*УДК 002.304*

***Квашнина А.С.,***
***магистр, кафедры «Телекоммуникаций и основ радиотехники»***
***Томский государственный университет систем управления***
***и радиоэлектроники***
***Россия, г. Томск***
***Баландин Д.О.,***
***магистр, кафедры «Телекоммуникаций***
***и основ радиотехники»***
***Томский государственный университет систем управления***
***и радиоэлектроники,***
***Россия, г. Томск***

# ПРОЦЕДУРА ПЕРВИЧНОЙ И ВТОРИЧНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СЕТИ 5G NR

***Аннотация:*** *В статье описана процедура синхронизации в системах беспроводной связи пятого поколения 5G New Radio. Рассмотрено формирование синхросигналов первичной и вторичной синхронизации, а также их взаимное расположение в частотно-временной области. В работе описаны процедуры первичной и вторичной синхронизации на физическом уровне.*

***Ключевые слова:*** *5G, синхронизация, первичная синхронизация, вторичная синхронизация.*

**Annotation:** *The article describes the synchronization procedure in the fifth generation 5G New Radio wireless communication systems. The formation of the primary and secondary synchronization signals, as well as their relative position in the time-frequency domain, is considered. The paper describes the procedures of primary and secondary synchronization at the physical level.*

***Key words:*** *5G, synchronization, primary synchronization, secondary synchronization.*

**Введение**

В 2018 году консорциумом 3GPP опубликован 15-й релиз технической спецификации физического уровня 5G New Radio (NR), в котором описывается алгоритм формирования каналов и сигналов. Одним из требований к NR является осуществление быстрой кадровой синхронизации для уменьшения сетевой задержки устройств. Для выполнения этого требования разработчикам пришлось усложнить конструкцию и сократить периодичность передачи сигналов синхронизации. Целью работы является реализация математической модели процедуры синхронизации абонента с базовой станцией (БС), включающую процедуру формирования, передачи и обнаружения сигналов первичной (PSS — Primary synchronization signals) и вторичной (SSS — secondary synchronization signals) синхронизации на фоне аддитивной помехи в канале передачи.

**Сигналы синхронизации**

В стандарте 3GPP 38.211 NR для кадровой синхронизации и обнаружения физического идентификатора БС на стороне абонента предусмотрены два служебных сигнала, которые передаются в нисходящем кадре (Downlink):

- Первичный сигнал синхронизации PSS (Primary Synchronization Signal). PSS является разновидностью псевдослучайной m-последовательности длительность 127 отсчетов, которая формируется в зависимости от физического идентификатора БС.
- Вторичный сигнал синхронизации SSS (Secondary Synchronization Signal). SSS длительностью 127 отсчетов генерируется с помощью двух m-последовательностей, одна из которых формируется в зависимости от физического идентификатора БС.

Сигнал PSS формируется по формуле $d(n)=1-2\cdot x(m)$, где $x(m)$ – это псевдослучайная бинарная М-последовательность длиной 127 элементов, порожденная регистром сдвига с линейной обратной связью и имеющая максимальный период. Последовательность формируется в зависимости от физического идентификатора $N_{ID}^2$.

Метод формирования SSS заключается в следующем: базовая станция генерирует два значения с индексами $m_0$ и $m_1$, используя значение физического идентификатора $N_{ID}^1$. Эти индексы используются при формировании двух последовательностей, которые смешиваются друг с другом и образуют сигнал SSS.

Сигналы PSS и SSS располагаются в блоке синхронизации, который передается в радиокадре с заданной периодичностью. В зависимости от конфигурации сети, блок синхронизации может передаваться с различной периодичностью. Чем чаще происходит передача блока сихнронизации, тем меньше сетевая задержка абонентских устройств.

Для успешной процедуры кадровой синхронизации мобильному устройству необходимо провести обнаружение сигналов синхронизации на фоне помеха, вычислить временную задержку и определить начало принятого кадра. После обнаружения сигнала происходит определение физического идентификатора БС, который заложен в PSS и SSS.

