

ОБЗОР СИСТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИОИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

А.А. Прасолов, к.т.н., Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, prasolov.alex@gmail.com;

Р.С. Роцинский, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, rosh.rs@bk.ru;

А.С. Федоров, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, as.fdrv@bk.ru;

Д.М. Чудинов, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, d.chudinov.spb@yandex.ru.

УДК 621.391.8

Аннотация. Целью данной работы является обзор представленных на рынке систем проведения радиоизмерений и оценки качества покрытия сетей мобильной связи, как зарубежных, так и российских. Описана текущая разработка авторов и приведены примеры ее апробации.

Ключевые слова: радиоизмерения; мобильная связь; параметры сети; качество сети; измерительные комплексы.

MOBILE COMMUNICATION NETWORKS RADIO MEASURING AND COVERAGE QUALITY ASSESSING SYSTEMS OVERVIEW

A.A. Prasolov, Ph.D. of Engineering Sciences, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;

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

A.S. Fedorov, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich;

D.M. Chudinov, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich.

Annotation. The article is devoted to systems for conducting radio measurements and assessing the quality of coverage of mobile networks. An overview of similar systems implemented in Russia and in the world is presented. The current development of the authors is described and examples of its testing are given.

Keywords: radio measurements; mobile communication; network settings; network quality; measuring systems.

Введение

Проведение радиоизмерений и оценка качества радиопокрытия является одной из самых важных задач при планировании новых сетей связи, оптимизации и оценки качества существующих сетей, а также для проведения исследований в области взаимного влияния этих сетей. Для решения этих задач на рынке существуют готовые решения, однако в научно-технической литературе до сих пор встречаются работы, посвященные разработке подобных систем, что особенно актуально для России на сегодняшний день, ввиду приостановки деятельности крупнейших западных компаний-производителей измерительного оборудования. Вместе с постоянным развитием сетей радиосвязи различного назначения встает задача совершенствования измерительного оборудования с учетом появления

новых особенностей работы, взаимного влияния и требований по учету дополнительных параметров.

Существующие на рынке решения

Крупнейшим производителем оборудования для проведения радиоизмерений является немецкая компания *Rohde & Schwarz* [1]. Основным средством для проведения измерений и оценки качества покрытия сетей радиосвязи являются сканеры семейства *TSMx*, которые поддерживают работу со следующими стандартами: *GSM*, *UMTS*, *LTE*, *NR*, *NB-IoT*, *LTE-M*, *CDMA2000*, *EVDO*, *TETRA*, *WiMAX*, различными технологиями *WLAN*, *CW*, а также в режиме радиомониторинга. Внешний вид сканеров данного семейства представлен на рис. 1.

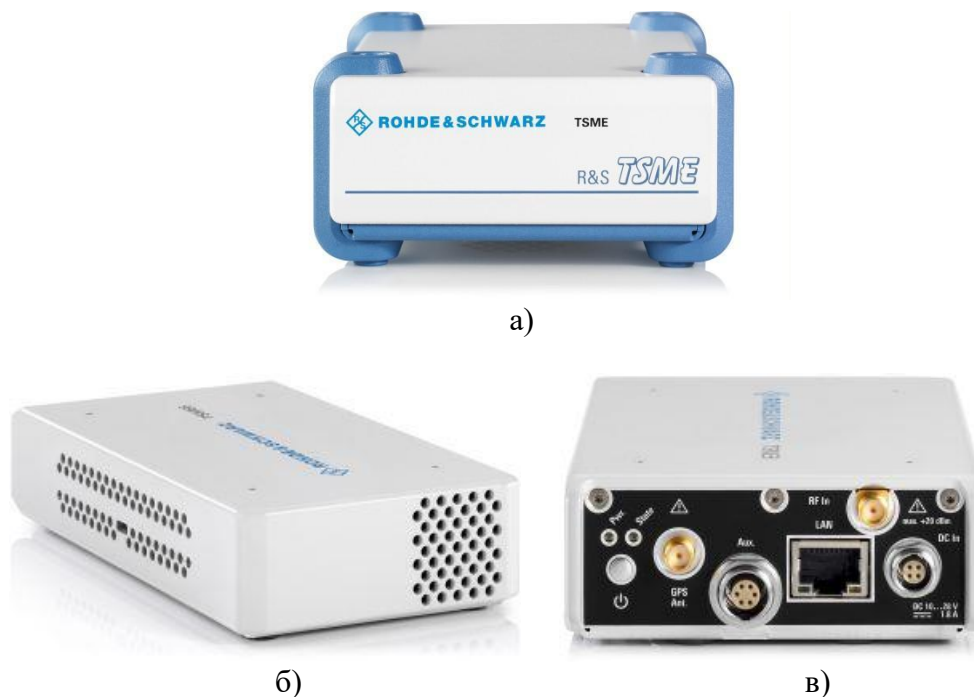


Рисунок 1

Сканеры семейства *TSMx* имеют возможность каскадного соединения, что позволяет одновременно проводить измерения большего количества стандартов, например, для оценки их взаимного влияния. Пример каскадного соединения сканеров представлен на рис. 2.

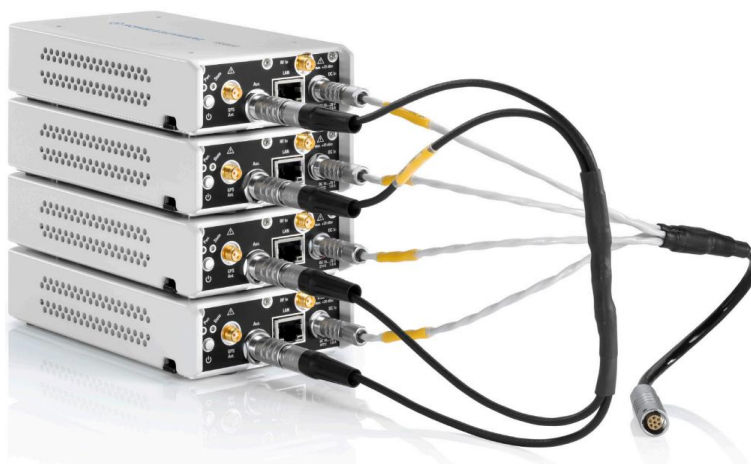


Рисунок 2

Сканеры работают под управлением программного обеспечения *ROMES4*, позволяющего конфигурировать сканеры и прочие подключенные устройства, отображать результаты измерений на картах, в виде таблиц и т.д., а также оценивать их во времени, проводить оценку сигнальных созвездий, отображать данные о соседних базовых станциях, оценивать параметры качества обслуживания (*Quality of Service, QoS*) и многое другое. Пример рабочего окна *ROMES4* представлен на рис. 3.



Рисунок 3

Компания *Rohde & Schwarz* в своем арсенале также имеет и измерительные мобильные телефоны, которые работают с программным обеспечением *QualiPoc* и позволяют измерять не только радиопараметры, но и давать оценку качества речи, передачи данных, потоковой передачи видео, а также отслеживать произошедшие во время измерений события, процедуры и сценарии. Примеры рабочих окон измерительного телефона и *QualiPoc* представлены на рис. 4.



