

Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Апробация приема и обработки опорных сигналов LTE *

Г. А. Фокин, Д. Б. Волгушев

Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ)

Аннотация: Введение. Позиционирование устройств по опорным сигналам развернутых повсеместно базовых станций сетей сотовой радиосвязи LTE является актуальным направлением исследований и разработок, которое востребовано в условиях плотной городской застройки при ненадежном приеме сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Инструментом экспериментальной апробации технических решений являются программные и аппаратные средства технологии программно-конфигурируемого радио SDR. Настоящая работа продолжает исследование по использованию SDR-технологии для задач сетевого позиционирования в части вопросов, касающихся экспериментальной апробации устройства приема опорных сигналов стандарта LTE. Материалы и методы. Корректность программной реализации процедур обработки опорных сигналов LTE верифицирована в ходе лабораторных испытаний, которые показали точность первичных измерений в единицы метров, что позволяет говорить об удовлетворительной работоспособности реализованного SDR-макета пользовательского устройства, осуществляющего прием опорных сигналов LTE. Результаты. Недостаточная для задач навигации точность синхронизации SDR-макетов базовых станций подтвердила необходимость программно-аппаратной реализации подсистемы формирования опорных сигналов LTE на языке HDL для ПЛИС. Обсуждение и заключения. Очередным этапом исследований в области SDR-технологии сетевого позиционирования являются полевые испытания реализованной подсистемы формирования опорных сигналов LTE с достаточной для задач навигации точностью синхронизации макетов eNB.

Ключевые слова: 4G, LTE, PSS, SSS, CRS, PRS, SDR, позиционирование, опорные сигналы, лабораторные испытания.

Для цитирования: Фокин Г. А., Волгушев Д. Б. Использование SDR-технологии для задач сетевого позиционирования. Апробация приема и обработки опорных сигналов LTE // Вестник СибГУТИ. 2023. Т. 17, № 3. С. 23–33. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-3-23-33>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Фокин Г. А., Волгушев Д. Б., 2023

Статья поступила в редакцию 09.08.2022;
переработанный вариант – 17.01.2023;
принята к публикации 30.01.2023.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-29-00528), <https://rscf.ru/project/22-29-00528/>.

1. Введение

Настоящая работа является продолжением исследования [1], в котором была реализована подсистема формирования и передачи опорных сигналов с использованием технологии программно-конфигурируемого радио SDR (Software-Defined Radio) [2] для решения задач сетевого позиционирования [3] на базе экспериментального стенда SDR-лаборатории СПбГУТ [4]. Задачей настоящей работы является экспериментальная апробация макета пользовательского устройства UE (User Equipment) приема и обработки опорных сигналов стандарта LTE (Long-Term Evolution) с целью извлечения первичных измерений времени прихода сигнала TOA (Time of Arrival) для позиционирования UE в лабораторных условиях.

Предыдущий этап лабораторных испытаний подсистемы формирования и передачи опорных сигналов стандарта LTE в составе SDR-демонстратора технологии сетевого позиционирования описан в [1]. Процедуры формирования опорных сигналов первичной синхронизации PSS (Primary Synchronization Signal), сигналов вторичной синхронизации SSS (Secondary Synchronization Signal), специальных опорных сигналов соты CRS (Cell Specific Reference Signal) и опорных сигналов позиционирования PRS (Positioning Reference Signal) реализованы программно из примитивных функций в специальном программном обеспечении (СПО) MATLAB [5]. СПО MATLAB при этом работает на автоматизированном рабочем месте (АРМ) под управлением операционной системы (ОС) Windows 11.

Корректность программной реализации процедур формирования опорных сигналов PSS, SSS, CRS и PRS верифицирована с использованием встроенных функций пакета расширения LTE Toolbox [6] и соответствующего примера [7], а также средствами объективного контроля, описанными в [1]. Несмотря на более высокую трудоемкость реализации с использованием примитивных функций на текущей стадии разработки SDR-демонстратора, такой подход обоснован с точки зрения перехода к дальнейшей программно-аппаратной реализации на языке HDL (Hardware Description Language) для программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) уже применительно к изделию-прототипу. Поэтому разработанная и реализованная в настоящей работе подсистема приема и обработки опорных сигналов стандарта LTE, как и подсистема их формирования и передачи, также использует подход примитивных функций СПО MATLAB.

В качестве аппаратной платформы демонстратора технологии сетевого позиционирования АРМ используется вместе с SDR-платами USRP (Universal Software Radio Peripheral) типа B210 и N210 [8], поддержка которых в MATLAB обеспечивается программно-аппаратными интерфейсами пакета расширения Communications Toolbox [9] и драйвером UHD (USRP Hardware Driver) [10]. Результатом предыдущего этапа является подсистема SDR-макетов базовых станций eNB (eNodeB), которая реализует формирование и передачу опорных сигналов стандарта LTE, образующих локальное радионавигационное поле из опорных сигналов PSS, SSS, CRS и PRS, однозначно определяемых уникальным идентификатором соты eNB.

