

ТЕХНОЛОГИЯ NR REDCAP (ФАЗА 2) УСЛУГ IOT НА СЕТИ 5G**Шепелев С.В., Бабин А.И., Коротков М.В.***АО «МТУ Сатурн», Москва,**e-mail: SSHepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru, MKorotkov@k-tech.ru*

Аннотация. Стандартизация оборудования 5G-NR продолжается. Технология RedCap, с появлением ее в релизе Rel.17 3GPP (фаза 1) разрабатывалась для более экономичного обеспечения различных вариантов использования, которым не всегда требуются высокопроизводительные возможности обычной технологии 5G. Целью исследования в статье авторы ставят рассмотрение особенностей эволюции технологии NR RedCap в последних версиях спецификаций Rel.17 и Rel.18 3GPP, как фазы 2 технологии Интернета вещей на сети 5G-Advanced и оказание содействия отечественным разработчикам оборудования 5G в этой области. При стандартизации технологии 5G-Advanced в релизе Rel.18 3GPP рассматривается вторая фаза технологии RedCap, этапы проведения модернизации с учетом упрощения технических возможностей и уменьшения будущей стоимости оборудования RedCap, особенно оконечных устройств. Переход от релиза 17 к релизу 18 означает согласованные усилия в отрасли по совершенствованию технологии NR-RedCap. 5G RedCap хорошо подходит для широкого спектра приложений Интернета вещей и сыграет важную роль в будущих развертываниях Интернета вещей IoT и IIoT. Авторы статьи рассматривают эволюционное развитие технологии RedCap на сетях 5G-NR/5G-Advanced с целью будущей реализации услуг Интернета вещей на будущих сетях пятого поколения России. Разработчикам отечественного оборудования 5G работы по оборудованию RedCap целесообразно начать с учетом доступности чипсетов из дружественных России стран.

Ключевые слова: технология с ограниченными возможностями 5G, NR-RedCap, NR-Light, устройства Интернет вещей, IoT

NR REDCAP TECHNOLOGY (PHASE 2) OF IOT SERVICES ON A 5G NETWORK**Shepelev S.V., Babin A.I., Korotkov M.V.***Joint-stock company "MTU Saturn", Moscow,**e-mail: SSHepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru, MKorotkov@k-tech.ru*

Annotation. The standardization of 5G-NR equipment continues. RedCap technology, with its introduction in the Rel.17 3GPP release (Phase 1), was developed to provide more cost-effective support for various use cases that do not always require the high-performance capabilities of conventional 5G technology. The purpose of the research in the article is to consider the features of the evolution of the NR RedCap technology in the latest versions of the Rel.17 and Rel.18 3GPP specifications, as phase 2 of the Internet of Things technology on the 5G-Advanced network and to assist domestic developers of 5G equipment in this area. When standardizing 5G-Advanced technology, the Rel.18 3GPP release examines the second phase of RedCap technology, the stages of modernization, taking into account the simplification of technical capabilities and reducing the future cost of RedCap equipment, especially terminal devices. The transition from release 17 to release 18 signifies a concerted effort in the industry to improve the NR-RedCap technology. 5G RedCap is well suited for a wide range of IoT applications and will play an important role in future IoT and IIoT deployments. The authors of the article consider the evolutionary development of RedCap technology on 5G-NR/5G-Advanced networks with the aim of future implementation of Internet of Things services on future fifth-generation networks in Russia. It is advisable for developers of domestic 5G equipment to start work on RedCap equipment, taking into account the availability of chipsets from Russia-friendly countries.

Keywords: 5G technology with limited capabilities, NR-RedCap, NR-Light, Internet of Things devices, IoT

5G Reduced Capability, или 5G с ограниченными возможностями (RedCap), также известная как *5G NR-Light*, представляет собой версию технологии 5G, предназначенную для случаев использования для услуг среднего уровня, в основном Интернета вещей. 5G RedCap предлагает сочетание возможностей по умеренной пропускной способности, меньшей сложности и увеличенному времени автономной работы и плотности устройств, необходимых для экономичного обеспечения различных вариантов использования, которым не всегда требуются высокопроизводи-

тельные возможности обычной технологии 5G. Данная концепция была представлена в релизе Rel.17 3GPP для 5G NR в 2022 г. Стандартизация 5G-Advanced продолжается в релизе Rel.18 3GPP. Рассмотрим особенности модернизации фазы 2 технологии NR-RedCap.