а)

б)

в)

Рисунок 4

Для проведения драйв-тестов рассмотренные выше сканеры и измерительные телефоны могут объединяться, для чего компанией *Rohde & Schwarz* представлено решение *Freerider 4*, представляющее собой рюкзак с измерительными устройствами, системой электропитания (аккумуляторы, либо питание от электросети автомобиля) и вентиляцией. Решение поддерживает до 12 измерительных телефонов в своем составе и сканер семейства *TSMx*. Внешний вид решения *Freerider 4* представлен на рис. 5.



Рисунок 5

Еще одной особенностью измерительных сканеров и программного обеспечения компании *Rohde & Schwarz* является наличие функции автоматического обнаружения каналов (*Automatic Channel Detection, ACD*). Данная функция на основании анализа сигналов по различным признакам (форма сигнала, частота, ширина полосы и т.д.) идентифицирует их принадлежность к стандартам, что позволяет оценить динамически изменяющуюся электромагнитную обстановку в месте проведения измерений и, например, определить потенциально помеховые сигналы. Пример работы функции автоматического обнаружения каналов представлен на рис. 6.

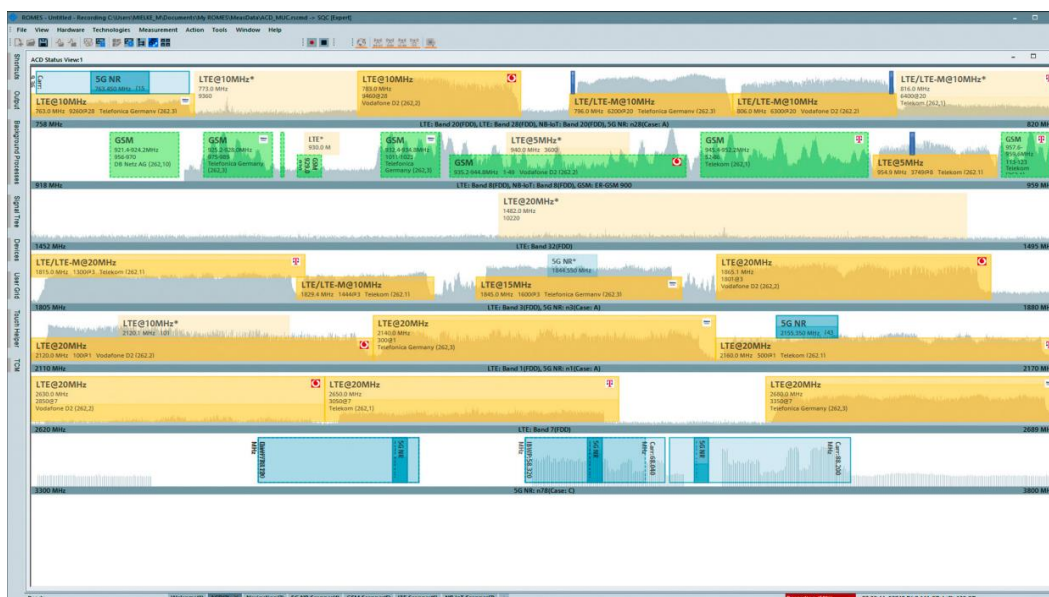


Рисунок 6

Дополнительное программное обеспечение *Network Problem Analyzer (NPA)* позволяет провести пост-анализ работы сети по проведенным ранее измерениям в ПО *ROMES4* с использованием радиосканера (или в ПО *QualiPoc* с использованием измерительных телефонов) и сформированным на их основе совокупности лог-файлов (размер и время формирования лог-файла также может настраиваться в ПО *ROMES4*). *NPA* визуализирует результаты измерений в виде тепловых карт, а также позволяет изучить служебную информацию, представленную в соответствующих блоках (*System Information Blocks, SIB*). Подобный подход позволяет оценивать зоны покрытия и обслуживания, а также сценарии и процедуры, произошедшие за время измерений (звонок, передача сообщения или данных, хэндовер, реселекция соты и т.д.). Пример окна *NPA* представлен на рис. 7.

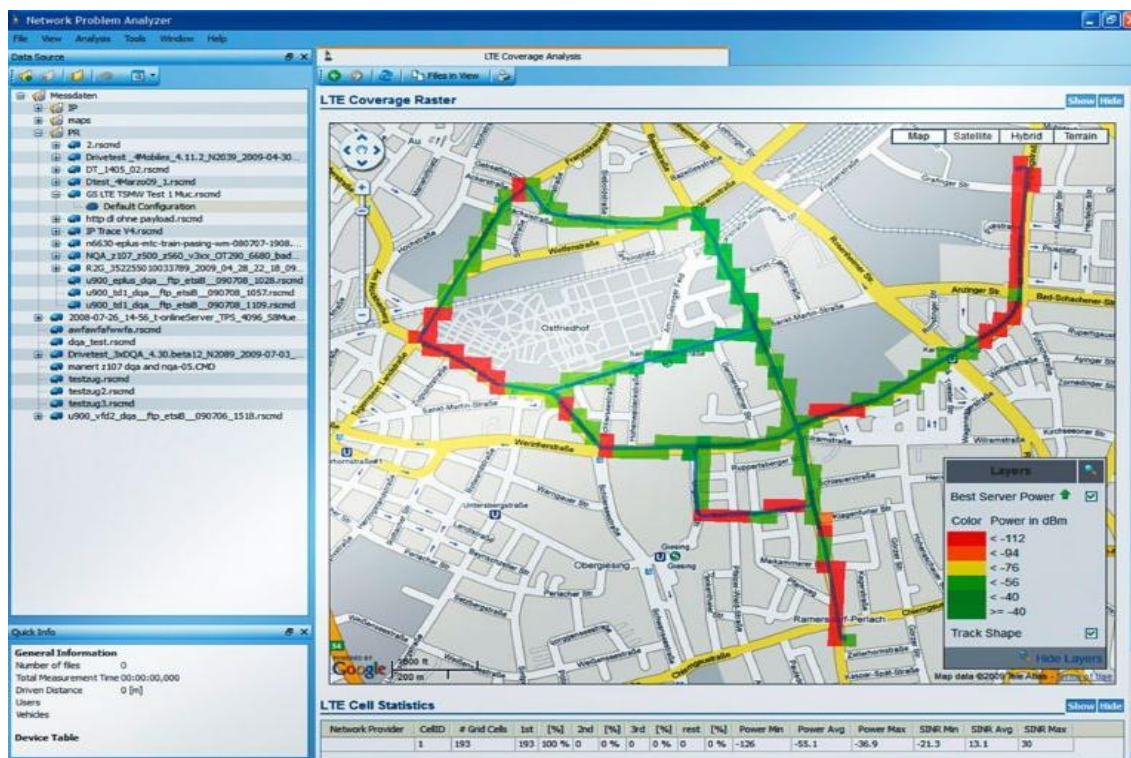


Рисунок 7

В работе [2] представлен пример результатов проведенных измерений стандарта *TETRA*, полученных с помощью измерительного сканера компании *Rohde & Schwarz*. Измерения проводились из вагона-лаборатории на Октябрьской железной дороге вблизи станции Чудово (Новгородская область). Приведена схема измерительного комплекса и карта покрытия с нанесенным уровнем сигнала (представлены для примера на рис. 8 и 9 соответственно), по которой был сделан вывод – на одном из участков не соблюдаются требования с точки зрения минимально допустимого уровня принимаемого сигнала и требуемого перекрытия между соседними базовыми станциями¹, вследствие чего на основании расчетов по известной модели распространения радиоволн Окамура-Хата [3] была предложена методика модернизации исследуемой сети и установки новой базовой станции. Результаты теоретического расчета показали, что модернизированная сеть удовлетворяет требованиям нормативно-правовой базы.

