

SuperCell: достижение новых высот для расширения возможностей подключения к Интернету

Алексей Лезинов, руководитель направления ВЧ-СВЧ АО «ЮЕ-Интернейшл» (yeint.ru)

В статье представлены результаты тестирования и анализа SuperCell от Facebook Connectivity. Исследование поможет и послужит ориентиром для специалистов телекоммуникационной отрасли. Это позволит вывести технологию Facebook на рынок и расширить покрытие мобильной связи в сельских районах с помощью надёжного и экономичного способа.

Вступление

Для расширения возможностей подключения к Сети по всему миру компания Facebook Connectivity разработала SuperCell – решение, с помощью которого предполагается увеличить зону покрытия мобильной связи в сельских районах.

Во многих отдалённых районах по всему миру мобильная связь – единственный вариант подключения к Интернету. При этом значительная часть сельских поселений по-прежнему не имеет доступа к мобильному Интернету, потому что традиционные базовые станции (macrocell), которые обычно используются для обеспечения мобильной связи в городских районах, просто экономически невыгодны для удалённых мест в странах с низким уровнем доходов населения. SuperCell спроектирован как экономичная и надёжная альтернатива традиционным macrocell, а также для лучшего удовлетворения потребности в связи пользователей сельской местности.

Пробел в покрытии

По данным GSMA, 600 млн человек во всём мире живут за пределами территорий, охваченных сетями мобильного широкополосного доступа. Этот пробел в охвате особенно характерен для сельских и отдалённых районов, таких как страны Африки к югу от Сахары, где проживает 67% неохваченного населения мира. Количество подключённых к Интернету людей растёт из года в год. По факту подключены к Сети около 40% живущих в странах с уровнем доходов ниже среднего. При этом в странах с более высоким уровнем доходов цифра колеблется в районе 75%. По оценкам GSMA, если теку-

щие тенденции сохранятся, более 40% населения в странах с доходами ниже среднего к 2025 году всё ещё не будут подключены к Интернету.

Операторы мобильных сетей (MNO) сталкиваются со множеством проблем, когда дело доходит до сокращения разрыва в покрытии. Сельские районы обычно приносят низкий средний доход на пользователя (ARPU). Это даёт меньше поводов для развития сетей и ещё меньше шансов на получение прибыли в этих регионах. Как правило, эти регионы незначительно заселены и имеют пересечённую топографию. При этом отсутствуют рентабельная транспортная сеть и электричество, что затрудняет расширение покрытия мобильной связи.

Что такое SuperCell?

SuperCell – это решение для покрытия сетью большой площади. В SuperCell используются башни высотой до 250 м и узконаправленные антенны с высоким коэффициентом усиления для увеличения дальности и ёмкости покрытия мобильной передачи данных. Полевые измерения показали, что базовая станция SuperCell с 36 секторами, установленная на 250-метровой башне, может обслуживать географическую зону покрытия, в 65 раз большую, чем стандартная трёхсекторная сельская базовая станция на 30-метровой башне при той же топографии. В Нигерии был проведён анализ открытых регионов с использованием общедоступных данных о плотности населения. В сочетании с данными инструментов расширенного планирования сети Facebook Connectivity было определено, что одна SuperCell может заменить от 15 до 25 традиционных

башенных macrocell или сотни базовых станций формата small cell.

Учитывая это, стоимость развёртывания сети SuperCell окажется на 33% ниже по сравнению с сетью традиционных базовых станций формата macrocell. В Африке имеются проблемы с зоной покрытия, топографией и инфраструктурой. Считается, что в регионе к югу от Сахары SuperCell может оказать значительное влияние.

Чем SuperCell отличается от других решений?

Представители телекоммуникационной отрасли разработали несколько инновационных технологий и бизнес-моделей для устранения проблем в покрытии сетью сельских районов. Существуют недорогие решения для небольших базовых станций, которые через спутниковый канал могут обеспечить покрытие населённых пунктов в радиусе от 500 м до 1 км. Появились решения для обеспечения покрытия сотовой связью большой площади с использованием привязных и стратосферных аэростатов. Созданы модульные решения для транзитных радиорелейных сетей в нелицензированных диапазонах, группировки спутников для обеспечения повсеместного покрытия на низкой и средней околоземных орбитах (LEO и MEO соответственно). В таблице приводится краткое изложение некоторых плюсов и минусов различных решений, включая SuperCell.

Разработка и тестирование SuperCell

Тестирование распространения сигнала

Внутренняя зона покрытия SuperCell обусловлена большой высотой башни и использованием антенн с высоким коэффициентом усиления. Удвоение высоты базовой станции приводит к улучшению сигнала на 6 дБ. Таким образом, использование 240-метровой башни даёт улучшение уровня сигнала примерно на 18 дБ.