Целью работы являлось исследование особенностей эволюции технологии NR RedCap в последних версиях Rel.17 и Rel.18 3GPP, как фазы 2 технологии Интернета вещей на сети 5G-Advanced и оказание содействия отечественным разработчикам оборудования 5G в этой области.

Материалы и методы исследования

При проведении исследований применялись теоретические (анализ, синтез) и логические методы (факты и умозаключения).

Технология NR-RedCap (NR-Light) разработана в релизе Rel.17 3GPP как фаза 1, для решения вариантов использования между высокоскоростной мобильной широкополосной связью (*eMBB*), сверхнадежной связью с низкой задержкой (*uRLLC*) и технологиями массовой машинной связи с низкой пропускной способностью и экономией заряда батареи (*mMTC*) [1]. Для сетей 5G она будет критически важной технологией, но сегодня основная часть Интернета вещей по-прежнему обслуживается 4G/LTE и подключениями, такими как *LTE-M*, *NB-IoT*, а также широкополосными сетями с низким энергопотреблением (LPWA). На рис. 1 приведена диаграмма основных параметров режимов услуг 5G в части IoT, рейтинг параметров NR по десятибалльной шкале.

NR-RedCap фаза 1 (Rel. 17 3GPP) охватывает варианты использования с более высокими требованиями к скорости передачи данных, чем *LTE-M* или *NB-IoT*, и меньшим энергопотреблением и размерами устройства, чем *eMBB*. Многие варианты использования сотовой сети IoT среднего уровня могут быть реализованы с помощью технологий LTE – например, *LTE Cat 1bis* и *LTE Cat 4*. При сравнении *RedCap* с *LTE Cat 1* или *Cat 4* основные преимущества касаются пиковой скорости передачи данных, которая может быть выше, меньшей задержки, чем у *LTE Cat 4*, и улучшенного энергопотребления [1].

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) – технология сотовой связи на основе стандарта LTE и 5G, предназначенная для стационарных устройств с низкими объемами передаваемых данных и малым потреблением.

С выпуском релизов Rel.15 и Rel.16 3GPP усовершенствованный аспект мобильной широкополосной связи (*eMBB*) стал основой для надежной высокоскоростной связи, которая может похвастаться сегодня скоростью нисходящей линии связи до 2,3 Гбит/с и скоростью восходящей линии связи до 468 Мбит/с. Релиз Rel.17 3GPP заложил базу для *NR-RedCap*, оптимизировав широкие возможности 5G NR для обслуживания устройств Интернета вещей, уделив основное внимание созданию приложений Интернета вещей, которым не требуется полный спектр возможностей 5G, но которые извлекают выгоду из достижений технологии 5G [2].

Для промышленности, согласно Rel.17 3GPP, сегодня требуются три начальных варианта использования устройств Интернета вещей (IoT): промышленные беспроводные датчики, видеонаблюдение и носимые устройства [2, с. 17]. К каждой из них предъявляются несколько разные требования по скорости передачи данных, задержке, надежности и времени автономной работы, как показано в табл. 1.

Умные часы и другие носимые устройства должны поддерживать высокую скорость передачи данных в небольших форматах при относительно низком энергопотреблении, чего невозможно достичь с помощью *eMBB* или *mMTC*.

