нестандартными. Вторую категорию составляют уже известные всем сотовые коммуникационные технологии 2G/3G (такие как *GSM*, *CDMA*, *WCDMA* и др.), а также *LTE* – технология, поддерживающая различные виды терминалов. Стандарты для этих коммуникационных технологий, работающих в разрешенном спектре, разработаны международными организациями стандартов, такими как 3GPP (*GSM*, *WCDMA*, *LTE* и др.) и 3GPP2 (*CDMA* и др.).

Технология узкополосного Интернета вещей (*NB-IoT*) является доступной и энергоэффективной технологией, разработанной 3GPP для передачи данных с низкой скоростью. Она предназначена для использования в интеллектуальных приложениях, таких как системы измерения данных и мониторинг окружающей среды. *NB-IoT* поддерживает массовое подключение, потребляет очень мало энергии, имеет широкий радиус действия и обеспечивает двунаправленную связь между сигнализацией и данными. Кроме того, она обладает эффективной сотовой коммуникационной сетью. Технология способна работать от одной батареи до 10 лет, что делает ее идеальным решением для проектов, где требуется продолжительное автономное функционирование, например, для интеллектуальных счетчиков, агротехнических датчиков и носимых устройств.

Основной целью исследования является нахождение подхода к интеграции *NB-IoT* с сетями 5G.

Задачей исследования является поиск и разработка решений для развертывания экономически выгодной упрощенной системы интеграции технологии *NB-IoT* сетям 5G, которая может быть реализована на универсальной вычислительной платформе.

### **Характеристики *NB-IoT***

В данном разделе рассмотрены некоторые характеристики *Narrowband IoT*.

*Низкое энергопотребление.* *NB-IoT* может обеспечить длительное время работы в режиме ожидания, благодаря использованию режима энергосбережения *PSM* (*power saving mode*) и расширенного прерывистого восприятия *eDRX* (*expanded discontinuous reception*). Для достижения требуемого срока службы батареи в 10 лет для типичного низкоскоростного низкочастотного обслуживания потеря связи должна составлять 164 дБ. При использовании *PSM* и *eDRX* батарея мощностью 5 Вт может проработать 12,8 лет, если терминал отправляет 200 байт один раз в день. Сроки службы батареи в годах в зависимости от потери связи показаны в табл. 1.

Таблица 1.

Размер сообщения / интервал	Сроки службы батареи/год		
	Потеря связи в 144 дБ	Потеря связи в 154 дБ	Потеря связи в 164 дБ
50 байтов / 7200 с	22,4	11	2,5
200 байтов / 7200 с	18,2	5,9	1,5
50 байтов / 86400 с	36	31,6	17,5
200 байтов / 86400 с	34,9	26,2	12,8

Такой охват и низкая чувствительность к задержке достигаются за счет применения механизмов, в частности, повторной передачи (200 раз) и низкочастотной модуляции. В настоящее время допустимая задержка в стандарте *3GPP IoT* составляет 10 с. Также фактически может быть обеспечена более низкая задержка около 6 с для максимальных потерь связи.

*Режим передачи.* Ширина полосы пропускания физического уровня составляет 200 кГц. В нисходящей линии связи используется модем *QPSK* и технология *OFDMA* с интервалом между несущими 15К. В восходящей линии связи применяются модемы *BPSK* или *QPSK* и технология *SC-FDMA*, включающая одну или несколько поднесущих. Кроме того, с точки зрения производительности, *NB-IoT* обеспечивает покрытие сигналом на уровне +20 дБ, поддерживает до 1000 соединений и имеет ресурсоемкость, позволяющую работать до 10 лет, используя только полосу частот шириной 200 кГц.

*Ресурс спектра.* Использование *NB-IoT* в диапазонах частот 700 МГц, 800 МГц и 900 МГц является оптимальным выбором из-за широкой экосистемы и поддержки мировыми операторами. Например, в Китае *NB-IoT* активно поддерживается четырьмя крупнейшими телекоммуникационными операторами.

*Режим работы NB-IoT.* В настоящее время поддерживает только *FDD* режим передачи с полосой пропускания 180 кГц и три типа развертывания:

- независимое развертывание (автономный режим);
- разделение защитных полос (защитный режим);
- внутриполосное развертывание (внутриполосный режим).