ПАТРОНАЖ ТПП РФ

21-24

СЕНТЯБРЯ 2021

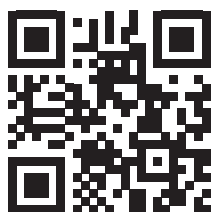
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

Radelexpo

XXI МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА РАДИОЭЛЕКТРОНИКА & ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

- ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ
- ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ДРУГИЕ НОСИТЕЛИ СХЕМ
- СВЕТОДИОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
- РОБОТОТЕХНИКА
- КОНСТРУКТИВЫ
- МАТЕРИАЛЫ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ
- КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



Реклама

radelexpo.ru

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ:



FarEXPO
PROFESSIONAL EXHIBITION & CONGRESS ORGANIZER



(812) 718-35-37

Плюсы и минусы различных решений для связи

Решение	Транспортная сеть: спутниковая или широкополосная	Плюсы	Минусы
Недорогие небольшие базовые станции с транспортом через спутниковый канал и электропитанием от солнечной энергии	Спутниковая или широкополосная	<ul style="list-style-type: none"> ● Затраты на одну станцию очень маленькие; ● станция может быть легко перемещена на новое место 	<ul style="list-style-type: none"> ● Высокие затраты на обслуживание спутниковых каналов, из-за чего высокая стоимость услуги для населения
Покрытие больших территорий с использованием привязанного аэростата	Широкополосная	<ul style="list-style-type: none"> ● Замена нескольких базовых станций на одну большую имеет преимущество в стоимости; ● станция может быть легко перемещена в новую локацию; ● один спутниковый канал вместо многих 	<ul style="list-style-type: none"> ● Аэростаты необходимо спускать при ветреной погоде; ● требуется периодическое восполнение гелием; ● вес базовой станции увеличивает стоимость аэростата; ● проблема надёжности – большой регион обслуживается всего из одной нестационарной точки
Покрытие больших территорий с использованием стратосферного аэростата	Широкополосная	<ul style="list-style-type: none"> ● Не требуется инфраструктура на земле – покупка земли, землеотвод и т.п. для каждой станции; ● расположение под углом, более близким к прямому, позволяет сигналу эффективнее преодолевать растительность 	<ul style="list-style-type: none"> ● Вес базовой станции зависит от размера баллона; ● перемещение станции может привести к большим проблемам с хэндовером; ● перемещение из-за ветров на больших высотах; ● бизнес-модель недостаточно изучена
Система спутниковой связи LEO	Спутниковая	<ul style="list-style-type: none"> ● Меньшая задержка связи в сравнении с привычными системами связи с использованием геостационарных спутников; ● сеть из таких спутников может обеспечить повсеместное покрытие по всему земному шару 	<ul style="list-style-type: none"> ● Вопрос окупаемости данного решения для сельских регионов остаётся открытым; ● следящая антенна должна располагаться на земле; ● окупаемость полного набора средств для обслуживания сельских регионов может занять годы
SuperCell	Широкополосная	<ul style="list-style-type: none"> ● Замена одной станцией SuperCell многих традиционных БС более выгодна с совокупной стоимости владения (TCO); ● высокие башни и мачты – апробированное решение. Такие конструкции давно используются телевидением и связи; ● есть возможность размесить много тяжёлого оборудования на АМС; ● традиционная апробированная бизнес-модель 	<ul style="list-style-type: none"> ● Требуется квалифицированное планирование сайта. Перемещение конструкции после развёртывания невозможно; ● потенциально при сбое в единственной точке большой регион остаётся без связи; ● высокое потребление электроэнергии, но планирование операционных затрат (OpEx) проще из-за одного сайта вместо нескольких

Во всём мире диапазоны частот сотовой связи для стандартов 2G, 3G и LTE, как правило, находятся в диапазоне от 600 МГц до 2,7 ГГц. Типичные антенны базовой станции, используемые в стандартных базовых станциях macrocell, имеют усиление 18 дБи в полосе 2500 МГц.

SuperCell использует антенны, которые обеспечивают усиление до 29 дБи в том же диапазоне благодаря узкой диаграмме направленности. Такие характеристики могут обеспечить, например, антенны на линзе Люнеберга [1]. Вместе увеличение высоты расположения антенны и высокий коэффициент усиления дают преимущество распространения в 29 дБ (18 дБ – от преимущества по высоте и 11 дБ – от КУ антенны). Высота антенно-мачтовой конструкции и усиление антенны сохраняются симметрично как для uplink, так и для downlink. Предполагая, что показатель потерь на трассе равен 4, SuperCell даёт преимущество по дальности примерно в 5,3 раза.