Целью текущего этапа испытаний является проверка работоспособности SDR-макета пользовательского устройства UE, реализующего прием опорных сигналов стандарта LTE для сбора и обработки первичных разностно-дальномерных измерений в лабораторных условиях.

Для достижения поставленной цели в ходе лабораторных испытаний решаются следующие частные задачи: а) проверка точности первичных разностно-дальномерных измерений разработанным и программно-реализованным SDR-приемником UE с дробной оценкой времени прихода сигнала TOA по опорным сигналам стандарта LTE в условиях идеальной синхронизации SDR-макетов базовых станций eNB; б) проверка синхронности излучения опорных сигналов стандарта LTE SDR-макетами базовых станций eNB в первом приближении.

Материал настоящей работы организован далее следующим образом. В разделе 2 содержится описание программы и методик лабораторных испытаний процедур приема и обработки опорных сигналов LTE. Раздел 3 содержит выводы и направления дальнейших исследований.

2. Лабораторные испытания SDR-приемника сигналов LTE

Ранее в ходе испытаний подсистемы формирования опорных сигналов стандарта LTE в [1] было установлено, что на достаточно производительном АРМ на базе процессора Intel Core i7 под управлением ОС Windows 11 при работе драйвера UHD между платой USRP и АРМ по интерфейсу USB 3.0 для B210 и GBE для N210 наблюдается потеря выборок при установлении полосы частот выше 10 МГц, что соответствует частоте дискретизации выше 15.36 МГц. Поэтому для проведения лабораторных испытаний подсистемы приема и обработки опорных сигналов в составе SDR-демонстратора технологии сетевого позиционирования на текущем этапе будем использовать минимально определенную LTE-полосу в 1.4 МГц.

2.1. Испытания точности первичных разностно-дальномерных измерений SDR-макетом UE по сценарию № 1

Для проверки точности первичных разностно-дальномерных измерений (РДМ) реализованным приемником с дробной оценкой времени прихода TOA по опорным сигналам стандарта LTE вводится сценарий лабораторных испытаний № 1, который воспроизводит условия синхронного излучения сигналов нескольких базовых станций eNB. Рис. 1 иллюстрирует сценарий лабораторных испытаний № 1 с идеальной синхронизацией SDR-макетов eNB.

Синхронность излучения опорных сигналов нескольких базовых станций обеспечивается за счет того, что сигналы на нулевой частоте, сформированные для различных eNB, складываются как baseband-сигналы в СПО MATLAB АРМ и только после этого излучаются в радиоэфир. Приемник временной секундной метки PPS (Pulse-Per-Second) по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС, GNSS – Global Navigation Satellite System) служит для частотно-временной синхронизации опорных генераторов приемопередающих устройств USRP с использованием подсистемы GPSDO (GPS-Disciplined, Oven-controlled crystal oscillator) [11].