¹ ГОСТ 33973-2016. Железнодорожная электросвязь. Поездная радиосвязь. Технические требования и методы контроля.



Рисунок 8

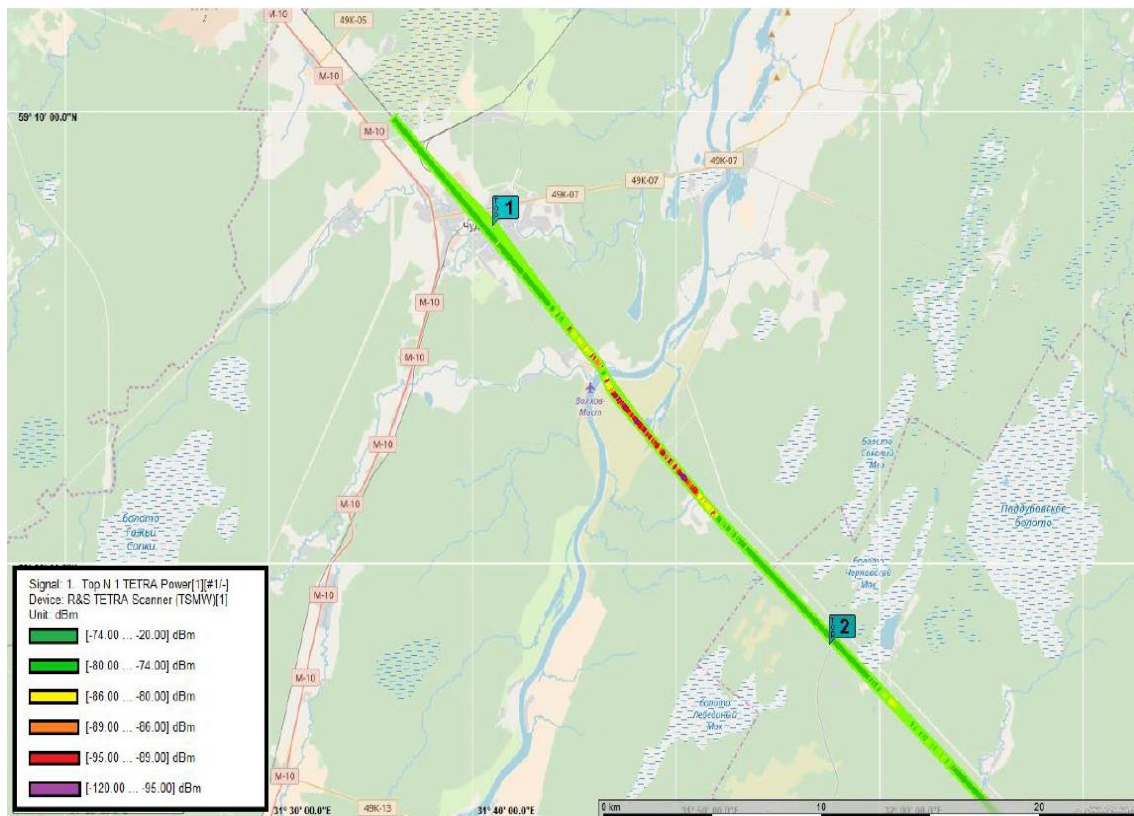


Рисунок 9

Основным конкурентом компании *Rohde & Schwarz* в области радиоизмерений является американская компания *Keysight Technologies* [4]. Данная компания имеет аналогичное *Freerider* решение для проведения драйв-тестов, которое носит название *Nemo Walker Air*, однако оно в своем составе имеет только измерительные телефоны, что ограничивает варианты его использования. Внешний вид решения *Nemo Walker Air* представлен на рис. 10.

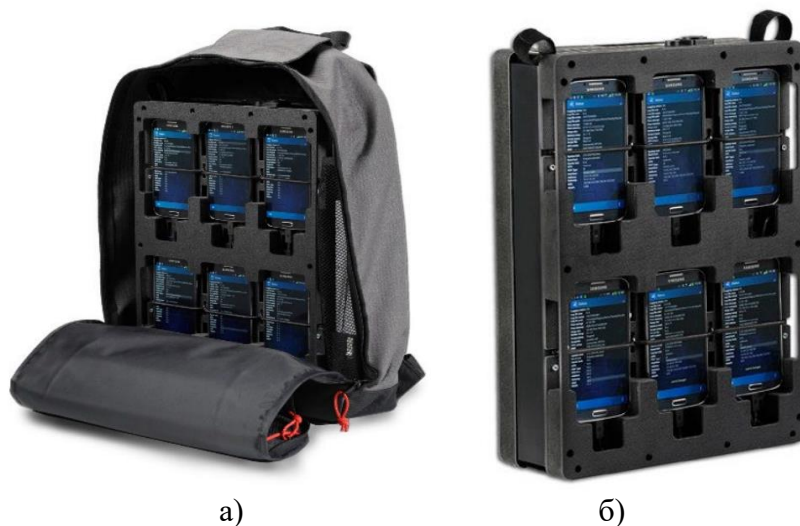


Рисунок 10

Среди отечественных решений в качестве примера можно привести устройство для определения уровня качества сети *NB-IoT* и тестирования передачи данных *NB-IOT TESTER RB-NBT*, разработанное российской компанией *RedBees* [5]. Данный тестер представляет собой автономное устройство с дисплеем и несколькими кнопками. Внешний вид тестера *NB-IOT TESTER RB-NBT* представлен на рис. 11.