Большая часть экономического обоснования SuperCell заключается в измерении и реальной оценке преимущества по дальности. Команда Facebook Connectivity и партнёры провели измерения распространения сигнала, исполь-



Рис. 1. Ровная сельская местность вокруг участка в Квад-Сити, штат Иллинойс (слева) и 300-метровая телебашня с оттяжками, которая использовалась для экспериментов с покрытием (справа)

зуя телерадиовещательные башни, расположенные в сельских районах США [2]. Территория вокруг Квад-Сити имеет относительно ровную местность с пахотными землями (см. рис. 1). В Меткалфе преобладает равнинная местность с густыми лиственными деревьями. Френчбург расположен на пересечённой гористой местности с пахотными землями. Были проведены измерения с передатчиками, использу-

емыми узконаправленные антенны на линзах Люнеберга, размещёнными на разных высотах на радиовещательных башнях. С помощью полученных измерений были построены модели потерь на трассе распространения для различных высот передатчиков. Эти экспериментально настроенные модели потерь на трассе распространения затем были объединены с эмпирически собранными диаграммами направленности мно-

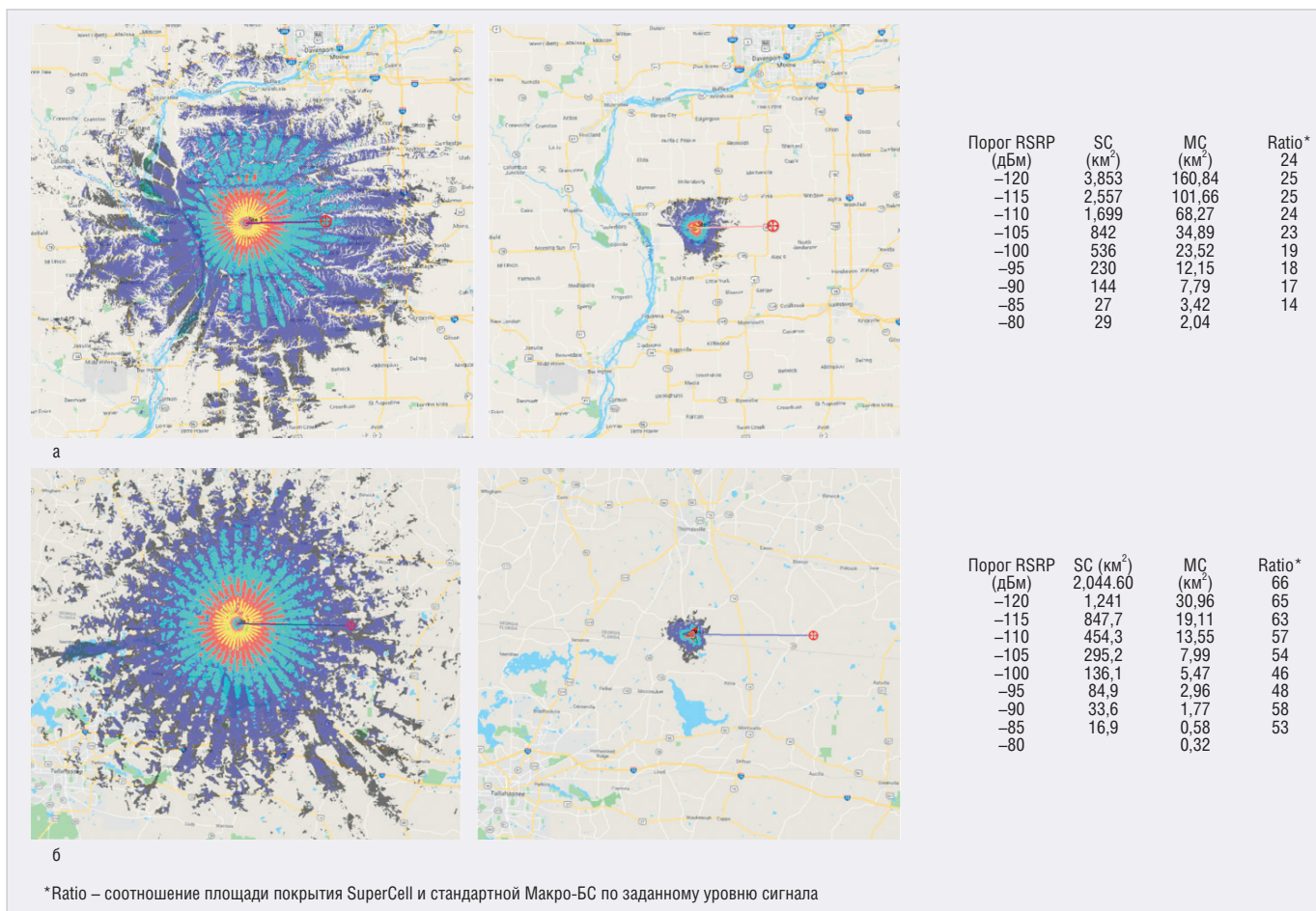


Рис. 2. Тест-драйв охвата 36-секторной SuperCell на 250-метровой башне по сравнению со стандартной трехсекторной macrocell: а) в Квад-Сити, Иллинойс; б) в Меткалфе, Джорджия