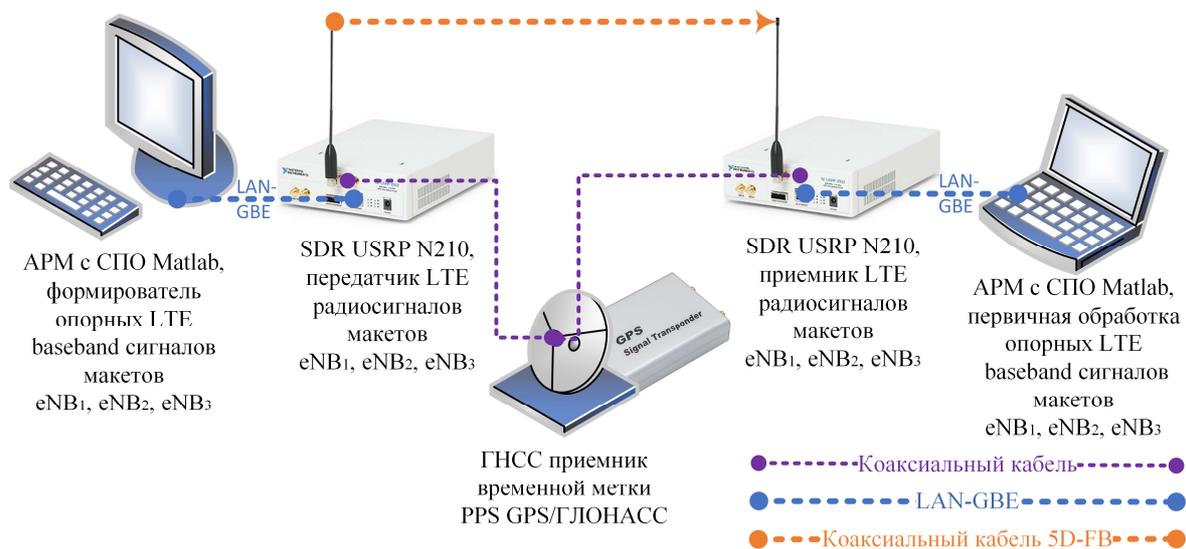


Рис. 1. Сценарий испытаний № 1 с идеальной синхронизацией SDR-макетов eNB

Подсистема GPSDO в рассмотренном сценарии лабораторных испытаний служит для компенсации частотно-временных сдвигов опорных генераторов SDR-макетов eNB и UE. Опция временной синхронизации системного объекта приемопередатчика для платы USRP активируется в MATLAB командой 'PPSSource', 'GPSDO' и признаком 'EnforceGPSTimeSync', true. Опция частотной синхронизации системного объекта приемопередатчика для платы USRP активируется в MATLAB командой 'ClockSource', 'GPSDO'.

Испытания по сценарию № 1 проводились путем программной имитации задержки времени распространения baseband-сигналов трех различных eNB в СПО MATLAB перед их суммированием в APM и последующим излучением одним устройством USRP. Вместо излучения в радиоэфир на текущем этапе лабораторных испытаний используется коаксиальный кабель. Данный подход позволяет в первом приближении исключить проблему фильтрации многолучевых компонент в лабораторных условиях. В результате лабораторных испытаний по сценарию № 1 было установлено, что разработанный и программно-реализованный SDR-приемник UE с дробной оценкой времени прихода TOA по опорным сигналам LTE в условиях идеальной синхронизации SDR-макетов базовых станций eNB обеспечивает точность первичных разностно-дальномерных измерений в единицы метров при работе в полосе частот 1.4 МГц.

2.2. Испытания точности синхронизации SDR-макетов eNB по сценарию № 2

Для проверки синхронности излучения опорных сигналов стандарта LTE SDR-макетами базовых станций eNB вводится сценарий лабораторных испытаний № 2. Рис. 2 иллюстрирует сценарий лабораторных испытаний № 2 с синхронизацией SDR-макетов eNB по метке ГНСС.

