

УДК 004.728.3: 621.396.2

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ АБОНЕНТСКОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В СЕТЯХ 5G НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЛАЙСИНГА

Р. В. Ахпашев, Д. В. Завьялова

*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
г. Новосибирск, ruslan.akhpashev@gmail.com, da2215@mail.ru*

Для оценки качества радиопокрытия изначально использовалось громоздкое оборудование, которое позволяло довольно точно определить «дыры» в радиопокрытии. В настоящее время появились смартфоны, которые обладают производительностью компьютеров прошлого десятилетия и способны проводить автоматизированный сбор данных о сетях мобильной связи, в том числе о сетях следующего поколения и сетях 5G с разделением ресурсов сети путем слайсирования. В рамках исследования авторы разработали мобильное приложение на базе ОС Android, которое позволяет получать данные о качестве и уровне принятого сигнала с базовой станции. Данные привязаны к координатам GPS, что позволяет более точно определить слабые места в радиопокрытии мобильной сети. Авторы также провели анализ и оптимизацию энергоэффективности приложения, которая основана на балансе между частотой сбора и отправки данных на сервер и количеством активных абонентов в сети.

Ключевые слова: драйв-тест, LTE, 5G, оптимизация, слайсинг.

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF USER EQUIPMENT WORKING IN 5G NETWORKS BASED ON SLICING MODEL

R. V. Akhpashev, D. V. Zavyalova

*Siberian State University of Telecommunications and Information Science, Novosibirsk
ruslan.akhpashev@gmail.com, da2215@mail.ru*

Initially, heavy equipment was used, which allowed highly accurate determination of “holes” inside a network, to assess the quality of radio coverage. Nowadays a smartphone has a computer performance and could be used for the purposes of checking the quality and power of a received signal from the mobile network, especially for the future 5G network based on slicing technique. The authors of the article developed an application for Android smartphones that could get the measurement data from the base station. The connection to the GPS allows determining more accurately the weak points in the coverage of the mobile network. Authors analyze and optimize the energy performance of the application based on a balance between the frequency of collecting and sending data to the server and the number of active users.

Keywords: drive-test, LTE, 5G, optimization, slicing.

Введение. 5G (официальное название IMT-2020) – это технология мобильной связи 5-го поколения. В данный момент активно разрабатываются стандарты сети 5-го поколения. Запуск первой коммерческой сети 5-го поколения планируется на 2020 год [1]. Предоставление услуг (сервисов) будет производиться путем слайсирования ресурсов, т. е. сервисы будут разделяться с помощью виртуализации на различные слайсы. Данная технология базируется на трех услугах, предоставляемых операторами: сверхширокополосной мобильной связи, массовых межмашинной связи и сверхнадежной межмашинной связи. Большую роль в бесперывной работе сети играют анализ и оценка качества радиопокрытия уже работающей сети. Операторы мобильной связи вынуждены проводить драйв-тесты, показывающие реальную ситуацию на уровне радиодоступа. Изначально драйв-тесты проводились с использованием громоздкого оборудования, которое могло помещаться только в автомобиль. В связи с этим операторы имели возможность получать данные о качестве радиопокрытия только по определенным маршрутам. В настоящее время, с приходом эры смартфонов, способных

на выполнение миллиардов операций в секунду, операторы могут получать данные о радиопокрытии непосредственно в тех местах, где находятся пользователи. Мобильное приложение, установленное на смартфон, позволяет собирать данные о качестве и мощности принятого радиосигнала, при этом сопоставляя данные с координатами местоположения абонента. Авторы данной статьи разработали мобильное приложение на базе ОС Android, позволяющее производить сбор статистической информации о сетях мобильной связи (2G, 3G, 4G и в будущем 5G) и отправлять данные на сервер для дальнейшей обработки. В результате оператор получит возможность отслеживания качества радиопокрытия сети в реальном времени. Основными типами данных являются: идентификатор сети, базовой станции; качество и мощность принимаемого радиосигнала; GPS-координаты абонентского устройства и др. Одной из основных проблем по сбору данных является ограниченная емкость батареи абонентского устройства. Важной задачей является снижение энергозатрат на данное приложение, так как явной пользы для абонента оно не несет.