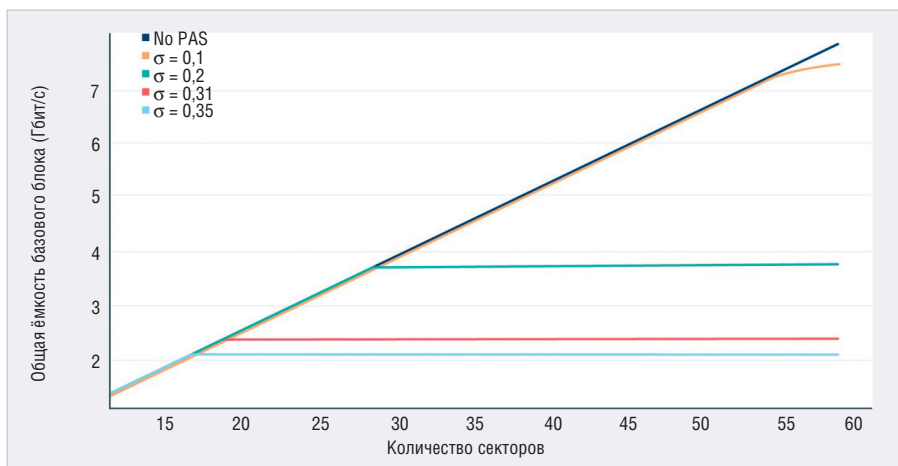


Рис. 3. Масштабирование ёмкости по отношению к числу секторов

госекторных антенн. Приведённые далее результаты демонстрируют преимущество покрытия SuperCell над стандартными macrocell базовыми станциями в областях с ровной местностью (см. рис. 2). Красный маркер на рисунках указывает точку, которая находится в 20 км от основания башен (данные карты Google).

Угловой разброс

SuperCell позволит охватывать большее количество людей, что, в свою оче-

редь, означает, что ёмкость, обслуживаемая базовой станцией, должна соответственно увеличиться. Доступный спектр часто ограничен, поэтому высокая пропускная способность зависит от спектральной эффективности области.

SuperCell использует секторизацию высокого порядка (HOS) с повторным использованием частот по секторам. Однако одна из ключевых проблем масштабирования пропускной способно-

сти с помощью HOS – это межсекторные помехи, которые могут привести к менее линейному масштабированию пропускной способности в зависимости от количества секторов. Это может быть вызвано:

1. частичным перекрытием диаграмм направленности антенны: любая физическая конструкция антенны будет иметь боковые лепестки, которые мешают соседним секторам (этот эффект помех можно учесть при планировании развёртывания);
2. многолучевое рассеяние: отражения вокруг объекта вызывают многолучевое рассеяние сигналов нисходящей и восходящей линий связи. Из-за рассеяния происходит расширение сигналов, принимаемых на антеннах базовой станции, в угловой области. Это называется угловым разбросом (angular spread).

В типичных непокрытых сельских районах застройка одноэтажная, средняя высота зданий менее 10 м. В рамках испытаний в Амарилло, штат Техас, был установлен приёмник с направленной параболической антенной на 300-метровой радиовещательной

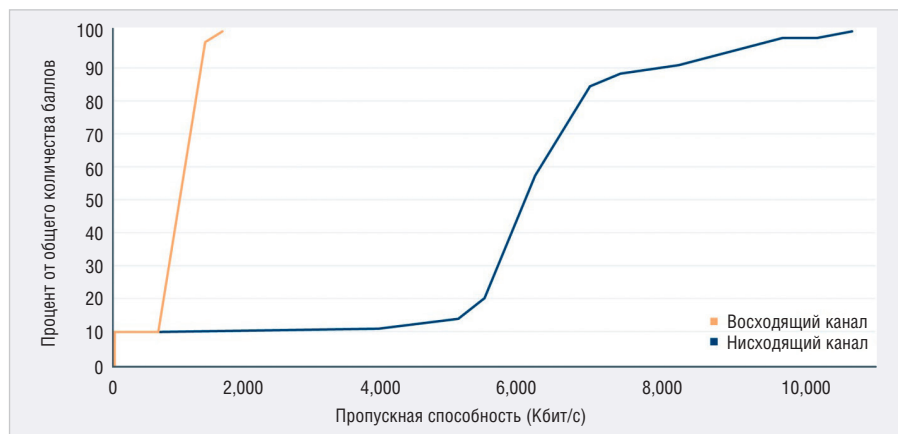


Рис. 4. Функция распределения пропускной способности восходящего и нисходящего каналов от пользовательского оборудования Samsung S7, расположенного в 40 км от базовой станции