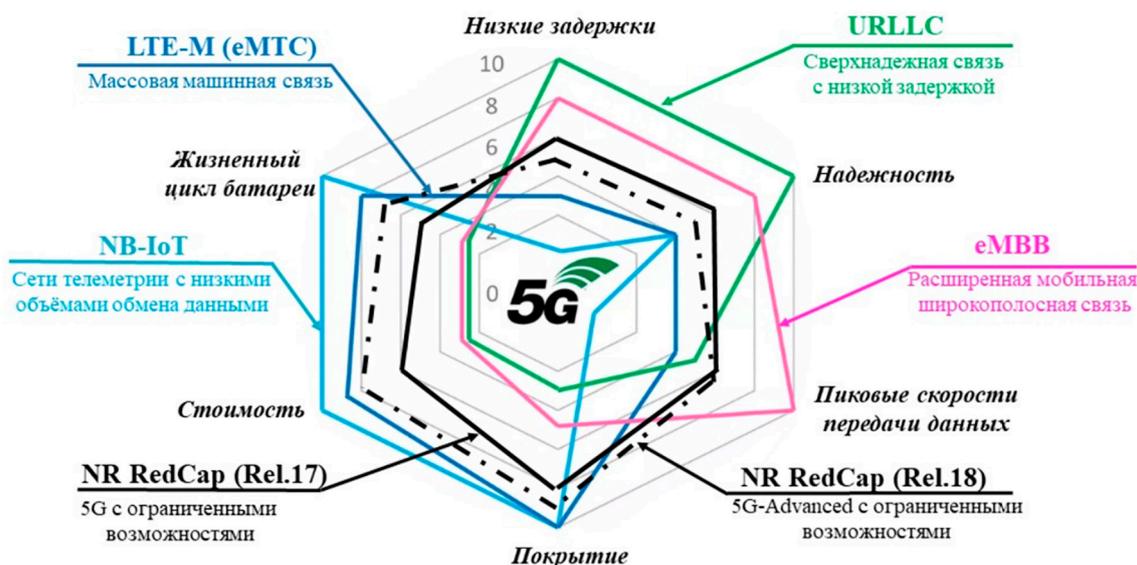


Рис. 1. Диаграмма основных параметров режимов услуг 5G

Таблица 1

Технические требования вариантов оконечных устройств RedCap (Rel.17)

Пример использования	Примеры устройств	Скорость передачи данных	Задержка	Доступность и надежность	Время автономной работы
Носимые устройства	Умные часы, гарнитуры виртуальной реальности, мониторы здоровья	5–50 Мбит/с DL, 2–5 Мбит/с UL (пиковая скорость до 150 Мбит/с DL/50 Мбит/с UL)	< 10 мс	99,99 – 99,999%	до 1–2 недель
Промышленные беспроводные датчики	Датчики движения, давления, температуры, влажности и др.	2 Мбит/с	< 100 мс	99,99%	несколько лет
Видеонаблюдение	Умные города, фабрики, заводы, сельское хозяйство	2–4 Мбит/с для базовых приложений 7,5–25 Мбит/с для высокопроизводительных приложений	< 500 мс	99–99,9%	н/д

Многие видеоприложения для умных городов, домашней безопасности и даже для использования на интеллектуальных заводах не требуют высоких скоростей передачи данных, предлагаемых eMBB, что позволяет использовать 5G RedCap в меньших форм-факторах и с меньшим энергопотреблением. Телематические приложения, которые в настоящее время подключаются через LTE Cat 1 и Cat 4, также являются хорошими кандидатами для RedCap.

Сравнивая возможности устройств Rel. 17 RedCap по сравнению с устройствами Rel. 15 eMBB, можно выделить пять существенных сокращений: максимальная полоса пропускания, приемные антенны устройства, максимальное количество уровней MIMO нисходящей линии связи (DL), максимальный порядок модуляции нисходящей линии связи и дуплексный режим. При сравнении RedCap с LTE Cat 1 или Cat 4 основные преимущества касаются пиковой скорости передачи данных, которая может быть выше, меньшей задержки, чем у LTE Cat 4, и улучшенного энергопотребления [3]. В табл. 2 приведены характеристики технологий IoT на сетях мобильной связи, включая сеть 5G для eMBB и NR-RedCap (фаза 1) согласно Rel.17 3GPP.

Результаты исследования и их обсуждение

В преддверии релиза Rel.18 3GPP NR-RedCap (фаза 2) готовится к серии улучшений, основанных на последних спецификациях Rel.17 3GPP, для удовлетворения растущих требований рынка Интернета вещей. Хотя все еще находится на стадии разработки,

ожидается, что Rel.18 3GPP обеспечит пиковую скорость передачи данных в 10 Мбит/с как для нисходящей, так и для восходящей линии связи, эти усовершенствования, по прогнозам, будут включать [4]:

– *Дальнейшее снижение сложности устройства*: За счет дальнейшего упрощения архитектуры устройства NR-RedCap стремится стать еще более экономичным и энергоэффективным, делая технологию более доступной для широкого спектра устройств Интернета вещей.