Изучению вопросов минимизации драйв-тестов и анализу радиопокрытия сети посвящено множество публикаций [2–3]. В статье [2] авторы разработали методологию симуляции виртуальных драйв-тестов (Virtual Drive Test) для машино-инфраструктурного взаимодействия в сети LTE-Advanced. Авторы работы [3] показывают сравнительный анализ использования TESM (Test Mobile System) для сетей LTE и 3G. Они проводят драйв-тест с использованием мобильных устройств в виде драйв-тест оборудования. Драйв-тесты выполнены для сетей 3-го поколения и сетей LTE внутри помещения и снаружи, путем анализа влияния мобильности на среднюю пропускную способность абонента и мощность принятого радиосигнала (RSSI).

Перечисленные работы представляют собой далеко не полный список публикаций, посвященных обозначенной тематике, что, безусловно, свидетельствует о ее актуальности. Однако по-прежнему отсутствуют результаты имитационного моделирования по эффективному сбору данных о радиопокрытии мобильных сетей с абонентских устройств, которое позволяет получать результаты драйв-тестов в реальном времени и в дальнейшем принимать решения по оптимизации сети. Данный подход применим к мобильным сетям, начиная с 2G заканчивая последним поколением технологии, в данном случае 5G с моделью разделения ресурса путем слайсирования. В рамках данной статьи авторами была предпринята попытка оптимизации энергоэффективности мобильного устройства в виде драйв-тест оборудования, которая позволяет сократить расход батареи в зависимости от текущего количества активных абонентов в сети. Имитационная модель была разработана с помощью языка высокого уровня Python 3.6

Принципы разделения ресурсов в 5G

На рис. 1 показана классификация основных типов услуг, предоставляемых сетью 5G. В рамках исследования данные услуги будут рассматриваться как одна, так как в данный момент организацией 3GPP еще не утверждены детали оценки качества и мощности принятого радиосигнала для различных сервисов.



Рис. 1. Классификация услуг сетей 5-го поколения

Сверхширокополосная мобильная связь (Extreme Mobile Broadband, eMBB) – реализация ультраширокополосной связи с целью передачи данных со скоростью около 20-ти ГБ/с. Данные требования могут быть выполнены при условии использования миллиметрового частотного диапазона (20 ГГц – 52 ГГц). Массовая межмашинная связь (Massive Machine Type Communication, mMTC) – поддержка Интернета вещей (Internet of Things, IoT). Требованиями к реализации данной услуги являются: поддержка около 1 млн устройств на км², поддержка одной сотой до 50-ти тыс. устройств, обеспечение работы устройства на одном заряде батареи до 10-ти лет, цена одного устройства около 2 \$. Сверхнадежная межмашинная связь (Ultra-reliable MTC, uMTC) – обеспечение особого класса услуг с низкими задержками. Данный сервис предоставит возможность сокращения задержек на радиоуровне до 1 мс. На рис. 2 показана принципиальная схема разделение ресурсов для различных услуг путем слайсирования ресурсов (предоставление доступа путем виртуализации ресурсов).