Рисунок 11

Тестер предназначен для измерений параметров сети стандарта *NB-IoT* (измеряются такие параметры, как *RSSI*, *RSRP*, *RSRQ*, *SNR*, *EARFCN*, код *PLMN*, состоящий из *MCC* и *MNC*, *Cell ID*, *IMSI*), определения наличия регистрации в сети с получением статуса подключения, определения координат местоположения и температуры окружающей среды, а также передачи измеренных данных через сеть на удаленный сервер с получением подтверждения о доставке. Тестер имеет в своем составе модем *u-blox SARA-N410* и поддерживает частотные диапазоны *B3* (восходящая линия от 1710 МГц до 1785 МГц, нисходящая линия от 1805 МГц до 1880 МГц, тип дуплекса – частотный, *FDD*), *B8* (восходящая линия от 880 МГц до 915 МГц, нисходящая линия от 925 МГц до 960 МГц, тип дуплекса – частотный, *FDD*), *B20* (восходящая линия от 832 МГц до 862 МГц, нисходящая линия от 791 МГц до 821 МГц, тип дуплекса – частотный, *FDD*). Также стоит отметить, что

используемый в устройстве модем может быть заменен на аналогичный, в связи с чем возникает возможность применять устройство для измерений других стандартов и в других диапазонах частот.

Также стоит отметить, что разработчиком получена декларация о соответствии данного тестера требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», действительная до 2025 г.

Тестер используется операторами сотовой связи (разработчик также предлагает услуги брендинга устройства) и при проведении научных исследований. В работах [6, 7] представлены примеры процесса и результатов измерений с использованием данного тестера. Измерения проводились в Санкт-Петербурге в трех различных сценариях: на улице, внутри помещения, в условиях воздействия устройства глушения. Представлены результаты измерений и дана оценка качества рассматриваемой сети.

Оценивать качество мобильных сетей можно и без использования описанных выше комплексов и макетов с использованием внешних модемов. Для абонентских устройств (смартфоны, планшеты и т.д.) существует большое количество приложений, которые могут проводить сбор первичных данных сотовых сетей. В работе [8] описана разработка подобного приложения для операционной системы *Android*, позволяющего фиксировать и отображать на карте источники излучения и радиусов их действия на карте на примере стандартов *Wi-Fi*, *Bluetooth* и стандартов мобильной связи (приведены результаты измерений в городе Томск).

Обзор имеющихся наработок

С 2019 г. по настоящее время на базе научно-образовательного центра «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети» Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича также ведутся работы по разработке макетов для проведения измерений параметров сетей сотовой связи. Разработанные макеты включали в себя: модуль обработки информации; управляющий радиомодулем и остальными частями макета; радиомодуль для подключения к сети, проведения измерений и определения местоположения; устройства ввода/вывода (экран, кнопки и т.д.) для управления макетом и визуализации полученных параметров); систему хранения данных (в частности лог-файлов с результатами измерений) и систему электропитания. Общая архитектура рассматриваемых макетов представлена на рис. 12.

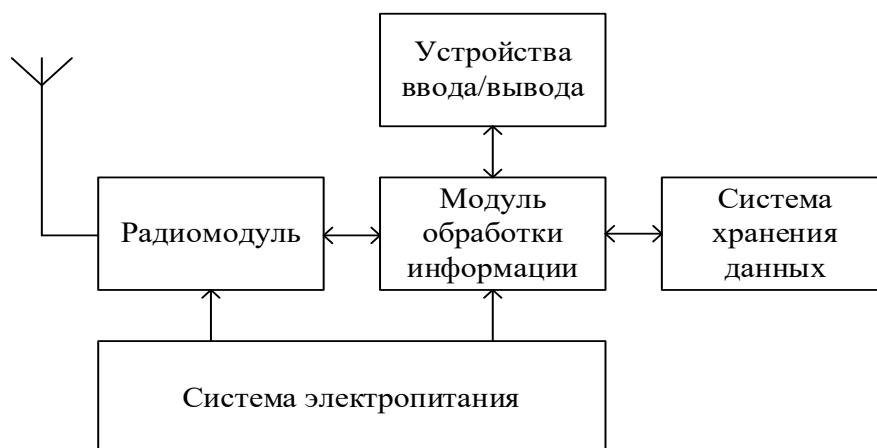


Рисунок 12

Описанный в работе [9] макет построен на базе *Raspberry Pi Zero* и модема *SIMCom SIM800L*. Программное обеспечение написано на языке *Python* и зарегистрировано как результат интеллектуальной деятельности [10]. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, номер канала *ARFCN*, отношение сигнал/шум *SNR*, коды страны и сети (*MCC* и *MNC*), идентификатор соты *Cell ID*, координаты.

Описанный в работе [11] макет построен на базе *Arduino Mega* и отладочной платы *Shield GPRS/GSM*, включающей в себя модем *SIMCom SIM900*. Программное обеспечение написано на языке *Arduino C*. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, номер канала *ARFCN*, идентификатор зоны и идентификатор соты (*LAC* и *Cell ID*).

Описанный в работе [12] макет построен на базе *Raspberry Pi Zero* и модема *SIMCom SIM800L*. Программное обеспечение написано на языке *Python*. Разработанный макет поддерживает стандарт *LTE* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, отношение сигнал/шум *SNR*, коэффициент битовой ошибки *BER*, номер канала *EARFCN*, идентификатор соты *Cell ID*.

Описанный в работе [13] макет построен на базе *Raspberry Pi 3 Model B* и модема *SIMCom SIM7600E-H*. Программное обеспечение написано на языке *JavaScript* и зарегистрировано как результат интеллектуальной деятельности [14, 15]. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM*, *UMTS*, *LTE* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, коды страны и сети (*MCC* и *MNC*), идентификатор зоны и идентификатор соты (*LAC* и *Cell ID*), коэффициент битовой ошибки *BER*, номер канала, координаты.

Описанный в работе [16] макет построен на базе ноутбука и модема *SIMCom SIM7600E-H*. Программное обеспечение написано на языке *Java* и зарегистрировано как результат интеллектуальной деятельности [17, 18]. Разработанный макет поддерживает стандарт *GSM* и измерения следующих параметров: уровень принимаемого сигнала *RSSI*, коды страны и сети (*MCC* и *MNC*), идентификатор зоны и идентификатор соты (*LAC* и *Cell ID*), коэффициент битовой ошибки *BER*, номер канала *ARFCN*.

Также стоит отметить, что в рассмотренных выше макетах используется только один радиомодуль, что ограничивает возможности применения разработанного на их основе измерительного устройства. В работе [19] исследуется подход к построению блока-радиоизмерителя с точки зрения расположения нескольких измерительных модулей в устройстве. В качестве ориентиров взяты измерительные рюкзаки компаний *Rohde & Schwarz* и *Keysight*. Исследование проводилось на примере стандарта *Wi-Fi*, три измерительных модуля располагались либо в одинаковом положении (их положение одновременно менялось на вертикальное, горизонтальное и под углом), либо в разном (первый модуль вертикально, второй – горизонтально, третий – под углом). Приведены результаты измерений уровня принимаемого сигнала и количества обнаруженных точек доступа. По результатам измерений был сделан вывод, что разброс принимаемого уровня сигнала между модулями, расположенными одинаково был практически постоянен и такой вариант неэффективен. Наблюдалась разница между модулями, зависящая от их расположения и, следовательно, поляризации антенны. Использование второго варианта позволило учитывать эту разницу одновременно. Также значения уровня сигнала, полученные при использовании

второго варианта, в большинстве случаев примерно равны среднему значению уровней сигнала, принятых от трех модулей, расположенных одинаково.

