

ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА К СЕТИ 5G NR

И. А. Бабанов, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, *ivan.babanov@gmail.com*;

Р.А. Андреев, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, НОЦ «БИС», *andreeffrom@mail.ru*.

УДК 654

Аннотация. В данной статье рассмотрены особенности процедур установления соединения сетей 5G NR (*New Radio*). Показаны типы и форматы преамбул при установлении соединения. Сделано сравнение с предыдущей технологией LTE и показана улучшенная гибкость процедуры случайного доступа к 5G NR.

Ключевые слова: RACH; преамбула; 5G NR; OFDM; LTE.

5G NR NETWORK ACCESS TECHNOLOGIES

I.A. Babanov, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M. A. Bonch-Bruevich, RSiV;

R.A. Andreev, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M. A. Bonch-Bruevich, RSiV;

Annotation. In the realities of this article the features of the procedures for establishing a connection of 5G NR (*New Radio*) networks are considered. Types and formats of preambles when establishing a connection are shown. A comparison with previous LTE technology is made and the improved flexibility of the 5G NR random access procedure is shown.

Keywords: RACH; preamble; 5G NR; OFDM; LTE.

Введение

Технология 5G NR является логическим продолжением развития технологий LTE *LTE-Advanced LTE-Advanced Pro*. Данная технология призвана с одной стороны дать пользователям новые показатели *Quality of Experience*, услуги нового качества, ранее не доступные посредством сетей 4G или доступные лишь частично или условно. С другой стороны, с точки зрения операторов, технология призвана обеспечить большую гибкость в развертывании, конфигурировании и предоставлении сервисов.

Физический уровень новой технологии остался прежним. На момент выхода спецификации 3GPP 15.3 специфицировано использование ортогональных поднесущих OFDM. В дальнейших релизах анонсирована спецификация OFDM на физическом уровне, но на сегодняшний день все разворачиваемые сети 5G используют тот же OFDM принцип, что и сети предыдущего поколения.

Несмотря на использование технологии OFDM такого же как в сетях четвертого поколения, в направлении вверх используется CP-OFDM в отличие от SC-OFDM в LTE, существенно расширены возможные конфигурации и специфицированы новые диапазоны частот. Помимо дециметровых (дм) $<3GHz$, и сантиметровых (см) $3GHz < < 6GHz$ специфицирован и миллиметровый диапазон $>$

6Ghz. В зависимости от используемого диапазона предлагается различное расстояние между поднесущими.

Процедура случайного доступа

Процедура случайного доступа, определенная в стандарте *LTE*, претерпела мало изменений в стандарте *5G NR*. Процедура случайного доступа в *5G NR* сейчас выполняется в несколько шагов:

- Мобильная станция выполняет первичную и вторичную синхронизацию с сектором.
- Далее мобильная станция считывает системную информацию, транслируемую в секторе.
- Когда мобильная станция получила всю системную информацию, она в частности знает используемую в данном секторе конфигурацию канала случайного доступа, и мобильная станция может сгенерировать 64 преамбулы в соответствии с требованиями стандарта.

До данного шага процедура ничем не отличается от используемой в сетях четвертого поколения. На следующем шаге мобильная станция должна отправить преамбулу, и вот тут может быть единственное различие в процедуре *RACH* с *LTE*.

В случае, если используется технология формирования направленного луча (*Beam Forming*), то отсылка должна производиться по лучу, который мобильная станция «слышит» лучше всего. Процесс выбора оптимального луча происходит в момент приема системной информации, и базовая и мобильная станции не должны менять используемый луч до окончания RRC процедуры.

Процедура случайного доступа заканчивается отсылкой преамбулы и приемом ответа в рамках выделенного временного окна, и в этой части так же не отличается от аналогичной процедуры в стандарте *LTE*. Второе существенное отличие *RACH* процедуры для стандарта *5G NR* заключается в формате используемых преамбул и соответственно данных, получаемых мобильной станцией в *PRACH Config*.

Преамбулы при установлении соединения

В следующих таблицах (табл. 1 и 2) приведены имеющиеся на данный момент форматы преамбул *LTE* и форматы преамбул *5G NR*.

Таблица 1.