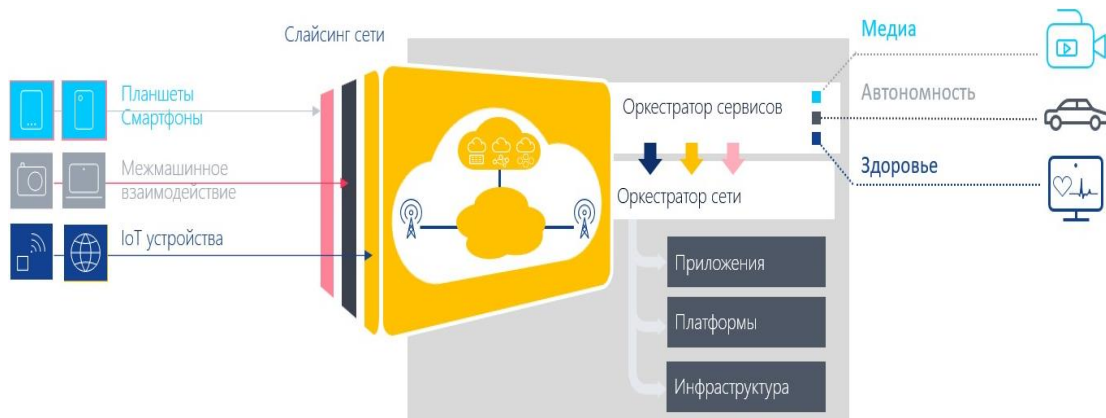


Рис. 2. Слайсинг сети 5G

Согласно спецификации 3GPP [4], измерения на физическом уровне для каждого типа сервиса (слайса) будут производиться по аналогии с сетью LTE. Спецификации 5-го поколения первой фазы определяют технологию множественного доступа на физическом уровне с помощью ортогонального разделения частот (OFDMA) [1]. На данный момент разница между физическим уровнем LTE и 5G будет отличаться только варьирующимся значением частотного разнесения поднесущих (subcarrier). Данное значение для сетей LTE в большинстве равно 15 кГц между двумя соседними поднесущими, в сетях 5G определено несколько разновидностей данного параметра: 15, 30, 60, 120 и 240 кГц. Соответственно, принцип распределения ресурсов на физическом уровне останется прежним. Из этого следует, что принцип оценки качества и мощности принятых радиосигналов будет схожим с технологией LTE. На рис. 3 показано распределение пилотных сигналов для оценки качества и мощности радиосигнала.

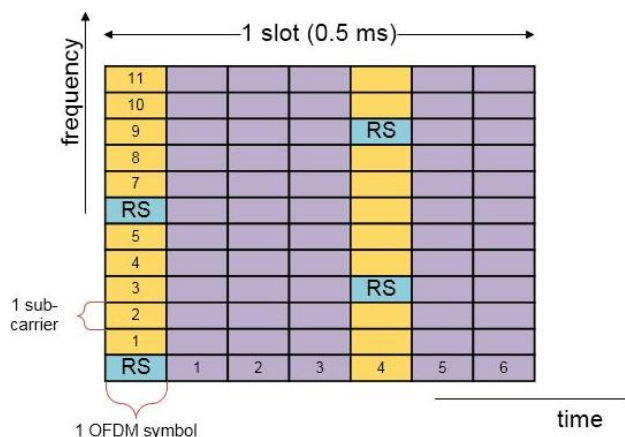


Рис. 3. Распределение пилотных сигналов для оценки качества и мощности радиосигнала сети LTE

На данном рис. ячейка RS – это пилотный сигнал, который всегда фиксирован и передается с фиксированной мощностью [5]. Благодаря данному подходу, мобильное устройство способно измерять уровень интерференции, мощность полезного сигнала на всех частотах и практически в любой момент времени.

Функциональная схема разработанного приложения показана на рис. 4. Комплекс состоит из мобильного приложения, которое дает возможность получать статистику непосредственно с абонентских устройств. Идея состоит в том, чтобы в дальнейшем анализировать данные, полученные со смартфонов, делать выводы по оптимизации радиопокрытия и визуализировать данные для более удобного анализа.