В работе [20] рассмотрены и апробированы существующие и упомянутые выше приложения для сбора первичных данных сотовых сетей с представлением примеров результатов их работы, определен минимальный перечень параметров для оценки качества сети сотовой связи, включающий в себя коды страны *MCC* и сети *MNC*, код области *LAC/TAC*, идентификатор базовой станции *Cell ID*, координаты местоположения, время и дата проведения измерений, фиксация произошедшего события (например звонок, хэндовер и т.д.), мощность принимаемого сигнала *RSSI*, мощность пилотного сигнала *RSRP*, качество пилотного сигнала *RSRQ*, отношение сигнал/шум. К рассматриваемым приложениям был выдвинут ряд критериев (касающихся как возможностей, так и удобства пользования программами) и составлена сравнительная характеристика, на основании которой был сделан вывод, что наиболее удобной из рассматриваемых программ является *G-NetTrack Pro*, однако среди ее основных недостатков называются отсутствие некоторых функций, присутствующих у конкурентов, а также несоответствие названий некоторых измеряемых параметров спецификациям консорциума *3GPP*, что может вызывать разночтения при пост-анализе и оценке результатов полученных измерений. На основе проведенного исследования ставится задача разработки собственного приложения, описание которого будет приведено далее.

Текущая разработка

На текущий момент разработанное программное обеспечение включает в себя два отдельных приложения, работающих в связке и позволяющих проводить как радиоизмерения, так и пост-анализ их результатов. Архитектура разработанного программного обеспечения представлена на рис. 13.

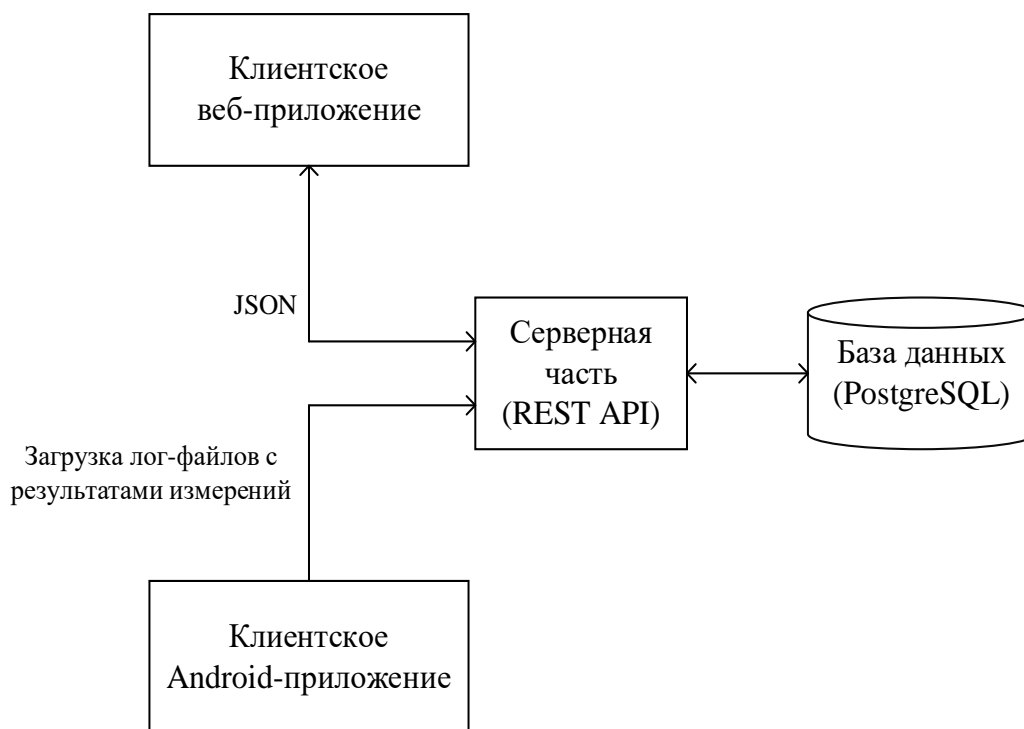


Рисунок 13

Клиентское *Android*-приложение предназначено для проведения радиоизмерений параметров сетей мобильной связи различных стандартов и разработано в среде *Android Studio* на языке *Java*, в связи с чем может быть использовано на абонентских устройствах (например смартфон или планшет).

Для каждого стандарта (поколения) мобильной связи определены свои радиопараметры. Перечень параметров, которые доступны для измерений в разработанной программе для проведения радиоизмерений, представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Стандарт	Перечень параметров, доступных для измерений
<i>GSM</i>	Оператор, коды страны и сети (<i>MCC</i> и <i>MNC</i>), идентификатор зоны и идентификатор соты (<i>LAC</i> и <i>Cell ID</i>), номер частотного канала <i>ARFCN</i> , код идентификации базовой станции <i>BSIC</i> , уровень принимаемого сигнала <i>RSSI</i> , коэффициент битовой ошибки <i>BER</i> , координаты местоположения.
<i>UMTS</i>	Оператор, коды страны и сети (<i>MCC</i> и <i>MNC</i>), идентификатор зоны и идентификатор соты (<i>LAC</i> и <i>Cell ID</i>), номер частотного канала <i>UARFCN</i> , идентификатор контроллера радиосети <i>RNC</i> , номер скремблирующей последовательности <i>PSC</i> , уровень принимаемого пилотного сигнала <i>RSCP</i> , уровень принимаемого сигнала <i>RSSI</i> , отношение сигнал/шум, координаты местоположения.
<i>LTE</i>	Оператор, коды страны и сети (<i>MCC</i> и <i>MNC</i>), идентификатор зоны и идентификатор соты (<i>TAC</i> и <i>Cell ID</i>), физический идентификатор соты <i>PCI</i> , номер частотного канала <i>EARFCN</i> , идентификатор базовой станции <i>eNB</i> , частотный диапазон и ширина полосы, тип дуплекса, частоты восходящей и нисходящей линий связи, уровень принимаемого сигнала <i>RSSI</i> , уровень принимаемого пилотного сигнала <i>RSRP</i> , показатель качества пилотного сигнала <i>RSRQ</i> , отношение сигнал/шум, идентификатор качества канала <i>CQI</i> , координаты местоположения.

Примеры вывода представленных в табл. 1 параметров для стандартов *GSM*, *UMTS*, *LTE* представлены на рис. 14а, 14б и 14в соответственно.