<i>Preamble format</i>	Δf_{RA}	φ	$T_{CP} ms$	$T_{SEQ} ms$	<i>Guard Time</i>	<i>SubFrame number</i>	N_{zc}	<i>Cell Radius</i>
0	1250 Hz	7	0,103	0,800	0,097	1	839	~14 km
1	1250 Hz	7	0,684	0,800	0,516	2	839	~ 75 km

Таблица 2.

<i>Format</i>	L_{RA}	Δf_{RA}	N_U	N_{CP}	<i>restricted set</i>
0	839	1,25 kHz	24576	3168	A,B
1	839	1,25 kHz	2x24576	2x21024	A,B
2	839	1,25 kHz	4x24576	4688	A,B
3	839	5 kHz	4x6144	3168	A,B

Стандартом определяются четыре формата *Long Sequence* преамбулы, различающиеся между собой как шагом поднесущих, так и внутренней структурой. Если посмотреть на приведенные четыре формата, то видно – три из них используют поднесущие 1,25 kHz, что дает 12 поднесущих RA в рамках одной поднесущей 15 kHz основного фрейма, и формат 3 использует RA поднесущие 5 kHz, что дает суммарно три поднесущих в рамках одного фрейма с шагом поднесущих 15 kHz. Как отмечалось выше, в случае увеличения шага поднесущих до 30, 60, 120 и 240 kHz, соответственно уменьшается время передачи, и в случае с *Random Access* возрастает количество RA поднесущих.

Кроме шага поднесущих форматы преамбул отличаются длиной циклического префикса и длиной замыкающего защитного интервала. Также внутри себя каждый из четырех форматов предполагает однократную, двукратную или четырехкратную передачу тела преамбулы.

Таблица 3.

<i>Format</i>	L_{RA}	Δf_{RA}	N_u	N_{CP}
A1	139	15x2 μ kHz	2 x 2048k x 2 μ	288k x 2 μ
A2	139	15x2 μ kHz	4 x 2048k x 2 μ	576k x 2 μ
A3	139	15x2 μ kHz	6 x 2048k x 2 μ	864k x 2 μ
B1	139	15x2 μ kHz	2 x 2048k x 2 μ	216k x 2 μ
B2	139	15x2 μ kHz	4 x 2048k x 2 μ	360k x 2 μ
B3	139	15x2 μ kHz	6 x 2048k x 2 μ	504k x 2 μ

<i>Format</i>	<i>L_{RA}</i>	<i>Δf_{RA}</i>	<i>N_u</i>	<i>N_{CP}</i>
<i>B4</i>	139	15x2 ^μ kHz	12 x 2048k x 2 ^μ	936k x 2 ^μ
<i>C0</i>	139	15x2 ^μ kHz	2048k x 2 ^μ	1240k x 2 ^μ
<i>C1</i>	139	15x2 ^μ kHz	4 x 2048k x 2 ^μ	2048k x 2 ^μ

В табл. 3 приведены форматы преамбул *Short Sequence*. Всего определено 9 форматов преамбул длиной в 139 отсчетов. Преамбулы разделены на три группы А, В и С с разделением на подгруппы. Отличия опять же заключаются в длине защитных префиксов и постфиксов.

Конфигурация канала *PRACH*

Кроме формата преамбулы на процедуру случайного доступа к сети большое влияние оказывает конфигурация канала *PRACH*, которая сообщается мобильным станциям в составе *SIB2*. Содержание полей приведено в табл. 4.

Наибольшее значение имеет поле *PRACH Config Index*. Поле содержит индекс конфигурации из predetermined в стандарте. Полная конфигураций *PRACH* приведена в табл. 5.

Таблица 4.

<i>PRACH Config</i>	
<i>Root Sequence Index</i>	Индекс для генерации 64 ZC-последовательностей.
<i>PRACH Config Index</i>	Индекс конфигурации канала <i>PRACH</i> .
<i>High Speed Flag</i>	Флаг, определяющий возможность работы мобильных станций, движущихся с большой скоростью.
<i>Zero Correlation Zone Config.</i>	Конфигурация зоны нулевой корреляции.
<i>PRACH Freq Offset</i>	Позиция начала ресурс-блока, содержащего <i>PRACH</i> .

Таблица 5.