**Математическая модель**

Математическая модель процедуры синхронизации включает в себя формирование, передачу через канал с аддитивной нормальной помехой и корреляционное обнаружение PSS и SSS. На рисунке 1 представлена структурная схема алгоритма математической модели:

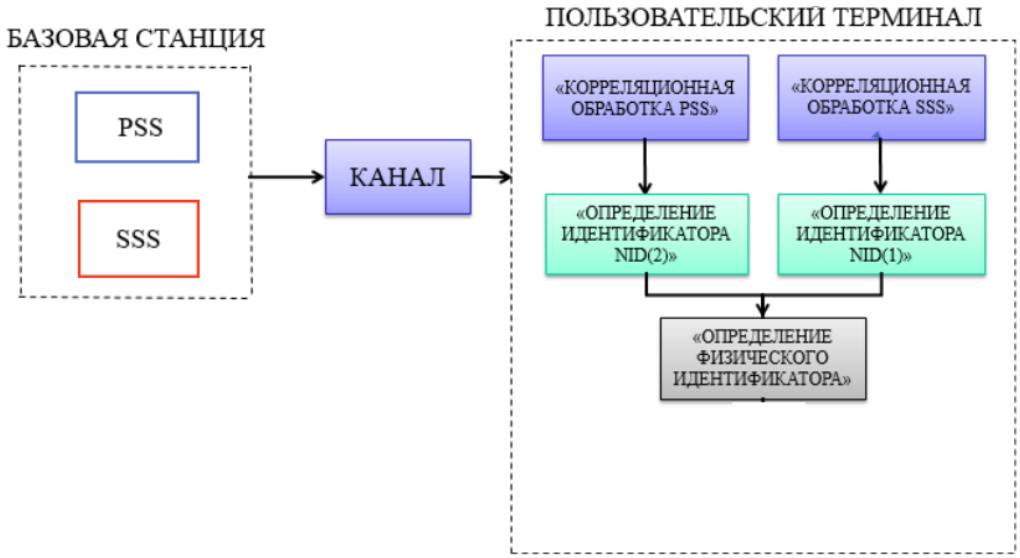


***Рисунок 1 – Блок - схема процедура первичной и вторичной синхронизации***

Первым этапом процедуры синхронизации является обнаружение абонентским устройством PSS в эфире и определение параметра $N_{ID}^2$. На основании $N_{ID}^2$ формируется банк из 336-х опорных SSS с последующим обнаружением SSS и определением параметра $N_{ID}^1$. После того, как $N_{ID}^1$ и $N_{ID}^2$ найдены, происходит расчет идентификатора соты Cell ID и определение расположения служебных каналов в кадре. На этом этапе в реестре доступных сот абонентского устройства регистрируется новая БС с идентификатором Cell ID и начинается оценка энергетики управляющей базовой станции.

Обнаружение сигнала происходит с помощью вычисления функции взаимной корреляции между принятым сигналом и опорным сигналом из банка. После этого рассчитываются максимумы каждой корреляционной функции с последующим нахождением номера сигнала с максимальным значением ВКФ. Найденный номер ─ это и есть идентификатор $N_{ID}^1$, который необходимо определить. Аналогичным способом определяется идентификатор группы $N_{ID}^2$. Результат взаимной корреляции представлен на рисунке 2.