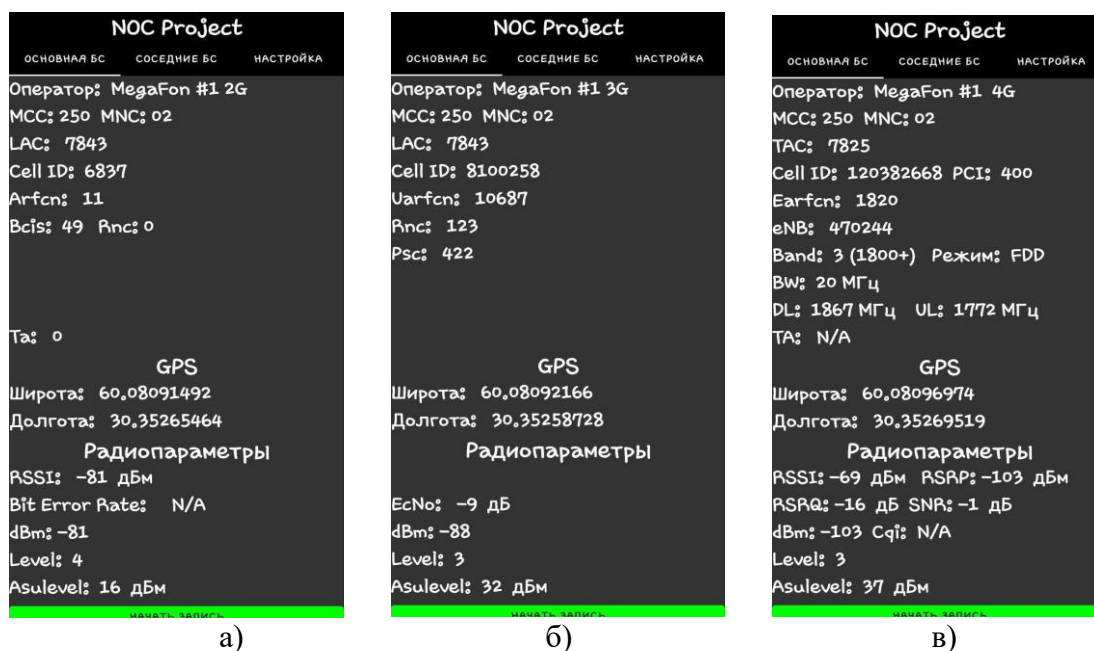


Рисунок 14

Часть приведенных в табл. 1 параметров доступна для измерения, в том числе, и от соседних базовых станций. Примеры вывода параметров соседних базовых станций для стандартов *GSM*, *UMTS*, *LTE* представлены на рис. 15а, 15б и 15в соответственно.

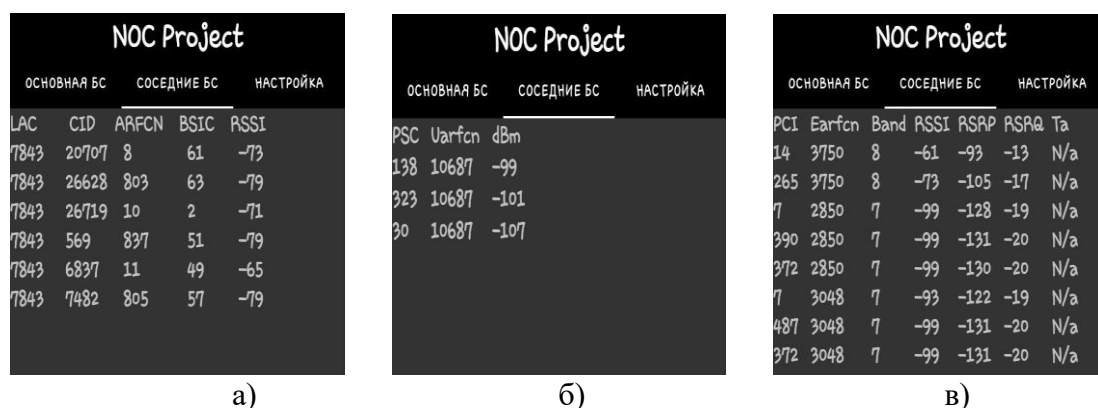


Рисунок 15

Также стоит отметить, что в приложении имеется возможность конфигурации шага проведения измерений.

Результатом работы программы является формирование лог-файла формата *CSV*, представляющего собой универсальную таблицу, включающую в себя полученные в ходе измерений параметры. Если какой-то параметр не был получен в ходе измерений, то соответствующая ячейка в таблице будет пустой. Пример сформированного лог-файла, содержащего результаты измерений параметров сети *LTE* представлен на рис. 16.

lat	log	Operator	Network	mcc	mnc	TAC/LAC	CID	eNB	Band	Earfcn	Uarfcn	Arfcn
59.902919	30.490588	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903016	30.490541	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903107	30.490471	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903192	30.490396	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903278	30.490318	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903357	30.490230	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903437	30.490149	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903521	30.490064	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903609	30.489995	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903693	30.489914	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903783	30.489847	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903870	30.489760	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	2850		
59.903896	30.489582	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903848	30.489414	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903802	30.489250	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903752	30.489083	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903689	30.488926	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		
59.903641	30.488759	MegaFon	4G	250	02	7833	20161280	787550	7	3048		

Рисунок 16

Клиентское *Android*-приложение передает лог-файлы, содержащие результаты измерений, в базу данных *PostgreSQL* через серверную часть. Серверная

часть предоставляет уже клиентскому веб-приложению информацию в формате *JSON* с использованием архитектурного стиля *REST API*, что дает возможность взаимодействовать разным клиентским устройствам с данными, хранящимися в базе данных.

Клиентское веб-приложение предназначено для получения, сохранения и визуализации измеренных параметров на карте и разработано на языках *JavaScript* и *Golang*. Параметры отображаются на карте (в соответствии с измеренными координатами) в виде меток разных цветов, что позволяет построить тепловую карту для отображения уровня принимаемого сигнала в заданной точке. Также на карте отображается местоположение обнаруженных базовых станций. В веб-приложении реализован фильтр, позволяющий отобразить результаты измерений в зависимости от интересующего стандарта мобильной связи, оператора, даты проведения измерений, а также отобразить только проверенные базовые станции (те, к которым абонентской станцией было выполнено подключение во время проведения измерений). Пример окна клиентского веб-приложения с загруженным лог-файлом, содержащим результаты измерений стандарта *LTE*, проведенных в Санкт-Петербурге, представлен на рис. 17.