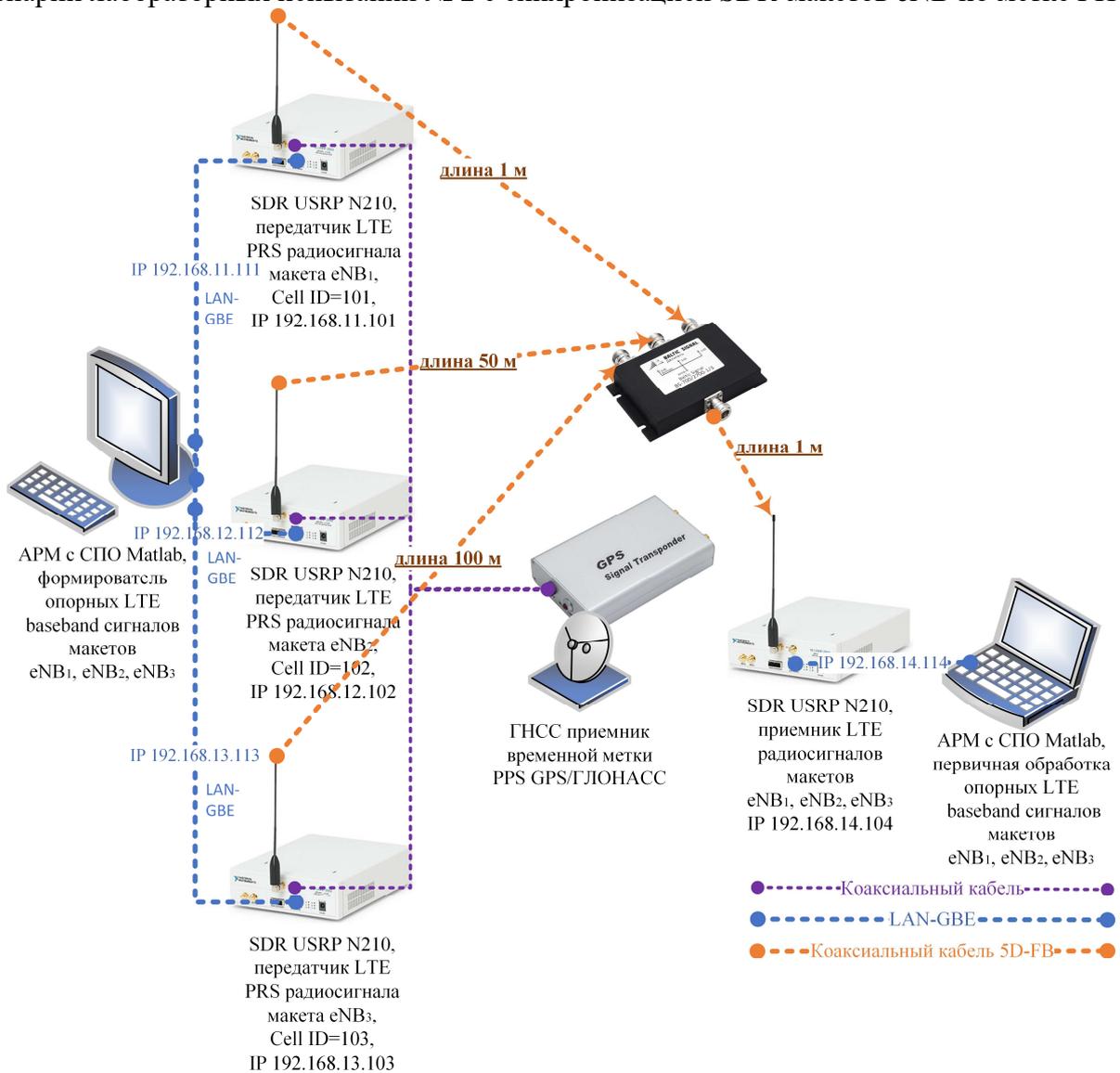


Рис. 2. Сценарий испытаний № 2 с синхронизацией SDR-макетов eNB по метке ГНСС

Для реализации подсистемы синхронизации по метке времени ГНСС в лабораторных условиях внутри помещения используется комплект усиления GPS на основе репитера BS-GPS-75 [12], а также антенны GPS-ГЛОНАСС Триада МА-2178 [13]. Антенны Триада принимают GPS-сигнал временной метки ГНСС от репитера BS-GPS-75 и подключены к

устройствам USRP. Принятые сигналы временной метки ГНСС поступают на локальные подсистемы синхронизации GPSDO отдельных устройств USRP.

Программный интерфейс пакета расширения USRP Support from Communications Toolbox [9] и драйвер UHD [10] позволяют одновременно запустить на передачу четыре устройства USRP, подключенные к одному АРМ, единой командой в СПО MATLAB. На текущем этапе лабораторных испытаний в подсистеме формирования опорных сигналов стандарта LTE разрабатываемого SDR-демонстратора технологии сетевого позиционирования в качестве макетов eNB используются три устройства USRP типа N210, четвертое устройство USRP типа N210 при этом используется в качестве SDR-макета пользовательского устройства UE.

Рис. 3 иллюстрирует экранную форму АРМ-подсистемы формирования опорных сигналов трех SDR-макетов eNB, из которой следует, что встроенная функция `gpsLockedStatus` пакета расширения USRP Support from Communications Toolbox [9] позволяет контролировать корректность приема метки ГНСС каждым устройством USRP. Признак `gpsLockedStatus=1` позволяет в первом приближении говорить о синхронизации USRP меткой ГНСС.

Сформулируем далее условия лабораторных испытаний по сценарию № 2. Три группы опорных сигналов PSS, SSS, CRS и PRS стандарта LTE трех макетов базовых станций eNB с разными Cell ID 101, 102 и 103 программно формируются как baseband-сигналы в СПО MATLAB, установленном на АРМ, и поступают на три подключенных по интерфейсам GBE устройства USRP. Таблица 1 содержит варианты соответствия IP-адресов устройств USRP и сетевых интерфейсов GBE, необходимые для корректной работы нескольких плат USRP по сетевым интерфейсам с одним АРМ в рассматриваемом сценарии лабораторных испытаний.

```

1 clear all; close all; clc;
2 % Параметры LTE фрейма
3 enbParam.CellID = 0; % ID соты (Cell ID) от 0 до 503
4 enbParam.PrsID = 0; % ID PRS сигнала (совпадает с CellID)
5 enbParam.NRBPRS = 3; % число RB для передачи PRS
6 enbParam.NRBSC = 12; % число поднесущих в одном RB
7 enbParam.NSYMBOL = 7; % число символов в слоте
8 enbParam.Position = 0; % расстояние от eNB до UE
9 enbParam.SampPerSymb = 4;
10 enbParam.BW = 1.4; % 1.4, 3, 5, 10, 15, 20
11 enbParam = get_bw_param(enbParam);
12 % 1 - передача суммарного сигнала через одну плату
13 % 0 - передача отдельных сигналов через разные платы
14 singleusrp = 0;
15
16 usrpCenterFreq = 8e8; % несущая частота, Гц
17 usrpGain = [5,15,30]; % усиление передающего тракта, дБ
18
19 CellIDs = [101, 102, 103];
20 Nemb = length(CellIDs);
21 enbPositions = [0.0, 0.0, 0.0];
22 enbParam = repmat(enbParam, Nemb, 1);
23 for i=1:Nemb
24 enbParam(i).CellID = CellIDs(i);
25 enbParam(i).PrsID = enbParam(i).CellID;
26 enbParam(i).Position = enbPositions(i);
27 end
28
29 % Формирование фрейма lte с PRS
30 tx_att_db = -fspi(enbPositions(1:Nemb), 3e8/usrpCenterFreq);
  