*Уровни покрытия.* Существуют три типа классов покрытия: нормальный охват, надежный охват и экстремальный охват. Они соответствуют минимальным потерям связи в 144, 154 и 164 дБ соответственно. Выбор модуляции, режима кодирования и повторного времени передачи данных зависит от класса покрытия терминалов.

*Повторная передача данных.* Для улучшения производительности демодуляции и покрытия, *NB-IoT* использует механизм повторной передачи данных, который позволяет получить коэффициент разнесения во времени и модуляцию низкого порядка. Все каналы поддерживают этот механизм.

Сеть *NB-IoT* состоит из пяти компонентов:

1) Вертикальный технический центр, который получает данные от службы *NB-IoT* и хранит их в своем центре. Он также контролирует терминалы *NB-IoT*.

2) Облачная платформа *NB-IoT*, которая обрабатывает различные услуги и перенаправляет результаты в вертикальный технический центр или терминалы *NB-IoT*.

3) Ядро сети *NB-IoT*, которое позволяет базовой станции *NB-IoT* подключаться к облачной платформе *NB-IoT*.

4) Базовая станция *NB-IoT*, которая уже развернута операторами связи и поддерживает все три типа режимов развертывания.

5) Терминалы *NB-IoT*, которые позволяют устройствам *IoT* в различных отраслях промышленности подключаться к сети *NB-IoT* при наличии соответствующей *SIM*-карты.

Наглядное изображение структуры сети *NB-IoT* представлено на рис. 1

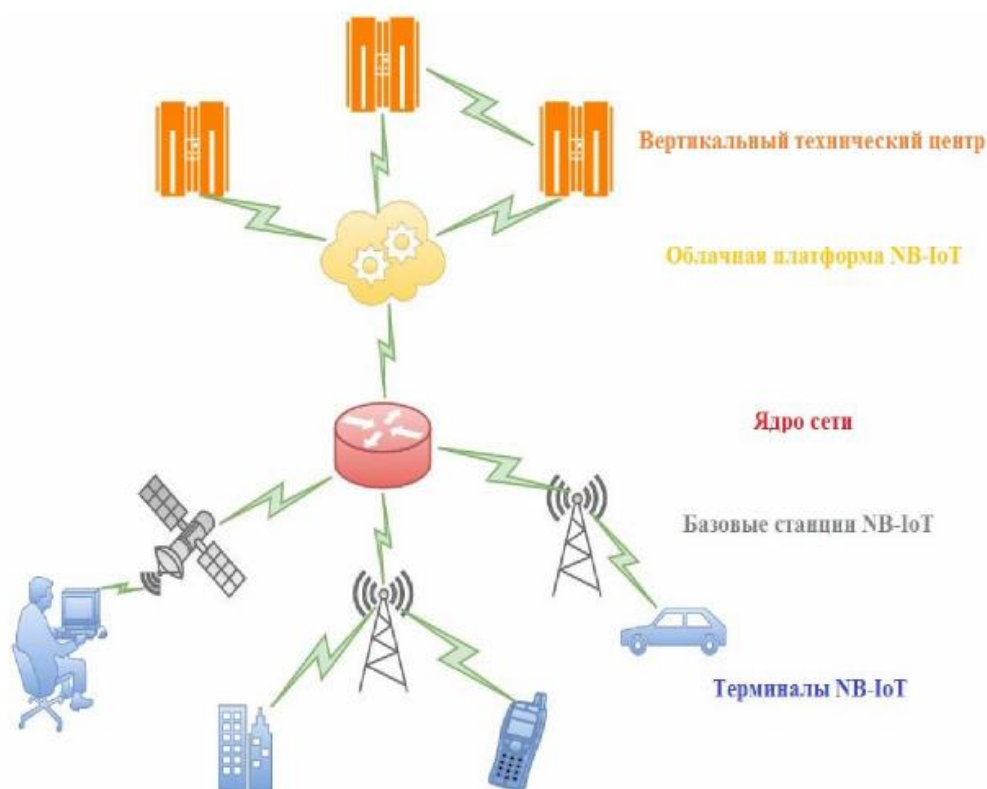


Рисунок 1

### Система интеграции *NB-IoT* с сетями *5G*

Основная цель мобильного облачного вычисления – предоставить пользовательский интерфейс для использования этих приложений. Облачные вычисления в мобильных устройствах можно классифицировать по модели обслуживания на четыре типа [9]: как потребитель (*MaaS*), как поставщик услуг (*MaaSP*), как брокер-сервис (*MaaSB*) и как представитель службы (*MaaSR*). Каждый пользователь в сотовой ячейке может быть одним из этих типов. Как потребитель, мобильное устройство не выполняет задачи, а все вычисления происходят в облаке или на других устройствах. Этот тип является наиболее распространенным. Если устройство может разделить процесс обработки и хранения данных, оно относится к поставщикам. В данном примере устройство собирает информацию с встроенных датчиков (камера или *GPS*) и передает данные другим пользователям. Брокер-сервис работает аналогично поставщику, но с возможностью организации сетей и переадресации. Это означает, что мобильные устройства в роли сервис-брокера могут быть шлюзом для других устройств.