Первая часть представляет собой мобильное приложение на базе Android, которое способно собирать и отправлять информацию на сервер без вмешательства в пользовательский интерфейс, таким образом не мешая работе абонента со смартфоном. Приложение может быть установлено на множестве устройств, предоставляя возможность оптимизировать ключевые показатели эффективности, относящиеся к пользователям. Данные, которые подвержены сбору, представлены ниже:

- RSRP (Reference Signal Received Power) мощность, измеряемая в пилотном сигнале. Данная переменная необходима для выполнения всех типов мобильности устройства и для расчета потерь в радио тракте (для управления мощностью в направлении вверх) [6–8];
- RSRQ (Reference Signal Received Quality) – показывает качество принятого пилотного сигнала в сравнении со всеми остальными полученными сигналами (такими как шум, интерференция от соседних сот) [6–8];
- PCI (Physical Cell ID) – физический идентификатор соты, используется для разделения пилотных сигналов и проблем отправки отчетов об измерениях;
- GPS-координаты – показывают значения широты и долготы, также предоставляют возможность измерять время, высоту над уровнем моря и качество принятого радиосигнала.

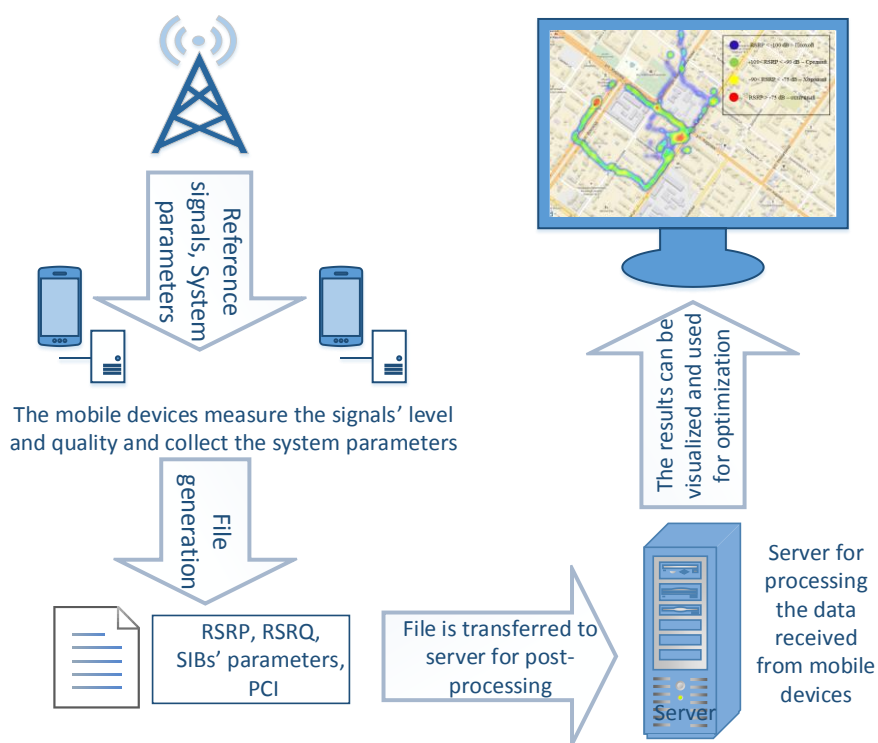


Рис. 4. Схема работы приложения по сбору статистики о качестве радиопокрытия

Важным аспектом данной работы являются анализ и оптимизация энергоэффективности данного приложения. Авторы исследования спроектировали имитационную модель и

определили зависимость частоты сбора и отправки данных с одного мобильного устройства на сервер от количества активных абонентов в сети. Существует функция, которая нуждается в оптимизации (минимизации): энергозатраты абонентского устройства на сбор и отправку данных на сервер $f_1(x, y)$, где значение параметра x – частота сбора данных; y – количество активных абонентов в сети:

$$\min(f_1[x, y]; f_2[x, y]), x \in S, y \in S, \quad (1)$$

где S – ряд ограничений.

Имитационное моделирование и численные результаты

В рамках данного исследования была разработана и реализована с помощью языка высокого уровня Python 3.6 имитационная модель работы в сетях 5G. Основными параметрами для реализации модели являются: распределение абонентов в сети, максимальное число активных абонентов в сети, энергозатраты мобильного приложения.

Абонент считается активным, когда абонентское устройство находится в режиме RRC_Connected, т. е. базовая станция знает о существовании данного абонента и имеет данные в буфере для передачи.