```

```

Checking radio connections...
Win32; Microsoft Visual C++ version 14.2; Boost_107500; UHD_4.1.0.4-vendor
----- see libuhd version information above this line -----
Обнаружена плата N200/N210/USRP2
USRP time synchronized to GPS time
USRP 192.168.11.101 CellID 101 GPS locked status 1
USRP time synchronized to GPS time
USRP 192.168.12.102 CellID 102 GPS locked status 1
USRP time synchronized to GPS time
USRP 192.168.13.103 CellID 103 GPS locked status 1
  
```

Рис. 3. Экранная форма АРМ-подсистемы формирования опорных сигналов

Сформированные в СПО MATLAB АРМ опорные baseband-сигналы с Cell ID 101, 102 и 103 трех макетов eNB далее излучаются тремя SDR-устройствами USRP по коаксиальным кабелям 5D-FB [14] длиной 1, 50 и 100 м с усилениями 5, 15 и 30 дБ соответственно на несущей частоте 800 МГц. Усиления при этом подобраны эмпирически таким образом, чтобы обеспечить обнаружение опорных сигналов нескольких макетов eNB с учетом потерь в тракте РРВ.

Коаксиальные кабели выступают в роли эквивалентов расстояний между eNB и UE (1 м между eNB₁ и UE; 50 м между eNB₂ и UE; 100 м между eNB₂ и UE) и подключаются на вход сумматора Baltic Signal BS-700/2700-1/3 [15] с тремя входами.

Таблица 1. Соответствие Cell ID и IP-адресов устройств USRP и интерфейсов GBE APM

Макет eNB	Идентификатор Cell ID	IP-адрес USRP	IP-адрес GBE APM
eNB ₁	101	192.168.11.101	192.168.11.111
eNB ₂	102	192.168.12.102	192.168.12.112
eNB ₃	103	192.168.13.103	192.168.13.113

Работа в лабораторных условиях с коаксиальными кабелями разной длины оправдана следующими обстоятельствами. Во-первых, внутри помещения с площадью, ограниченной несколькими десятками квадратных метров, невозможно воспроизвести условия территориального распределения макетов базовых станций с расстояниями между UE и eNB в десятки-сотни метров. Во-вторых, при лабораторных испытаниях начального этапа целесообразно исключить весьма пагубный для первичных РДМ-измерений эффект многолучевости.

По сценарию № 2 SDR-макет UE принимает сумму трех опорных радиосигналов через сумматор/делитель Baltic Signal BS-700/2700-1/3 по коаксиальному кабелю 5D-FB длиной 1 м на несущей частоте 800 МГц. Принятый радиосигнал устройство USRP переносит в область нулевой частоты, который далее в APM с СПО MATLAB обрабатывается как baseband-сигнал. Программно реализованная подсистема приема и обработки выполняет процедуры, в результате которых осуществляется измерение разностей времен прихода сигналов с переводом в разность расстояний Δ_{21} для макета базовой станции eNB₂ с идентификатором Cell ID 102 и Δ_{31} для макета базовой станции eNB₃ с идентификатором Cell ID 103 относительно макета опорной базовой станции eNB₁ с идентификатором Cell ID 101. Рис. 4 иллюстрирует экранную форму СПО MATLAB APM-подсистемы приема и обработки опорных сигналов SDR-макета UE. После этапа начальной подстройки можно выполнять оценки первичных РДМ-измерений. Таблица 2 содержит результаты испытаний пяти сеансов.

Предпосылкой испытаний по сценарию № 2 являются испытания по сценарию № 1, по результатам которых установлено, что программно реализованный приемник с дробной оценкой времени прихода сигнала TOA SDR-макета пользовательского устройства UE, работающий в полосе 1.4 МГц при условии идеально синхронного излучения опорных сигналов нескольких eNB одним устройством USRP, обеспечивает точность первичных РДМ-измерений в единицы метров, что позволяет говорить о его удовлетворительной работоспособности в первом приближении.

Таким образом, в предположении корректной работы устройства приема и обработки по результатам испытаний в сценарии № 2 (таблица 2) можно сделать вывод о том, что при выбранной длине кабелей относительная их разница прослеживается, хотя и со слабо предсказуемой погрешностью в десятки метров. Принимая во внимание работоспособность программно реализованного приемника с погрешностью в единицы метров по сценарию № 1, для сценария № 2 можно сделать вывод о том, что источником погрешности первичных РДМ-измерений в десятки метров является несинхронное излучение USRP-устройств, рассогласование по времени которых кратно нескольким ГНСС-меткам с дискретом в 50 нс, что при переводе в единицы расстояния составляет 15 м. Также источником рассогласования по времени USRP-устройств обоснованно можно считать недостаточно синхронную для задач навигации работу GBE-интерфейсов APM для четырех SDR-макетов eNB.