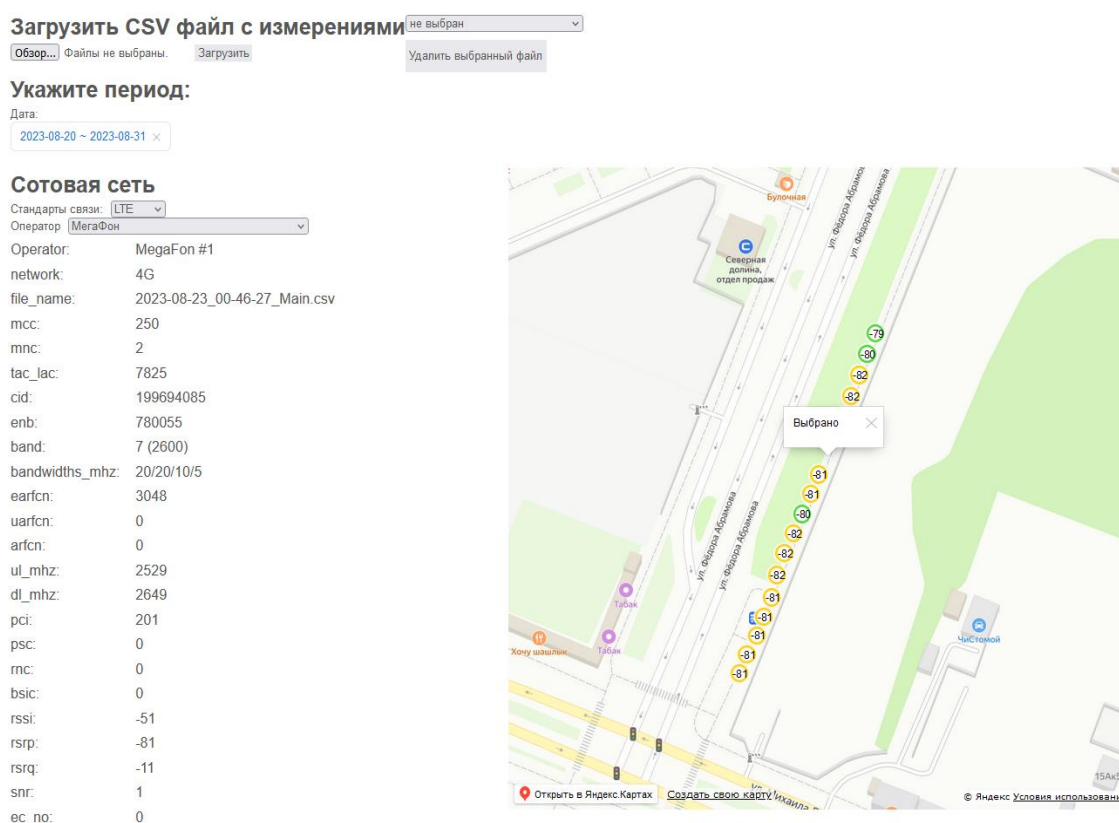
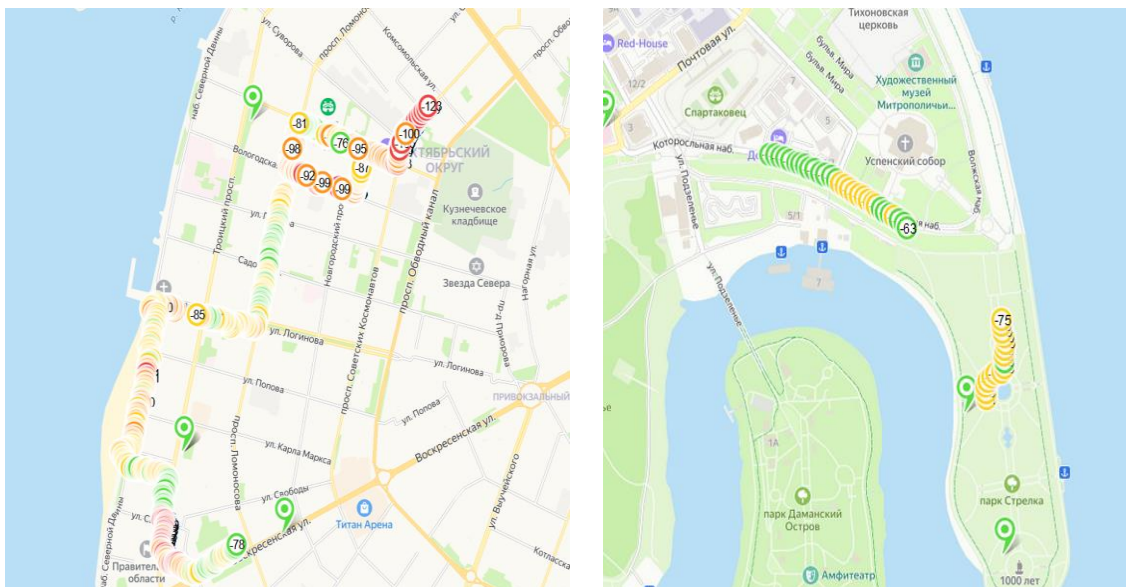


Рисунок 17

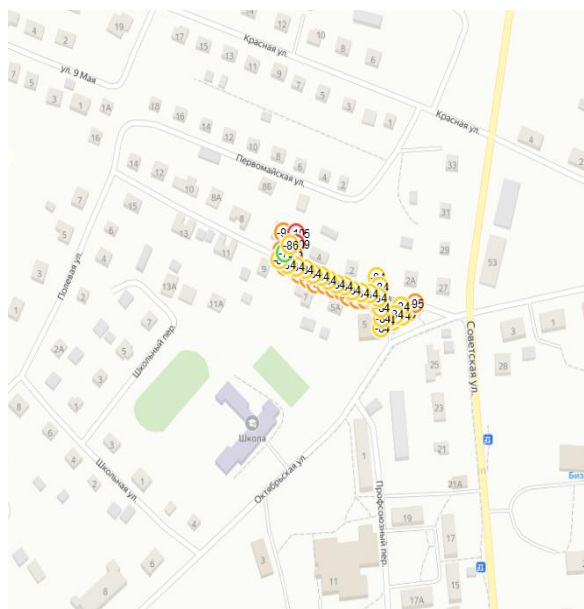
Апробация разработанного программного обеспечения

Кроме Санкт-Петербурга разработанные программы также были апробированы и в других городах – Архангельске (в рамках Арктической технологической экспедиции СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича [21]), Ярославле, Калининграде. Для примера приведены фрагменты тепловых карт уровней сигнала, построенных по результатам измерений в упомянутых городах, представленные на рис. 18а, 18б, 18в соответственно.



а)

б)



в)

Рисунок 18

На данный момент разработанная программа для проведения радиоизмерений тестировалась на 10 абонентских устройствах различных производителей, которые, в свою очередь, работают на базе различных SoC (использовались устройства, работающие на базе семейств *Qualcomm Snapdragon*, *Samsung Exynos*, *Mediatek Helio*). Был сделан вывод, что модель SoC влияет на возможность вывода ряда важных параметров (например уровня принимаемого сигнала, частотного диапазона, ширины полосы, идентификатора качества канала). Как было описано выше, в работе [20] были выдвинуты критерии для разработки собственного приложения. В табл. 2 приведена сравнительная характеристика не только с эталонным приложением *G-NetTrack*, но и с другими рассматриваемыми программами.

Таблица 2.