– *Улучшенная сетевая интеграция*: Благодаря усовершенствованиям в том, как устройства NR-RedCap интегрируются с существующими сетями 5G, делается упор на эффективное использование сетевых ресурсов и упрощение оперативного развертывания для поставщиков услуг.

– *Передовые технологии энергосбережения*: Ожидаются новые функции энергосбережения, которые будут иметь решающее значение для продления срока службы батарей устройств Интернета вещей, особенно в отдаленных или труднодоступных районах.

– *Повышенная гибкость развертывания*: Внедрение более разнообразных вариантов конфигурации для NR-RedCap обеспечит поддержку расширенного диапазона вариантов использования с учетом конкретных потребностей в покрытии или пропускной способности.

Переход от релиза 17 к релизу 18 означает согласованные усилия в отрасли по совершенствованию технологии NR-RedCap. Эволюция NR RedCap в последних версиях Rel.17 и Rel.18 3GPP представлена на рис. 2.

Таблица 2

Характеристики технологий IoT на сетях мобильной связи LTE/5G

Технологии IoT/ параметры	LTE Cat 1	LTE Cat 0	EC-GSM-IoT	LTE Cat M1 (eMTC)	LTE Cat NB1 (NB-IoT)	5G-NR eMBB	NR RedCap фаза 1
Релизы 3GPP	Rel.8	Rel.12	Rel. 13	Rel. 13	Rel. 13/14	Rel. 15/16	Rel. 17
Пиковая скорость нисходящей линии связи	10 Мбит/с	1 Мбит/с	474 кбит/с (EDGE) 2 Мбит/с (EGPRS)	1 Мбит/с	250 кбит/с	до 20 Гбит/с (30 бит/с/Гц)	85 Мбит/с (до 227 Мбит/с)
Пиковая скорость восходящей линии связи	5 Мбит/с	1 Мбит/с	474 кбит/с (EDGE) 2 Мбит/с (EGPRS)	1 Мбит/с	250 кбит/с 20 кбит/с	до 10 Гбит/с (15 бит/с/Гц)	50 Мбит/с (до 122 Мбит/с)
Задержка сети	50–100 мс	100 мс	700 мс–2 с	10–15 мс	1.6–10 с	до 1 мс	2–5 мс
Кол-во антенн	2	1	1–2	1	1	2TX4RX	1–2
Режимы работы	полный дуплекс	полный и полудуплекс	полудуплекс	полный и полудуплекс	полудуплекс	полный и полудуплекс	полный и полудуплекс
Полоса пропускания ПРМ	1,4–20 МГц	1,4–20 МГц	200 кГц	1,4 МГц	180 кГц	100 МГц (FR1) 200 МГц (FR2)	5–20 МГц (FR1) 100 МГц (FR2)
Приемные антенны	2 (MIMO)	1 (SISO)	1–2	1 (SISO)	1 (SISO)	1–2 (SISO)	2×2 MIMO DL 1 SISO UL
Мощность передатчика	23 дБм	23 дБм	23/33 дБм	20/23 дБм	20/23 дБм	20/23 дБм	14 дБм

1) Полосы частот FR1 для 5G от 410 МГц до 7125 МГц (3GPP).

2) Полосы частот FR2 для 5G от 24,25 ГГц до 52,55 ГГц и дальнейшим расширением до 71,05 ГГц (3GPP).



Рис. 2. Эволюция NR RedCap в последних версиях Rel.17 и Rel.18.