Тем не менее результаты испытаний по сценарию № 2 (таблица 2) дают основания констатировать относительную в масштабе интервала дискретизации для исследуемой полосы 1.4 МГц синхронность излучения SDR-макетов eNB, так как оценка разности расстояний программно реализованным приемником с дробной оценкой времени прихода TOA позволяет получить значения, величина которых не превосходит 156 м. Физический смысл данного значения для исследуемой полосы 1.4 МГц заключается в том, что это целочисленный интервал

разрешения времени прихода ТОА, который для соответствующей полосы 1.4 МГц частоты дискретизации 1.92 МГц составляет 0.52 мкс, что при переводе в расстояние и дает 156 м.

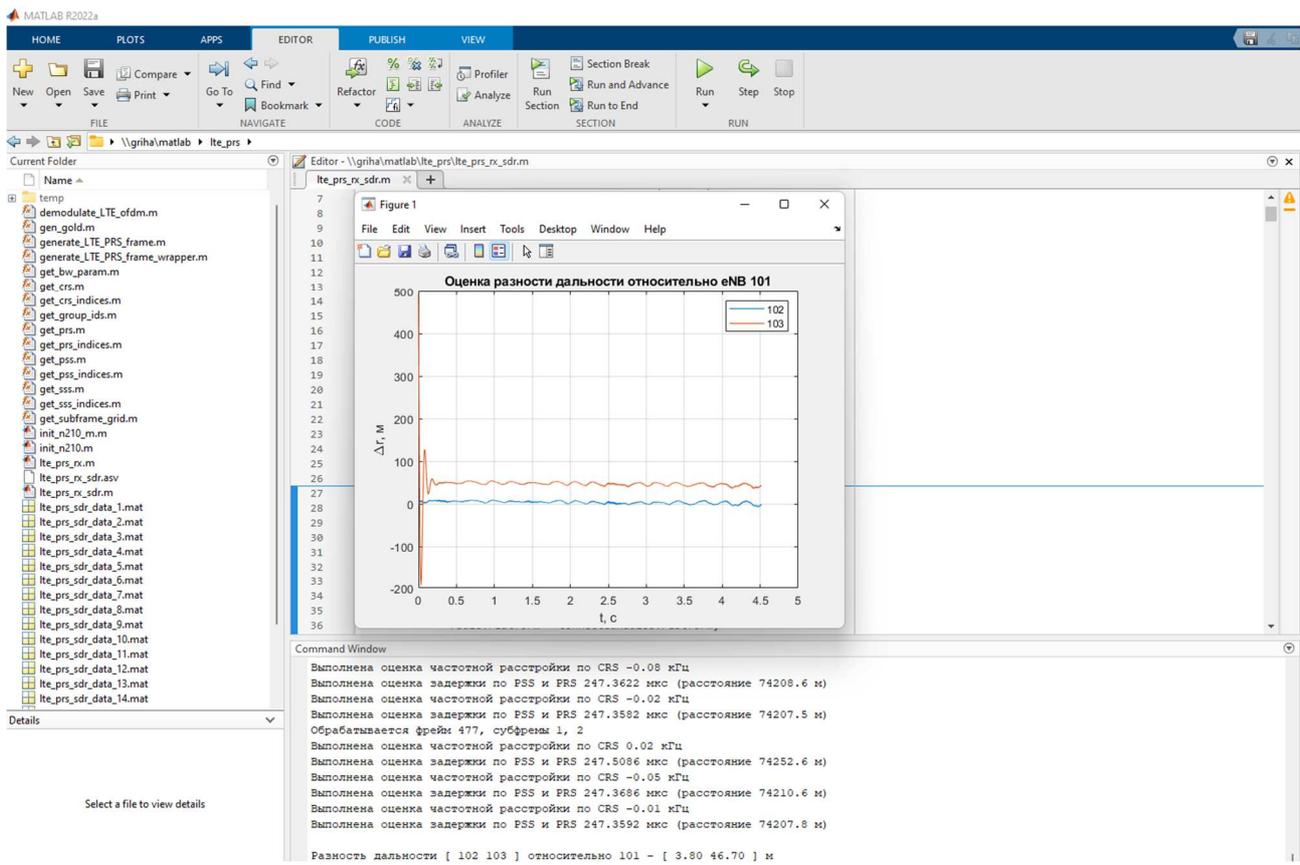


Рис. 4. Экранная форма АРМ-подсистемы приема и обработки опорных сигналов

Таблица 2. Измерения разности расстояний для сценария испытаний № 2

Номер испытаний	Измерение Δ_{21}	Измерение Δ_{31}	Фактические значения Δ_{21} и Δ_{31}
1	4	47	49/99
2	20	80	49/99
3	1	80	49/99
4	1	64	49/99
5	4	67	49/99