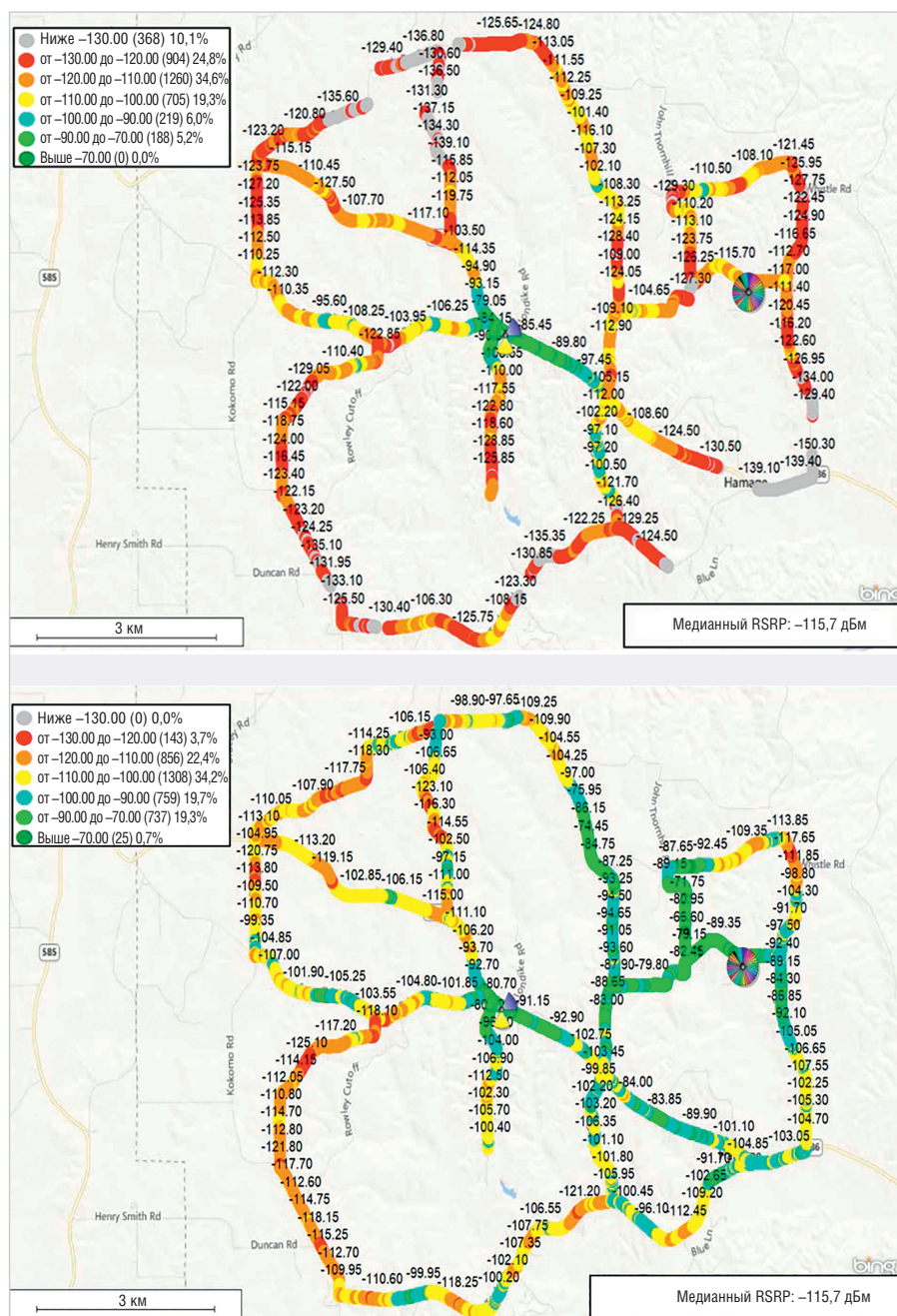


Рис. 5. Результаты драйв-теста с masocell COLT, размещённой в ближней зоне: а) распределение RSRP вокруг masocell ближней зоны, когда SuperCell был выключен; б) распределение RSRP с SuperCell и masocell, работающими в одном диапазоне (данные карты Bing)

башне. Используя запатентованный метод, был исследован угловой разброс в зависимости от высоты антенны базовой станции до 250 м и дальности до 20 км. В рамках этого теста специалисты смоделировали трассировку лучей для сельской местности вокруг испытательного полигона. Тест показал, что большая разница между средней высотой застройки и высотой базовой станции SuperCell приводит к небольшому угловому разбросу. Это, в свою очередь, позволило снизить межсекторные помехи и улучшить масштабирование пропускной способности по отношению к количеству секторов (см. рис. 3). Эксперименты, проведённые в Квад-Сити, Меткалфе и Амарилло, доказывают преимущество SuperCell перед традиционными базовыми станциями microcell по размеру покрытия и ёмкости сети.

Полевые испытания LTE

Также были проверены пропускная способность SuperCell с использованием сигналов LTE на больших расстояниях, производительность межсекторного хэндовера, качество звонков и трансляции потокового видео.

Специалисты протестировали SuperCell LTE с использованием 12-секторной антенны (имеющей 12 секторов в 120° по азимуту) фирмы Matsing в сельской местности штата Нью-Мексико. Базовая станция SuperCell была установлена на 11-метровой башне на вершине холма с видом на долину. Вертикальное разнесение между антенной базовой станции и пользовательским оборудованием составляло от 150 до 335 м в зависимости от расположения пользовательского оборудования на маршруте дорожных испытаний. Место проведения испытаний имело топологию скалистой пустыни с минимальным количеством растительности. Испытания проводились с использованием диапазона 41 LTE (2500 МГц).