В ходе имитационного моделирования были сформированы следующие события:

1. Сделано упрощение в виде фиксированного значения мощности принятого радиосигнала в радиусе 5 метров от GSP-координат.
2. Поставлена задача – покрыть 95 % территории охвата базовой станции.
3. Минимальная частота сбора данных равна 1 мс.

В таблице приведены значения входных параметров, принятых для имитационного моделирования. Имитационное моделирование движения абонентов выполнялось в 21 соте – 7 трехсекторных базовых станциях, абоненты между которыми были распределены равномерно и двигались в случайных направлениях со скоростью, задаваемой в параметрах. Число абонентов в сети было принято равным 100.

Таблица

Входные параметры

Название параметра	Значение параметра
Мощность передатчика базовой станции	43 дБм
Несущая частота LTE	2100 МГц
Ширина полосы частот в режиме FDD	15 МГц
Чувствительность приемника мобильной станции UE	-110 дБм
Чувствительность приемника базовой станции eNodeB	-120 дБм
Скорость движения абонента (UE_speed)	5 км/ч
Модель распространения сигнала	COST 231 Hata
Количество сот	21
Тип БС	трехсекторная
Число абонентов	100

С помощью разработанной имитационной модели были получены графики зависимостей энергозатрат мобильного приложения для сбора и отправки данных на сервер от количества активных абонентов в сети для покрытия 95 % территории.

На рис. 5 показана зависимость энергозатрат мобильного приложения от количества активных абонентов в сети. Различные графики построены для разной частоты сбора и отправки информации на сервер.

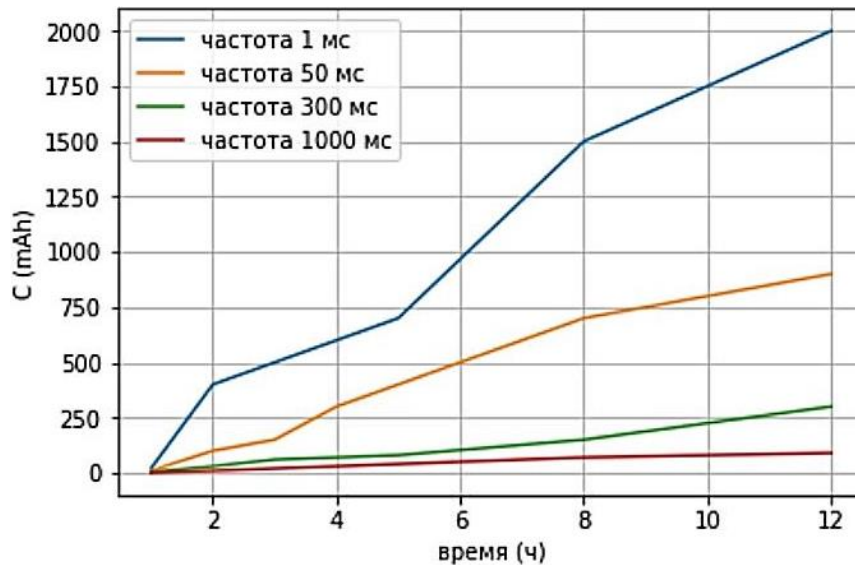


Рис. 5. Зависимость энергозатрат от времени непрерывного сбора данных

Очевидно насколько сильно влияние величины частоты сбора и отправки данных на энергопотребление. В данной работе тестировалось устройство на базе ОС Android Nexus 5, все данные по энергозатратам получены эмпирическим путем. Важно отметить, что энергопотребление зависит от написанного мобильного приложения и может отличаться в зависимости от кода программы.

На рис. 6 показана зависимость процента покрытия территории базовых станций абонентами от количества активных абонентов на соте. Данные были собраны за период времени в 1 ч.