Критерий	Разработанная программа	<i>Cellular-Pro Play</i>	<i>CellMapper</i>	<i>G-NetTrack Pro</i>	<i>Signal Check Pro</i>
Запись лог-файла	Да	Да, но с ограничением записи в 2 минуты	Есть, но без подписи параметров	Да	Да
Доступность	Полный доступ	240\$ в год	Бесплатно	20\$	3\$
Интерфейс	Удобно	Удобно	Удобно	Не удобно	Не удобно
Необходимые параметры, для проведения анализа	Есть все нужные параметры	Есть все нужные параметры, но из-за ограниченной версии, нельзя записать все	Нет названия у параметров	Есть нужны перечень, но названия не соответствуют <i>3GPP</i>	Неполный перечень
Запись в формате <i>kml</i>	Нет	Да, но в подписке	Нет	Да	Нет
Тепловая карта в приложении	Нет	Да, но не удобная цветовая палитра	Есть. С полной информацией о базовых станциях и секторах	Да	Нет
Проведение измерений внутри здания	Нет	Да	Нет	Да	Нет
Загрузка своей базы данных	Нет	Нет	Да	Да	Нет

Заключение

Можно сделать выводы, что ограничений по времени записи лог-файла нет и это дает возможность производить измерения в течении необходимого времени. Интерфейс разработан интуитивно понятным, без переходов в отдельное меню, что ускоряет процесс работы. Все параметры названы в соответствии со спецификациями *3GPP*, чтобы не создавать разночтения, как, к примеру это

реализовано в приложении *G-NetTrack*. Для избежания создания многочисленных файлов не формируются лог-файлы формата *kml*. В разрабатываемой программе *CVS*-файл универсальный и его можно обработать как в программах для работы с электронными таблицами, так и в клиент-серверном приложении для дальнейшей пост-обработки. Приложение разработано и оптимизировано под большую часть абонентских устройств. Также главным преимуществом приложения является наличие исходного кода для внесения изменений, так как существует проблема удаления приложений с торговых площадок на территории Российской Федерации. На текущий момент продолжается работа над описанной разработкой. Программа тестируется и отлаживается для еще большего числа абонентских устройств, построенных на базе *SoC*, имеющих различные модемы. Ожидается получение свидетельств о регистрации программ для ЭВМ для их текущих версий. Ведется работа по реализации возможностей оценки качества услуг с точки зрения абонента – голосовых вызовов (например, разборчивости речи), передачи СМС-сообщений и данных (например, времени и скорости передачи данных).

Кроме того, текущую разработку планируется параллельно развивать и в виде другого макета – на основе микроконтроллера и внешних модемов. Таким образом, можно использовать модемы, поддерживающие иные стандарты радиосвязи (не только мобильной), например, *LoRa*, *Wi-Fi*, *TETRA* и т.д.

Работа выполнена в рамках прикладных научных исследований СПбГУТ 2023 г., регистрационный номер 123060900012-6 в ЕГИСУ НИОКТР.

Литература

1. URL <https://www.rohde-schwarz.com> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
2. Бабаев Н.В., Симонина О.А. Методика модернизации сети транкинговой связи стандарта TETRA // Труды учебных заведений связи, 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 36-43.
3. Nata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services // IEEE transactions on Vehicular Technology, 1980. – Т. 29. – № 3. – С. 317-325.
4. URL <https://www.keysight.com> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
5. URL https://redbees.ru/nb-iot_tester (дата обращения – сентябрь 2023 г.).
6. Прасолов А.А., Рощинский Р.С., Федоров А.С. Оценка качества радиопокрытия сети NB-IoT на территории Санкт-Петербурга // Экономика и качество систем связи, 2022. – № 4. – С. 32-39.
7. Прасолов А.А., Рощинский Р.С., Федоров А.С. Оценка качества радиопокрытия сети NB-IoT внутри зданий на территории Санкт-Петербурга // Экономика и качество систем связи, 2023. – № 1. – С. 34-41.
8. Самойленко Б.И., Вичугов В.Н., Вичугова А.А. Мобильная визуализация данных об электромагнитном излучении беспроводных сетей // Известия Томского политехнического университета, 2015. – Т. 326. – № 5. – С. 121-130.
9. Румянцев Д.Ю., Андреев Р.А., Мышьянов С.В. Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения измерений параметров сети мобильной связи на базе Raspberry Pi // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 4. – С. 61-68.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019666739 Российская Федерация. Измеритель параметров мобильной связи стандарта GSM: № 2019665939: заявл. 05.12.2019: опубл. 13.12.2019 / Румянцев Д.Ю., Андреев Р.А., Прасолов А.А., Бабаев Н.В., Мошков В.В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).

11. Мошков В.В., Андреев Р.А., Прасолов А.А. Разработка программно-аппаратного комплекса для проведения измерений параметров сети мобильной связи на базе Arduino Mega // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 4. – С. 53-61.
12. Бабаев Н.В., Румянцев Д.Ю. Разработка устройства для проведения измерений параметров сигнала сети LTE // Экономика и качество систем связи, 2020. – № 3. – С. 23-32.
13. Бабанов И.А., Прасолов А.А., Федоров А.С. Разработка многоцелевого тестера мобильной связи // International journal of Professional Science, 2020. – № 12. – С. 89-99.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020666793 Российская Федерация. Многоцелевой тестер мобильной связи: № 2020666162: заявл. 04.12.2020: опубл. 16.12.2020 / Андреев Р.А., Бабанов И.А., Прасолов А.А., Румянцев Д.Ю., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020667467 Российская Федерация. Многоцелевой тестер мобильной связи - серверная часть: № 2020666180: заявл. 04.12.2020: опубл. 23.12.2020 / Андреев Р.А., Бабанов И.А., Прасолов А.А., Румянцев Д.Ю., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).
16. Андреев Р.А., Дмитренко Н.А., Федоров А.С. Разработка программного обеспечения для оценки качества мобильной сети // Экономика и качество систем связи, 2021. – № 4. – С. 21-35.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614191 Российская Федерация. Кроссплатформенное программное обеспечение для оценки качества мобильной сети – клиентская часть: № 2022612912: заявл. 03.03.2022: опубл. 17.03.2022 / Андреев Р.А., Дмитренко Н.А., Прасолов А.А., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614192 Российская Федерация. Кроссплатформенное программное обеспечение для оценки качества мобильной сети - серверная часть: № 2022612915: заявл. 03.03.2022: опубл. 17.03.2022 / Андреев Р.А., Дмитренко Н.А., Прасолов А.А., Федоров А.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ).
19. Прасолов А.А., Рошинский Р.С., Федоров А.С. Исследование подхода к построению блока-радиоизмерителя на примере стандарта Wi-Fi // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023) : Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т., Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. – С. 443-448. – EDN IJZFRA.

20. Прасолов А.А., Рошинский Р.С., Федоров А.С. Обзор программного обеспечения абонентских устройств для сбора первичных данных сетей сотовой связи // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2023): Сборник научных статей XII Международной научно-технической и научно-методической конференции: в 4 т., Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. – С. 448-453. – EDN LCEFIX.
21. URL <https://www.sut.ru/bonchnews/science/08-09-2023-spbgut-dal-start-novoy-arkticheskoy-ekspedicii> (дата обращения – сентябрь 2023 г.).