Тестирование показало, что SuperCell может поддерживать двухстороннюю передачу голоса и видео на расстоянии 38 км. SuperCell продемонстрировал пропускную способность нисходящего канала 6 Мбит/с (50% перцентиль) и 7,8 Мбит/с (90% перцентиль), а также пропускную способность восходящего канала 1 Мбит/с (50% перцентиль) и 1,2 Мбит/с (90% перцентиль) для пользовательского оборудования (UE) Samsung S7 на дальности 40 км (см. рис. 4). Межсекторный хэндовер

ChipEXPO-2021

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ



14-16.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА



СКОЛКОВО



ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, включая:
 - экспозицию предприятий, являющихся изготовителями изделий, включенных в единый реестр российской радиоэлектронной продукции (Постановление Правительства РФ №878)
 - экспозицию разработок, созданных в рамках государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» (Постановление Правительства РФ №109)
 - экспозицию разработок, обеспечивающих выполнение приоритетных национальных проектов.
- Дивизионы кластера «Радиоэлектроника» ГК «Ростех»
- Стартапы в электронике
- Квалифицированные поставщики ЭКБ
- Консорциумы и дизайн-центры по электронике
- Участники конкурса «Золотой Чип»
- Корпорация развития Зеленограда

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО» Москва, 121351, ул. Ярцевская, д.4. Тел.: +7 (495) 221-50-15
E-mail: info@chipexpo.ru <http://www.chipexpo.ru>

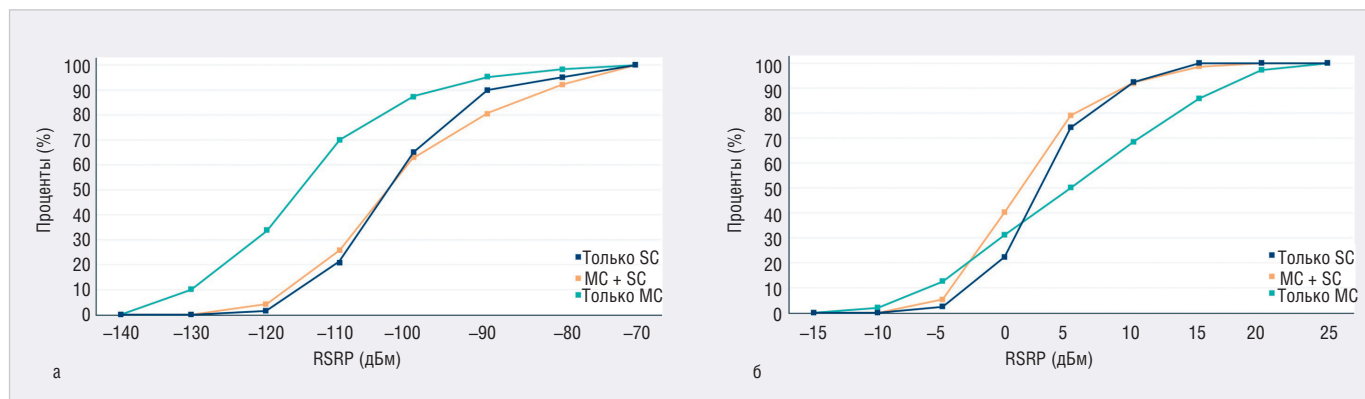


Рис. 6. Разделение доступного спектра между мешающим сектором SuperCell и дальней зоной macrocell: а) RSRP ближнего поля; б) SINR ближнего поля

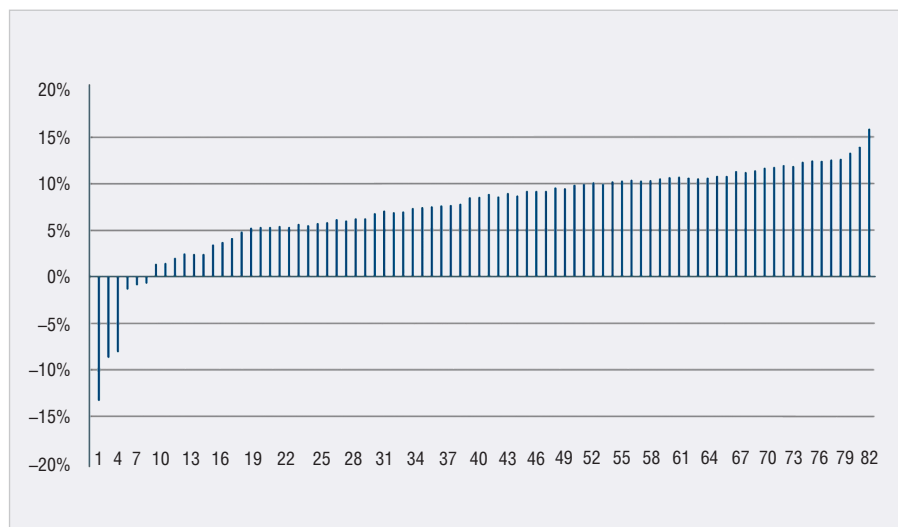


Рис. 7. Разница между IRR для 82 SuperCell и IRR для альтернативной сети macrocell

UE также работал без сбоев во время тестирования.