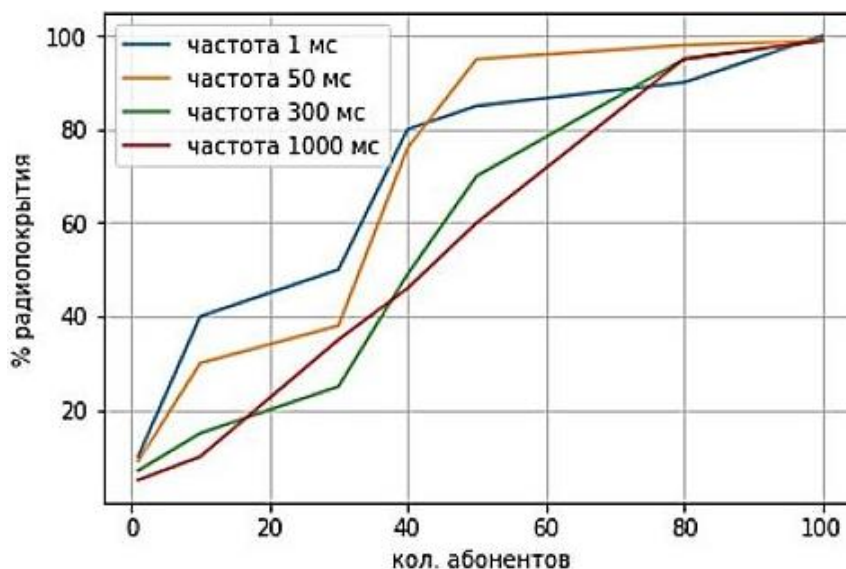


Рис. 6. Зависимость процента зависимости абонентами территории зоны обслуживания базовыми станциями от количества активных абонентов в сети

Из рисунка видно, что за 1 ч сбора данных разница между частотой сбора и отправки данных на сервер в 1 мс практически не имеет преимуществ от частоты сбора данных в 1 000 мс, но энергозатраты существенно уменьшаются. Таким образом, отпадает необходимость слишком частого сбора данных об уровне и качестве принятого радиосигнала. В результате минимум энергозатрат соответствует значению частоты сбора данных в 1 000 мс.

Заключение. В рамках исследования была разработана имитационная модель, позволяющая анализировать и находить оптимум энергоэффективности мобильного приложения на базе ОС Android, способного производить сбор и отправку данных на сервер с определенной периодичностью. Результаты данной работы могут быть полезны операторам и вендорам мобильной связи для минимизации энергозатрат при драйв-тестах, в которых используются абонентские устройства.

Литература

1. Sesia S., Toufik I., Baker M. LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. 2nd ed. A John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 2011. 794 p.
2. Cao J., Kong D., Charitos M., Berkovsky D., Goulanos A. A. et al. Design and Verification of a Virtual Drive Test Methodology for Vehicular LTE-A Applications // IEEE Transactions on Vehicular Technology. May 2018. Vol. 67, № 5. P. 3791–3799.
3. Ahmad S., Musleh S., Nordin R. The Gap between Expectation and Reality: Long-Term Evolution (LTE) and Third Generation (3G) Network Performance in Campus with Test Mobile System (TEMS) // Conference: 2015 9th Asia Modelling Symposium (AMS). 2015. P. 164–168.
4. 3GPP TS38.215 v. 15.3.0, New Radio; Physical Layer Measurements, Release 15. ETSI. France, 2018. 18 p.
5. RAN WG1 TS 25.225 v.3.0.0 (1999-10) Physical Layer – Measurements (TDD), source: RAN #5. URL: <http://www.3gpp.org/dynareport/25225.htm> (дата обращения: 20.11.2018).
6. Hamalainen S., Sanneck H., Sartori C. LTE Self-Organising Networks (SON): Network Management Automation for Operational Efficiency. Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2011. 428 p.
7. Specification 37.320. Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description. Release 10. URL: <http://www.3gpp.org/DynaReport/37320.htm> (дата обращения: 15.11.2018).
8. Lee V. LTE and Evolution to 4G Wireless, design and measurement challenges, 2nd edition. Chichester, John Wiley & Sons, April 2013. 648 p.