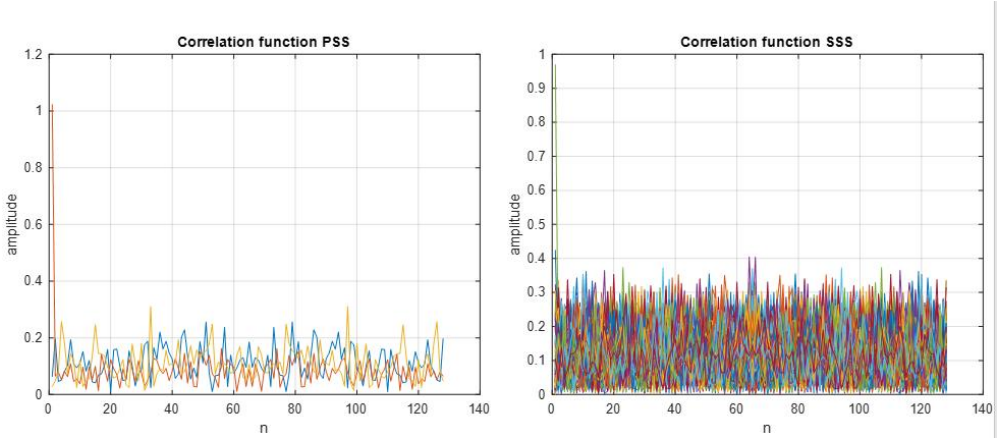


***Рисунок 2 – Корреляционная функция первичной и вторичной синхронизации***

Значение физического сотового идентификатора Cell ID вычисляется следующим согласно:

$$N_{ID}^{Cell} = 3N_{ID}^{1} + N_{ID}^{2}$$

где $N_{ID}^{1}$ – номер группы сотовых идентификаторов, принимающие значения от 0 до 335, а $N_{ID}^{2}$ – номер идентификатора в пределах подгруппы, принимающий значения от 0 до 2. Пользовательский терминал может получить значения физического сотового идентификатора и завершить синхронизацию нисходящей линии связи, только после обнаружения первичной и вторичной синхронизации. Комбинация используемых синхросигналов определяется номером сотового идентификатора $N_{ID}^{Cell}$ в 5G – NR, определено 1008 таких сотовых номеров, которые организованы в 335 групп по 3 идентификатора в каждой. Структура синхронизации нисходящего канала приведена ниже на рисунке 3.

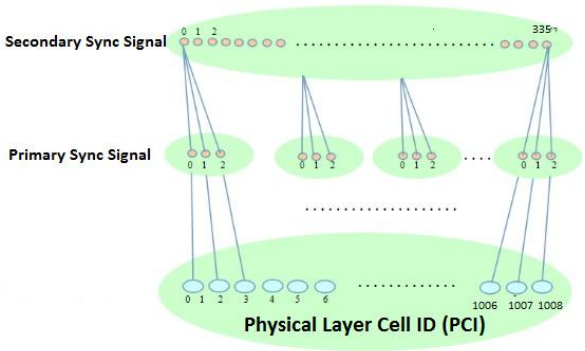


***Рисунок 3 – Схема нисходящего канала синхронизации***

**Заключение**

В результате работы разработана математическая модель, способная производить моделирование процедуры первичной и вторичной синхронизации в 5G NR. В рамках моделирования происходит формирование сигналов первичной и вторичной синхронизации и их расположение в частотно-временном сегменте нисходящего кадра 5G NR. На стороне приемного устройства моделируется обнаружение синхросигналов на фоне нормальной аддитивной помехи. Также было проведено обнаружение данных сигналов, и вычислен физический идентификатор соты. Приведён результат ВКФ для обнаружения сигналов PSS и SSS.

**Использованные источники:**

1. ETSI TS 138 211 V15.2.0 (2018-07) 5G; NR; Physical channels and modulation (3GPP TS 38.211 version 15.2.0 Release 15).

2. Официальный сайт «sharetechnote» [Электронный ресурс]. − Режим доступа: http://sharetechnote.com/html/5G/5G_PSS.html

3. 3GPP long term evolution [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://4g-lteworld.blogspot.ru/2012/06/icic-and-eicic.html

4. Lien S.Y. et al. 5G new radio: Waveform, frame structure, multiple access, and initial access //IEEE communications magazine. – 2017. – Т. 55. – №. 6. – С.64-71.