Тестирование помех между сотами

В сотрудничестве с American Tower Corporation (ATC) и C Spire в Нью-Мексико проводились испытания в диапазоне TD-LTE. Многие MNO в Африке используют LTE в диапазонах FDD. Для испытания в Нью-Мексико базовая станция SuperCell была установлена на небольшой башне на вершине холма с видом на долину. Идея заключалась в том, чтобы имитировать высокую башню, т.к. логистика установки массивной базовой станции SuperCell на вершине высокой башни оказалась понятна не полностью. Далее специалисты провели испытания в сообществе Фоксворт в округе Мэрион, штат Миссисипи, примерно в трёх милях к юго-западу от Колумбии, вдоль западного берега реки Пёрл.

Важной целью исследования в Фоксворте стала экспериментальная оценка помех между сотами, т.е. оценка влияния SuperCell и находящихся рядом

базовых станций macrocell. В отдалении от базовой станции SuperCell были установлены станции macrocell на шасси грузовика (COLT) в ближней (4 км), средней (10 км) и дальней (16 км) зонах.

На рисунке 5 показаны подробные результаты драйв-теста с macrocell COLT, размещённой в ближней зоне. В ближней зоне SuperCell очень хорошо обслуживает область, окружающую macrocell. Можно вывести macrocell из эксплуатации, когда SuperCell развернут. В центре зоны SuperCell может сосуществовать с macrocell и работать в том же частотном спектре. SuperCell эффективно обеспечивает дополнительную пропускную способность в области, окружающей macrocell в средней зоне, за счёт повторного использования спектра.

В дальней зоне SuperCell создаёт помехи в области, окружающей дальнюю зону macrocell, но сигнал SuperCell не является доминирующим. Пользовательское оборудование, подключённое к macrocell, может

успешно переключаться на SuperCell. Это вызывает снижение производительности для области, окружающей дальнюю зону macrocell. В этом сценарии наилучшим подходом может стать разделение доступного спектра между мешающим сектором SuperCell и дальней зоной macrocell (см. рис. 6). Аналогичные тесты были проведены для средней и дальней зон. Они доступны в подробной технической статье [3].

Какова экономическая целесообразность SuperCell?

Помимо технических испытаний концепции SuperCell, команда Facebook Connectivity провела несколько подробных экономических анализов.

Анализ в Нигерии

Как упоминалось ранее, был проанализирован потенциал SuperCell в открытых регионах Нигерии. Для этого использовались общедоступные данные о плотности населения в сочетании с информацией из инструментов расширенного сетевого планирования Facebook Connectivity.

Специалисты Facebook определили, сколько потребуется станций SuperCells и macrocell (обычных трёхсекторных на 30-метровых башнях), чтобы охватить регион. Также специалисты исследовали, как будет выглядеть покрытие, если бы 82 установки SuperCell были размещены в Нигерии.

Финансовое сравнение с использованием внутренней нормы прибыли (IRR) для оценки прибыльности потенциальных инвестиций показало, что 76 из 82 SuperCell в этом моделировании будут иметь более высокий IRR, чем эквивалентная сеть macrocell. Анализ показал, что установка SuperCell на существующих высотных башнях в Ниге-

рии может обеспечить доступ к Интернету для 16,8 млн людей. Это делает выбранную бизнес-модель прибыльной как для операторов мобильной связи, так и для компаний, владеющих антенно-мачтовыми конструкциями (см. рис. 7).

Технико-экономическая оценка в Камеруне

В рамках дальнейшего экономического анализа Facebook в партнёрстве с оператором мобильной связи (MNO) сравнил решения RAN для не покрытых сотовой связью четырёх штатов Камеруна: северного и восточного Камеруна, Адамавы и крайнего севера.

В этом технико-экономическом анализе сравнивались четыре решения сотовой связи:

- малые БС (small cell): односекторная сота со всенаправленной антенной на 10-метровой мачте;
- стандартные БС (macrocell): обычная трёхсекторная ячейка на 75-метровой башне;
- SuperCell140: шестисекторная антенна с высоким коэффициентом усиления от Radio Innovations AG на 140-метровой башне;
- SuperCell180: шестисекторная антенна с высоким коэффициентом усиления от Radio Innovations AG на 180-метровой башне.

Специалисты Facebook провели анализ потерь на пути для SuperCell с использованием данных, собранных с работающих базовых станций в Камеруне. Партнёр MNO предоставил технико-экономические данные: CapEx, OpEx, ARPU, скорость принятия и среднее потребление трафика на пользователя. Анализ был проведён независимо, с использованием инструмента Advanced Network Planning от Facebook Connectivity и программы планирования партнёра MNO.