3. Заключение

В настоящей работе представлены результаты лабораторных испытаний подсистемы приема и обработки опорных сигналов LTE SDR-устройством для последующего использования в задачах сетевого позиционирования. Процедуры приема и обработки опорных сигналов LTE программно реализованы из примитивных функций специального программного обеспечения MATLAB. Корректность программной реализации верифицирована в ходе лабораторных

испытаний, которые показали точность первичных измерений в единицы метров, что позволяет говорить об удовлетворительной работоспособности реализованного SDR-приемника опорных сигналов LTE в первом приближении. Недостаточная для задач навигации точность синхронизации SDR-макетов базовых станций eNB при работе нескольких USRP через APM с СПО MATLAB под управлением ОС Windows 11 подтвердила необходимость программно-аппаратной реализации подсистемы формирования опорных сигналов LTE на языке HDL для ПЛИС. Очередным этапом исследований в области SDR-технологии сетевого позиционирования являются полевые испытания реализованной на ПЛИС подсистемы формирования опорных сигналов LTE с достаточной для задач навигации точностью синхронизации макетов eNB.

Выражение благодарности

Авторы выражают благодарность рецензентам за ценную обратную связь при подготовке рукописи к публикации.

Литература

1. *Фокин Г. А., Волгушев Д. Б., Харин В. Н.* Использование SDR технологии для задач сетевого позиционирования. Формирование опорных сигналов LTE // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16, № 5. С. 28–47.
2. *Фокин Г. А.* Технологии программно-конфигурируемого радио. Москва: Горячая Линия – Телеком, 2019. 316 с.
3. *Фокин Г. А.* Технологии сетевого позиционирования 5G. Москва: Горячая Линия – Телеком, 2021. 456 с.
4. *Борисов Е. Г., Машков Г. М., Фокин Г. А.* Экспериментальный стенд оценки точности позиционирования на основе программно-конфигурируемого радио // Сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». 2016. С. 120–125.
5. MATLAB. MathWorks. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/> (дата обращения: 03.08.2022).
6. LTE Toolbox. MathWorks. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/products/lte.html> (дата обращения: 03.08.2022).
7. Time Difference of Arrival Positioning Using PRS. MathWorks. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/help/lte/ug/time-difference-of-arrival-positioning-using-prs.html> (дата обращения: 03.08.2022).
8. USRP N210. Ettus Research. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ettus.com/all-products/un210-kit/> (дата обращения: 03.08.2022).
9. USRP Support from Communications Toolbox. MathWorks. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mathworks.com/hardware-support/usrp.html> (дата обращения: 03.08.2022).
10. UHD (USRP Hardware Driver). Ettus Research. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ettus.com/sdr-software/uhd-usrp-hardware-driver/> (дата обращения: 03.08.2022).
11. GPSDO Kit for USRP N200/N210. Ettus Research. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ettus.com/all-products/gpsdo-kit/> (дата обращения: 03.08.2022).
12. Комплект усиления GPS на основе репитера BS-GPS-75. [Электронный ресурс]. URL: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/repitery-gps/komplekt-usileniya-gps-na-osnove-repitera-bs-gps-75> (дата обращения: 03.08.2022).

13. Антенна GPS-ГЛОНАСС Триада МА-2178. [Электронный ресурс]. URL: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/antenny-triada/antenna-gps-glonass-triada-ma-2178> (дата обращения: 03.08.2022).
14. Кабель 5D-FB ССА PVC (черный). [Электронный ресурс]. URL: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/cable/kabel-5d-fb-pvc-chernyy> (дата обращения: 03.08.2022).
15. Делитель мощности Baltic Signal BS-700/2700-1/3. [Электронный ресурс]. URL: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/deliteli/delitel-moshhnosti-bs-700-2700-1-3> (дата обращения: 03.08.2022).

Фокин Григорий Алексеевич

д.т.н., доцент, профессор кафедры радиосвязи и вещания, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д.22, к.1), email: grihafokin@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5358-1895.

Волгушев Дмитрий Борисович

научный сотрудник СПбГУТ (СПбГУТ, 193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д. 22, к. 1, а. 407/2), email: d.volgushev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8147-4368.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

Development of SDR-based Network Positioning Technology. LTE Reference Signals Reception and Processing Validation

Grigoriy A. Fokin, Dmitry B. Volgushev

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT)

Abstract: Introduction. The positioning of devices according to the base stations reference signals of LTE cellular radio networks deployed everywhere is an important area of research and development that is in demand due to dense urban development with unreliable signal reception from global navigation satellite systems. The instrument for experimental approbation of technical solutions is the software and hardware of the SDR software defined radio technology. This work continues the study on the use of SDR technology for network positioning problems in terms of the experimental testing of the device for receiving reference signals of the LTE standard. Materials and methods. The correctness of the software implementation of the LTE reference signal processing procedures was verified in the course of laboratory tests that showed the accuracy of primary measurements in units of meters allowing us to speak about the satisfactory performance of the implemented SDR layout of the user device that receives the LTE reference signals. Results. Insufficient synchronization accuracy of SDR models of base stations for navigation tasks confirmed the need for hardware-software implementation of the subsystem for generating LTE reference signals in HDL for FPGAs. Discussion and conclusions. The next stage of research in the field of SDR network positioning technology is field testing of the implemented sub-system for generating LTE reference signals with sufficient synchronization accuracy of eNB models for navigation tasks.