Система состоит из ядра сети и распределенных ячеек. На рис. 2 показана структура системы, которая включает в себя пользовательские устройства, базовые станции (*RAN*), облачные блоки, коммутаторы доступа, коммутаторы на основе *OpenFlow*, *Middleboxes* и контроллер *SDN*. Каждая базовая станция подключается

к сети через коммутаторы доступа, которые выполняют классификацию пакетов от пользовательских устройств. Коммутаторы доступа представляют собой программные коммутаторы, такие как *Open vSwitch*.

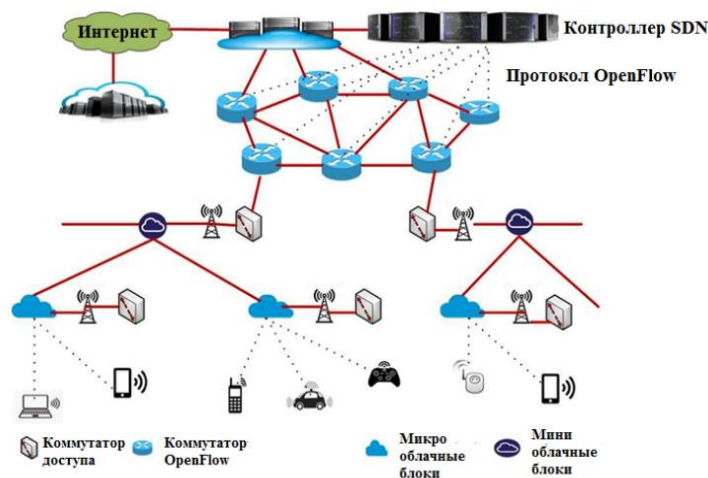


Рисунок 2

Вся сеть использует коммутаторы *OpenFlow* для управления пакетами данных и пересылки трафика на основе таблиц потоков. *Middleboxes* – это оборудование, которое позволяет сетевым операторам добавлять дополнительные функции, такие как межсетевой экран и трансляция сетевых адресов. Основные требования к функциям и сервисам, предоставляемым этими *Middleboxes*, включают эффективное использование ресурсов и защиту системы от атак. Все эти элементы составляют плоскость данных сети.

Для уменьшения количества промежуточных узлов и разгрузки системы используется облачный модуль. Разгрузка состоит из трех частей, как показано на рис. 3. Первая часть – разгрузка базовой станции, где облачный модуль помогает в выделении ресурсов. Вторая часть – разгрузка *IoT*, представляющая собой передаваемую рабочую нагрузку от узлов датчиков. Третья часть – разгрузка сотовых данных.

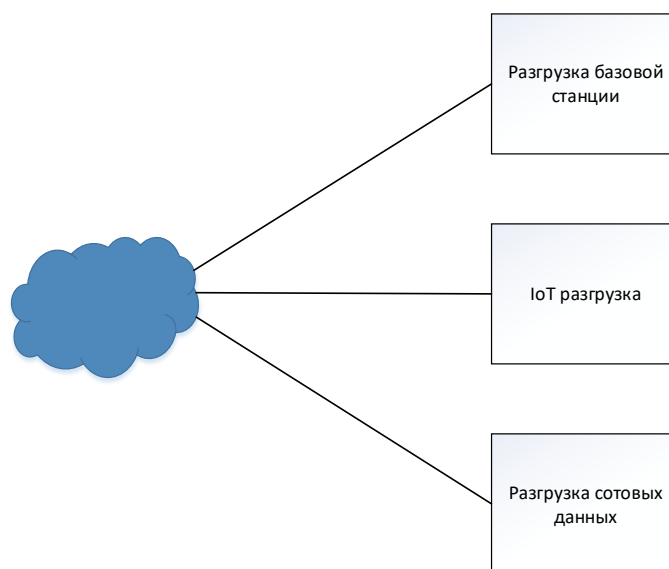


Рисунок 3

## Заключение

Предлагаемая система способна эффективно управлять и устанавливать гибкий маршрут между любыми двумя конечными точками, что позволяет сократить количество промежуточных узлов в процессе коммуникации. Она основана на использовании *SDN* в ядре сети, что делает ее актуальной и эффективной для интеграции *NB-IoT* с системой *5G*.