В технико-экономическом анализе сравнивались четыре различных плана однородной сети, составленных исключительно с использованием четырёх конфигураций сотовых станций, описанных ранее. Результат анализа с точки зрения чистой приведённой стоимости (NPV) каждого плана, количества новых базовых станций и увеличивающегося охватываемого населения показан на рисунке 8.

SuperCell140 и SuperCell180 показали лучшую NPV, чем другие альтернативы

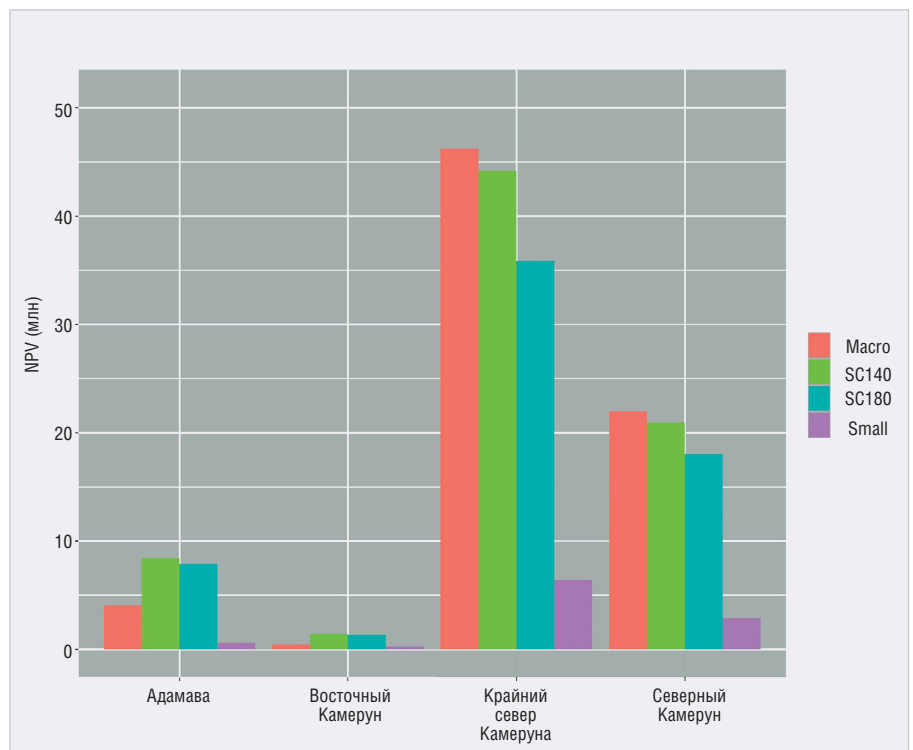


Рис. 8. Анализ чистой приведённой стоимости (NPV) каждого плана, количества новых базовых станций и увеличивающегося охватываемого населения

в штатах Адамава и Восточный Камерун. Для северного и крайнесеверного Камеруна macrocell показали более высокую чистую приведённую стоимость, SuperCell140 оказался на втором месте. С практической точки зрения, оптимальный сетевой план представляет собой гетерогенную комбинацию четырёх конфигураций сотовой связи. В будущих исследованиях это будет изучено дополнительно.

Покоряя новые высоты

После завершения партнёрских испытаний и подтверждения эффективности SuperCell разработчики готовы передать технологию более широкой аудитории специалистов телекоммуникационной отрасли.

Кроме того, в рамках проекта Telecom Infra Project (TIP) недавно были созданы группы решений для проверки сквозных открытых сетевых решений, в том числе подгруппа, специализирующаяся на решениях «Сеть как услуга» (NaaS). Facebook Connectivity предоставляет этой группе данные о технических испытаниях SuperCell и информацию о бизнес-моделях, которые можно использовать для решения проблемы отсутствия высокоскоростного доступа в Интернет в сельских и пригородных районах.

В то время как разрыв в доступности сетей связи увеличивается, потреб-

ность в подключении к Сети по всему миру возрастает. Целые сообщества подвергаются риску остаться позади, поскольку доступ к рабочим местам, образованию и таким услугам, как здравоохранение, будет всё больше зависеть от подключения к Интернету.

SuperCell может предоставить рентабельное решение для операторов мобильной связи и владельцев антенно-мачтовых сооружений, при этом обеспечив высокоскоростное и надёжное соединение для сельских сообществ.

Литература

1. Веб-сайт производителя антенн на базе линз Люнебегра. URL: <http://www.matsing.com/>.
2. Документация на антенну, использованную для тестов в сельских районах США: Квад-Сити, Иллинойс; Меткалф, Джорджия и Френчбург, Кентукки. URL: <https://matsing.com/ms-12-6db180>.
3. SuperCell: A Wide-Area Coverage Solution Using High-Gain, High-Order Sectorized Antennas on Tall Towers. URL: <https://arxiv.org/abs/2012.00161>.
4. Оригинальная статья Facebook Engineering. URL: <https://engineering.fb.com/2020/12/03/connectivity/supercell-reaching-new-heights-for-wider-connectivity/>.