Таблица 3

Обзор возможностей технологии NR RedCap фаза 1/фаза 2

Особенности технологии	Новая мобильная широкополосная связь с улучшенной радиосвязью (eMBB) (релиз 15/16)	RedCap (фаза 1) Новые возможности радиосвязи с ограниченным доступом (релиз 17)	RedCap (фаза 2) Новые возможности радиосвязи с ограниченным доступом (релиз 18)
Пропускная способность устройства	100 МГц (FR1) 200 МГц (FR2)	20 МГц (FR1) 100 МГц (FR2)	20 МГц или 5 МГц (только FR1)
Режимы сигнала	Полный дуплекс / полудуплексный режим, разделение по времени	Полный дуплекс / полудуплексный режим, разделение по времени	Полный дуплекс / полудуплексный режим, разделение по времени
Тип антенны	Одиночный передатчик, двойной приемник	Одиночный передатчик, одиночный приемник / Двойной передатчик, одиночный приемник	Одиночный передатчик, одиночный приемник / Двойной передатчик, одиночный приемник
Высочайшая модуляция	256 QAM для нисходящего канала, 64 QAM для восходящего канала	64 QAM (256 QAM опционально)	64 QAM (256 QAM опционально)
Максимальная скорость передачи данных (DL)	2,3 Гбит/с	220 Мбит/с	10 Мбит/с
Максимальная скорость передачи данных (UL)	468 Мбит/с	120 Мбит/с	10 Мбит/с

Обзор возможностей технологии NR RedCap фаза 1/фаза 2 представлен в табл. 3, приведены данные спецификаций 3GPP TR 23.700-68 релиза Rel.18 [5]

Релиз 18 3GPP включает в себя дальнейшее развитие 5G RedCap, завершение которого запланировано на 2–3 квартал 2024 г. [6]. Это включает в себя дополнительные

сокращения сложности, которые должны расширить спецификацию RedCap, приблизив ее к возможностям LTE Cat 1. Однако, учитывая доступность сети и наборов микросхем после того, как 3GPP опубликует новую версию, выход на рынок устройств фазы 2 на базе Rel. 18, скорее всего, произойдет до 2028 г. [7, с. 41]. Сегодня на рынке IoT вышел модем NR-RedCap Snapdragon X35 Qualcomm, который обратно совместимый и с LTE (Cat-4). На выставке Mobile World Congress 2024 компания MediaTek презентовала модем M60 и платформу MediaTek T300 для устройств RedCap (фаза 1).

Заключение

Тестирование и внедрение технологии RedCap на фрагментах сетей 5G операторам мобильной связи России необходимо проводить с появлением коммерческих устройств Интернета вещей NR-RedCap. Разработчикам отечественного оборудования 5G работы по оборудованию RedCap целесообразно начать с учетом доступности чипсетов из дружественных России стран (Китай, ОАЭ и Индия). Компания Fibocom (Китай) в начале 2024 г. представила серию модулей RedCap FG132-NA для подключения к сети 5G RedCap среднего уровня согласно Rel.17 3GPP. Это может стать отправной точкой работ в области IoT на сетях 5G России.

Список литературы

1. Тихвинский В.О., Девяткин Е.Е., Пастух А.С., Савочкин А.А., Смирнов Ю.Я. Применение технологии RedCap для оказания услуг IoT в сетях мобильной связи 5G // Первая мила. 2024. № 1. С. 58–66.
2. ETSI 3GPP TR 38.875. Technical Specification Group Radio Access Network; Study on support of reduced capability NR devices. Release 17. Version 17.0.0. 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/3733> (дата обращения: 21.02.2024).
3. Toward Smaller and Lower-Cost 5G Devices with Longer Battery Life: An Overview of 3GPP Release 17 RedCap // IEEE Communications Standards Magazine, 2022. Vol. 6, Issue 3. [Электронный ресурс]. URL: <https://icceexplore.ieee.org/document/9927258> (дата обращения: 1.03.2024).
4. 5G NR RedCap: The Advanced IoT for 5G Network, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://stellarix.com/article/5g-nr-redcap-the-advanced-iot/12ruf354.pdf> (дата обращения: 1.03.2024).
5. ETSI 3GPP TR 23.700-68 Study on Support of reduced capability NR devices; Phase 2, Release 18. Version 18.1.0, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/3996> (дата обращения: 12.01.2024).
6. The evolution of cellular technologies for Internet of Things applications in the 5G Era – the importance of 5G NR RedCap, 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://content.u-blox.com/sites/default/files/documents/5G-red-cap_whitepaper_online.pdf (дата обращения: 12.03.2024).
7. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А., Девяткин Е.Е. Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: Проекты, технологии, архитектура. М.: Техносфера, 2023. 528 с.