Индекс конфигурации	Формат преамбулы	Номер фрейма	Номер сабфрейма	Индекс конфигурации	Формат преамбулы	Номер фрейма	Номер сабфрейма
0	0	четный	1	32	2	четный	1
1	0	четный	4	33	2	четный	4
2	0	четный	7	34	2	четный	7
3	0	любой	1	35	2	любой	1
4	0	любой	4	36	2	любой	4
5	0	любой	7	37	2	любой	7
6	0	любой	1,6	38	2	любой	1,6
7	0	любой	2,7	39	2	любой	2,7
8	0	любой	3,8	40	2	любой	3,8
9	0	любой	1,4,7	41	2	любой	1,4,7

Индекс конфигурации	Формат преамбулы	Номер фрейма	Номер сабфрейма	Индекс конфигурации	Формат преамбулы	Номер фрейма	Номер сабфрейма
10	0	любой	2,5,8	42	2	любой	2,5,8
11	0	любой	3,6,9	43	2	любой	3,6,9
12	0	любой	0,2,4,6,8	44	2	любой	0,2,4,6,8
13	0	любой	1,3,5,7,9	45	2	любой	1,3,5,7,9
14	0	любой	0,1,2,3,4, 5,6,7,8,9	46	N/A	N/A	N/A
15	0	четный	9	47	2	четный	9
16	1	четный	1	48	3	четный	1
17	1	четный	4	49	3	четный	4
18	1	четный	7	50	3	четный	7
19	1	любой	1	51	3	любой	1
20	1	любой	4	52	3	любой	4
21	1	любой	7	53	3	любой	7
22	1	любой	1,6	54	3	любой	1,6
23	1	любой	2,7	55	3	любой	2,7
24	1	любой	3,8	56	3	любой	3,8
25	1	любой	1,4,7	57	3	любой	1,4,7
26	1	любой	2,5,8	58	3	любой	2,5,8
27	1	любой	3,6,9	59	3	любой	3,6,9
28	1	любой	0,2,4,6,8	60	N/A	N/A	N/A
29	1	любой	1,3,5,7,9	61	N/A	N/A	N/A
30	N/A	N/A	N/A	62	N/A	N/A	N/A
31	1	четный	9	63	3	четный	9

Как видно из табл. 5, всего определено 16 конфигураций, которые в дальнейшем размножены на все форматы преамбул, что дает суммарно 64 конфигурации канала *PRACH*. В технологии *5G NR* всего предопределено 256 конфигураций канала *PRACH* для *FR1* и столько же для *FR2*. Приводить полные таблицы конфигураций в статье видится нецелесообразным. В спецификации *3GPP* это таблицы:

- 38.211 v15.3.0-Table 6.3.3.2-3 для *FR1*
- 38.211 v15.3.0-Table 6.3.3.2-4 для *FR2*

Из отличий, введенных в *5G NR*, следует отметить возможность попарного одновременного использования преамбул формата *A1/B1 A2/B2* и *A3/B3*. Как видно из табл. 3, эти форматы отличаются величиной циклического префикса, что позволяет существенно расширить возможности мобильной станции при выполнении процедуры случайного доступа. Решение об использовании того или иного формата преамбулы должно приниматься на стороне мобильной станции в зависимости от ее положения относительно БС.

Конфигурация преамбул на БС

Кроме конфигурации физического канала *PRACH* на БС конфигурируется и логический канал *RACH*. В его конфигурации, в частности, определяется распределение преамбул для случайного доступа и для целей хэндовера. Ниже

выделены два параметра. *numberOfRA-Preambles* определяет общее количество возможных преамбул. *PreamblesGroupA* определяет количество преамбул для процедуры случайного доступа. Оставшиеся преамбулы принадлежат к так называемой *GroupB* и используются для целей хэндовера.

rach-ConfigCommon

preambleInfo

numberOfRA-Preambles: n52 (12)

preamblesGroupAConfig

sizeOfRA-PreamblesGroupA: n48 (11)

В стандарте 5G NR способ конфигурации преамбул остался прежним. Для конфигурации общего количества преамбул используется значение *totalNumberOfRA-Preambles* и количество преамбул для случайного доступа определяется параметром *numberOfRA-PreamblesGroupA*. Одной из проблем, стоящей перед сетями 5G, является проблема нехватки преамбул и коллизии при выполнении процедуры случайного доступа. Эта проблема существует уже в сетях 4G, но там она стоит менее остро, так как количество устройств, подключенных к сети значительно меньше, чем предполагается в сетях 5G. Сети пятого поколения, с одной стороны, предполагают массовое подключение устройств интернета вещей, а, с другой стороны, привносится концепция слоистой структуры, когда сеть обеспечивает сквозной сервис для различных абонентов в зависимости от их потребностей, в частности сервис с ультрамалыми задержками *URLLC*. И, если в случае *IoT* устройств, проблема коллизии и повторной процедуры доступа приведет лишь к повышенному расходу батареи устройства, то в случае с сервисом *URLLC* коллизия недопустима, так как вызовет неизбежную задержку.