Keywords: 4G, LTE, PSS, SSS, CRS, PRS, SDR, positioning, reference signals, laboratory tests.

For citation: Fokin G. A. Volgushev D. B. Development of SDR-based network positioning technology. LTE reference signals reception and processing validation. (in Russian). *Vestnik SibGUTI*, 2023, vol. 17, no. 3, pp. 23-33. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-3-23-33>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Fokin G. A. Volgushev D. B., 2023

The article was submitted: 09.08.2022;
revised version: 17.01.2023;
accepted for publication 30.01.2023.

References

1. Fokin G.A., Volgushev D.B., Kharin V.N. Ispol'zovaniye SDR tekhnologii dlya zadach setevogo pozitsionirovaniya. Formirovaniye opornykh signalov LTE [Using SDR technology for network positioning tasks. Formation of LTE reference signals]. *T-Comm: Telecommunications and transport*, 2022. vol. 16, no. 5, pp. 28-47.
2. Fokin G.A. *Tekhnologii programmno-konfiguriruyemogo radio* [Software Defined Radio Technologies]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom, 2019. 316 p.
3. Fokin G.A. *Tekhnologii setevogo pozitsionirovaniya 5G* [5G network positioning technologies]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom, 2021. 456 p.
4. Borisov E.G., Mashkov G.M., Fokin G.A. Eksperimental'nyy stend otsenki tochnosti pozitsionirovaniya na osnove programmno-konfiguriruyemogo radio [Experimental stand for assessing positioning accuracy based on software-defined radio]. *Actual problems of infotelecommunications in science and education. collection of scientific articles of the V international scientific-technical and scientific-methodical conference*, 2016, pp. 120-125.
5. MATLAB. MathWorks, available at: <https://www.mathworks.com/> (accessed 27.09.2023).
6. LTE Toolbox. MathWorks, available at: <https://www.mathworks.com/products/lte.html> (accessed 03.08.2022).
7. Time Difference of Arrival Positioning Using PRS. MathWorks, available at: <https://www.mathworks.com/help/lte/ug/time-difference-of-arrival-positioning-using-prs.html> (accessed 03.08.2022).
8. USRP N210. Ettus Research, available at: <https://www.ettus.com/all-products/un210-kit/> (accessed 03.08.2022).
9. USRP Support from Communications Toolbox. MathWorks, available at: <https://www.mathworks.com/hardware-support/usrp.html> (accessed 27.09.2023).
10. UHD (USRP Hardware Driver). Ettus Research, available at: <https://www.ettus.com/sdr-software/uhd-usrp-hardware-driver/> (accessed 03.08.2022).
11. GPSDO Kit for USRP N200/N210. Ettus Research, available at: <https://www.ettus.com/all-products/gpsdo-kit/> (accessed 03.08.2022).
12. *Komplekt usileniya GPS na osnove repitera BS-GPS-75* [GPS amplification kit based on BS-GPS-75 repeater], available at: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/repitery-gps/komplekt-usileniya-gps-na-osnove-repitera-bs-gps-75> (accessed 03.08.2022).
13. *Antenna GPS-GLONASS Triada MA-2178* [Antenna GPS-GLONASS Triada MA-2178], available at: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/antenny-triada/antenna-gps-glonass-triada-ma-2178> (accessed 03.08.2022).
14. *Kabel' 5D-FB CCA PVC (chernyi)* [5D-FB CCA PVC cable (black)], available at: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/cable/kabel-5d-fb-pvc-chernyy> (accessed 03.08.2022).
15. *Delitel' moshchnosti Baltic Signal BS-700/2700-1/3* [Power divider Baltic Signal BS-700/2700-1/3], available at: <https://gsm-repiteri.ru/prodazha/deliteli/delitel-moshchnosti-bs-700-2700-1-3> (accessed 03.08.2022).

Grigoriy A. Fokin

Dr. of Sci. (Engineering), Docent; Professor of the Department of Radio Communication and Broadcasting, The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications (SPbSUT, Russia, 193232, Saint Petersburg, Bolshevikov Prospect 22), email: grihafokin@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5358-1895.

Dmitry B. Volgushev

Research assistant, The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, email: d.volgushev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8147-4368.