## Литература

1. Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики // *Электросвязь*, 2017. – № 5. – С. 45-49.
2. Muthanna A., Masek P., Hosek J., Fujdiak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless System // *Lecture Notes in Computer Science*, 2016. – Vol. 9870. – pp. 395-403.
3. Курбанова Ф. Ф., Залкеприева А. А., Рамазанова П. М. [и др.] *NFV Виртуализация сетевых функций* // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XLIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 6 (42). URL: [https://sibac.info/archive/technic/6\(42\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/6(42).pdf)
4. Мутханна А. С. А., Атея А. А., Филимонова М. И. Исследование облачных вычислений в сотовых сетях // *Информационные технологии и телекоммуникации*, 2017. – Т. 5. – № 3. – С. 45-59.
5. Vladyko A., Muthanna A., Kirichek R. Comprehensive SDN Testing Based on Model Network // *Lecture Notes in Computer Science*, 2016. – Vol. 9870. – pp. 539-549.
6. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // *Электросвязь*, 2013. – № 1. – С. 21-24.
7. Шорин О.А. Улучшенные сигнальные структуры FBMC (5G) для систем критических коммуникаций: повышение помехоустойчивости в условиях многолучевого распространения // *Экономика и качество систем связи*, 2022 – № 3 (25). – С. 22-37.
8. Шорин О.А., Бокк Г.О. Снижение негативного влияния высоких значений пик-фактора сигналов в системе McWILL // *Экономика и качество систем связи*, 2019. – № 1 (11). – С. 9-13.
9. Ateya A., Muthanna A., Gudkova I., Vybornova A., Koucheryavy A. Intelligent core network for Tactile Internet system // *International Conference on Future Networks and Distributed Systems*, 2017.
10. Гребенщикова А. А., Атея А. А., Мутханна А. С. А., Киричек Р. В. Подходы к интеграции технологии NB-IoT сетям 5G/IMT-2020 // *Информационные технологии и телекоммуникации*, 2017. – Т. 5. – № 4. – С. 8-16.
11. URL [https://www.researchgate.net/publication/350857731\\_Application\\_and\\_Research\\_of\\_New\\_Power\\_Supply\\_in\\_the\\_Construction\\_of\\_Internet\\_of\\_Things\\_Plus\\_Smart\\_City](https://www.researchgate.net/publication/350857731_Application_and_Research_of_New_Power_Supply_in_the_Construction_of_Internet_of_Things_Plus_Smart_City) (дата обращения - июнь 2024 г.).
12. URL [https://www.researchgate.net/publication/354839523\\_A\\_Review\\_of\\_Interference\\_Challenges\\_on\\_Integrated\\_5G\\_NR\\_and\\_NB-IoT\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/354839523_A_Review_of_Interference_Challenges_on_Integrated_5G_NR_and_NB-IoT_Networks) (дата обращения - июнь 2024 г.).
13. URL [https://www.researchgate.net/publication/344930200\\_Building\\_upon\\_NB-IoT\\_networks\\_A\\_roadmap\\_towards\\_5G\\_new\\_radio\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/344930200_Building_upon_NB-IoT_networks_A_roadmap_towards_5G_new_radio_networks) (дата обращения - июнь 2024 г.).
14. URL [https://www.researchgate.net/publication/260204418\\_5G\\_wireless\\_communication\\_systems\\_Prospects\\_and\\_challenges\\_Guest\\_Editorial](https://www.researchgate.net/publication/260204418_5G_wireless_communication_systems_Prospects_and_challenges_Guest_Editorial) (дата обращения - июнь 2024 г.).

15. Devaki Chandramouli, Rainer Liebhart, Juho Pirskanen. 5G for the Connected World – М.: Изд-во Wiley, 2019. – 505 с.
16. Klas G. I. Fog Computing and Mobile Edge Cloud Gain Momentum Open Fog Consortium // The Eleventh International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC), 2016. – 122 p.
17. Рыжков А. Е. Развитие технологии NB-IoT // Труды учебных заведений связи, 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 94-101.