В настоящий момент не существует однозначного решения проблемы коллизий при выполнении *RA* процедуры. Существуют лишь подходы и методики, позволяющие уменьшить вероятность коллизии и получить успешную *RA* процедуру в рамках заданного вероятностного интервала. Попробуем перечислить основные направления в которых ведется работа:

- Уменьшение площади обслуживаемого сектора. Введение радио диапазона *FR2 >6GHz* неизбежно ведет к увеличению количества секторов малого радиуса, что в свою очередь снижает вероятность коллизии.
- Предлагаются методики по увеличению длины преамбулы и соответственно уменьшению вероятности коллизии. Минусом данного решения является необходимость изменения стандарта.
- Применение технологии 5G NR NSA (*Non-StandAlone*) вариант подключения, когда пользователь подключается к сервисам 5G только при необходимости получения большого количества данных. В этом случае 4G используется как якорная сеть, и подключение к 5G осуществляется без выполнения *RA* процедуры, или *RA* процедура предполагает использование предопределенной, а не случайной преамбулы, что исключает коллизию.
- Еще одним решением проблемы коллизий является динамическое изменение количества преамбул. Данный подход предполагает выделение отдельных групп преамбул для подключения устройств с различными уровнями сервиса и динамическое изменение распределения преамбул между группами, в зависимости от текущей обстановки в секторе. Такой подход, с одной стороны, позволил бы обеспечить отсутствие коллизий для

сервисов критичных к задержкам, а с другой, не требует больших изменений в стандарте и может обеспечить обратную совместимость с уже имеющимися устройствами.

- Также есть предложения по использованию других кодообразующих последовательностей вместо последовательностей *ZC*, что теоретически позволяет также уменьшить вероятность коллизий. Из минусов - это необходимость внесения фундаментальных изменений в стандарт *3GPP*, что исключает использование на практике данного решения в ближайшее время.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что стандарт *5G NR* вобрал в себя все достижения стандарта четвертого поколения и ведется активная работа по расширению конфигураций, позволяющих оптимизировать работу абонентских устройств и предоставить пользователям услуги нового уровня. Создание стандарта стало возможным благодаря, с одной стороны, анализу недостатков стандарта *LTE* и благодаря техническому прогрессу в области цифровой обработки сигнала, сделавшей возможным качественное улучшение обработки радио. В настоящее время на пороге развертывания сетей нового стандарта и выпуска новых спецификаций прежде всего стоит вопрос – какие из заявленных в стандарте конфигураций будут востребованы операторами и насколько производители оборудования будут готовы их поддержать.

Литература

1. A. Zanella et al., «M2M massive wireless access: Challenges, research issues, and ways forward» in Proc. IEEE Globecom Workshop, Dec. 2013.
2. 3GPP, «RACH overload solution» ZTE, Shenzhen, China Tech. Rep. R2-103742, Jul. 2010.
3. Study on RAN Improvements for Machine-Type Communications, document TR 37.868, 3rd Generation Partnership Project, Sep. 2012.
4. N.K. Pratas, S. Pattathil, Stefanovic, and P. Popovski, «Massive machine-type communication (mMTC) access with integrated authentication in Proc». IEEE Int. Conf. Commun. (ICC), May 2017.
5. S. Vural, N. Wang, P. Bucknell, G. Foster, R. Tafazolli and J. Muller, «Dynamic Preamble Subset Allocation for RAN Slicing in 5G Networks,» in IEEE Access, vol. 6, pp. 13015-13032, 2018.
6. TS 38.101; NR User Equipment (UE) radio transmission and reception.
7. TS 38.813; New frequency range for NR (3.3-4.2 GHz).
8. TS 38.814; New frequency range for NR (4.4-5 GHz).
9. TS 38.815; New frequency range for NR (24.25-29.5 GHz).
10. TS 38.211; Physical channels and modulation.
11. TS 38.202; Services provided by the physical layer.
12. TS 38.133; Requirements for support of radio resource management.