

# Пять прорывных технологий 5G.

## Часть 2. Интеллектуальные устройства и встроенная поддержка M2M

Новые направления исследований приводят к фундаментальным изменениям в дизайне будущих сотовых сетей пятого поколения (5G). Авторы рассматривают ключевые идеи для технологий, которые могут привести как к архитектурным, так и к компонентным прорывным изменениям, наряду с их потенциальным воздействием на 5G. Первая часть статьи (БТ №3'2016, с. 14) была посвящена устройство-ориентированной архитектуре, миллиметровым диапазонам волн и «большим» MIMO. Во второй части рассматриваются интеллектуальные устройства, а также встроенная поддержка M2M-коммуникаций.

**Федерико Боккарди**  
(Federico Boccardi)

**Роберт Хелт-мл.**  
(Robert W. Heath Jr.)

**Анхель Лозано**  
(Angel Lozano)

**Томас Марцетта**  
(Thomas L. Marzetta)

**Петар Поповски**  
(Petar Popovski)

Перевод: Алексей Осотов

### Интеллектуальные устройства

Предыдущие поколения систем сотовой связи были построены на основе дизайна, предполагающего полный контроль над инфраструктурой. В этом разделе мы рассмотрим некоторые из возможностей, которые могут быть высвобождены, если позволить устройствам играть более активную роль, а также то, как 5G-дизайн должен учитывать увеличение автономности устройств. Мы ориентируемся на примеры трех различных технологий, которые могут быть инкорпорированы в интеллектуальные устройства (smart device): интерфейс D2D (device-to-device, «устройство-к-устройству»), локальное кэширование и дополнительное подавление помех.

#### Интерфейс D2D

В системах обмена голосовыми сообщениями было по умолчанию принято, что два устройства смогут установить соединение, даже если они не будут находиться в непосредственной близости. В век информации эта предпосылка уже не столь актуальна, и такое положение может стать общим для ситуаций, когда несколько совмещенных устройств хотят без проводов обмениваться контентом (например, цифровыми фотографиями) или каким-то взаимодействием (например, видеоигры или социальные сети). Обработка таких сценариев общения через простое подключение через Сеть предполагает значительные недостатки на различных уровнях:

- Несколько беспроводных пересылок используются для достижения, по существу, одной требуемой пересылки. Это влечет за собой значительную трату сигнальных ресурсов, а также высокую задержку.
- Мощность передачи в 1 Вт (в восходящей линии связи, UL) и в несколько ватт (в нис-

ходящей, DL) потребляется для достижения того, на что в реальности требуется лишь несколько милливатт. Это, в свою очередь, влечет за собой ненужную разрядку батареи и вызывает помехи во всех других устройствах, занимающих те же сигнальные ресурсы, где бы то ни было.

- Учитывая, что путевые потери до возможных удаленных базовых станций (БС) намного больше, нежели при непосредственных соединениях (линках), то соответствующая эффективность использования спектра также будет ниже.

Хотя очевидно, что интерфейс D2D имеет потенциал для обработки локальных коммуникаций, но локальный высокоскоростной обмен данными также может быть обработан и с помощью других технологий радиодоступа, таких как Bluetooth или Wi-Fi. Случаи, требующие сочетания локальности и нелокальности или сочетания низкой задержки с ограничениями при высокой скорости обмена данными (например, взаимодействие между пользователями посредством дополненной реальности), могут быть более вескими причинами использования интерфейса D2D. В частности, на наш взгляд, интерфейс D2D является важным инструментом для приложений, требующих малых задержек, особенно в будущем развертывании сетей, использующих полосу (baseband) централизацию и радиовиртуализацию. В контексте малой задержки локальной связи внимание в этом разделе посвящено случаям, требующим локального взаимодействия людей (например, при видеоиграх и в дополненной реальности). Далее мы сфокусируемся на случаях, требующих локального взаимодействия между объектами, например автомобилями.

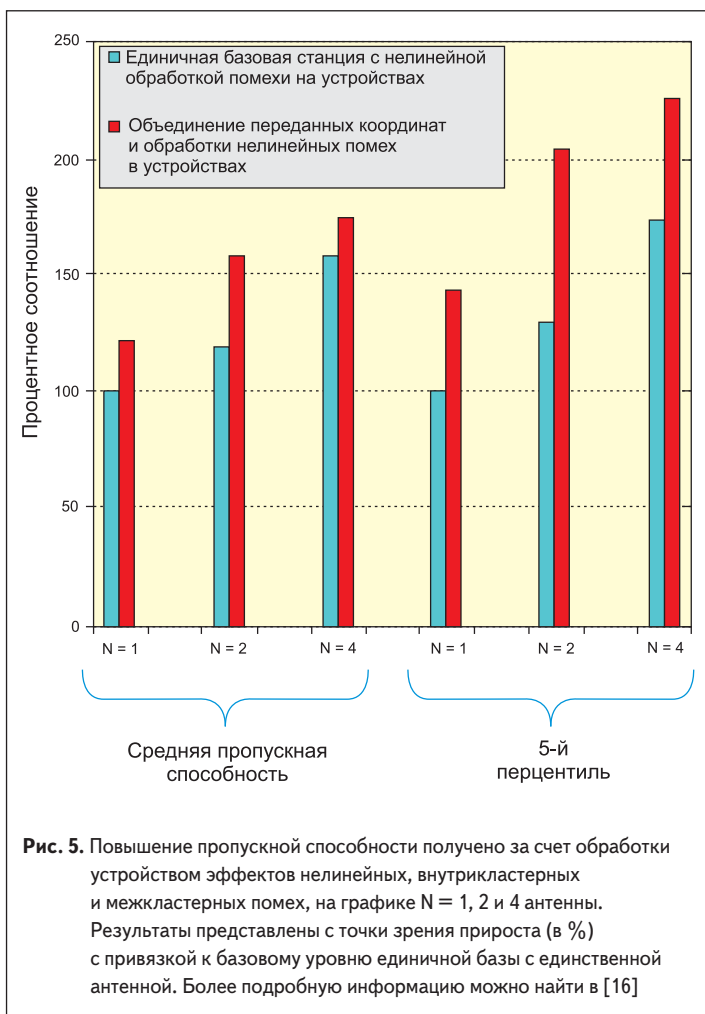
С исследовательской точки зрения, актуальными проблемами интерфейса коммуникации D2D являются:

- Количественная оценка реальных возможностей и перспектив. Как часто происходит локальная связь? Каково основное практическое применение D2D-интерфейса — быстрый локальный обмен, быстроедействующие приложения (приложения с малой задержкой) или энергосберегающие процессы?
- Интеграция режима D2D с дуплексной структурой UL/DL.
- Перспективы дизайна интерфейса D2D-устройств (как с аппаратной стороны, так и с точки зрения протокола) для обеспечения необходимой гибкости как для функций физического уровня (PHY), так и для управления доступом к среде (Media Access Control, MAC).
- Оценка истинной чистой прибыли, связанной с появлением режима D2D, учитывая возможные дополнительные издержки, необходимые для контроля и управления такими каналами.

Наконец, отметим, что, хотя D2D-интерфейс уже прорабатывается в Проекте партнерства третьего поколения (3GPP) в качестве дополнения к 4G, основным предметом текущих исследований является бесконтактное обнаружение объектов для обеспечения общественной безопасности [15]. А то, что мы здесь обсуждаем, — это аспект изначального наличия интерфейса D2D в 5G.

### Локальное кэширование

Нынешняя парадигма облачных вычислений является результатом прогрессивного изменения баланса между хранением и передачей данных: информация хранится и обрабатывается там, где это наиболее удобно и недорого, поскольку маргинальные затраты на передачу информации стали ничтожно малы, по крайней мере в проводных сетях [2]. Для беспроводных устройств, однако, эти затраты не всегда незначительны. Понимание того, что пользователи мобильных устройств подвержены спорадической обильности связи посреди участков отсутствия связи, вряд ли ново, и естественное представление о возможности воздействия обильности связи для смягчения ее отсутствия занимает специалистов



**Рис. 5.** Повышение пропускной способности получено за счет обработки устройством эффектов нелинейных, внутрикластерных и межкластерных помех, на графике N = 1, 2 и 4 антенны. Результаты представлены с точки зрения прироста (в %) с привязкой к базовому уровню единичной базы с единственной антенной. Более подробную информацию можно найти в [16]

еще с 1990-х годов [3]. Однако эта идея кэширования больших объемов данных на границе линии проводной сети сразу перед беспроводной пересылкой относится только к трафику, терпимому к задержкам, и имеет весьма мало смысла для голосовых (голосо-ориентированных) систем. Но кэширование может иметь смысл в системах передачи данных (дата-центричных системах) [4].

Размышляя о будущем, легко представить себе мобильные устройства с действительно огромным количеством памяти. В соответствии с этим предположением и учитывая, что существенная доля данных, циркулирующая вне проводов, соотносится с наиболее популярным и ныне модным аудио-, видео- и социальным содержанием, трансляция такого контента посредством одноадресной передачи оказывается абсолютно неэффективной. Однако, к сожалению, невозможно прибегнуть и к многоадресной рассылке, так как запросы являются асинхронными. Мы, следовательно, видим локальное кэширование в качестве важной альтернативы как для сети радиодоступа (например, на малых сотах), так и для мобильных устройств, и также благодаря таким инструментам, как, например, миллиметровые волны и интерфейс D2D.

### Расширенное подавление помех

В дополнение к возможностям D2D и огромным объемам памяти будущие мобильные устройства также, вероятно, будут иметь различные форм-факторы. В некоторых случаях устройство может вместить несколько антенн с последующей перспективой активного подавления помех внутри него, наряду с формированием пучка и пространственным мультиплексированием. Совместное проектирование процессов обработки передатчика и приемника, а также надлежащего контрольного и пилотного сигналов, имеет решающее значение для расширенной отсортровки помех. В качестве примера на рис. 5 показаны выигрыши, получаемые за счет включения эффектов нелинейного, а также внутри- и межкластерного информирования о помехах в устройствах с одной, двумя и четырьмя антеннами.

Мы считаем интеллектуальные устройства обладающими всеми характеристиками, необходимыми для прорыва в технологии 5G, поэтому призываем исследователей к дальнейшему изучению этого направления.

### Встроенная поддержка M2M-коммуникаций

Беспроводная связь становится таким же товаром, как электроэнергия или вода [13]. Это «отоваривание», в свою очередь, порождает большой класс новых сервисов с новыми видами требований. Мы представляем несколько таких требований и каждое иллюстрируем примером типичного сервиса.

#### Огромное количество подключенных устройств

В то время как существующие системы обычно работают, самое большее, с несколькими сотнями устройств на каждой БС, некоторые M2M-сервисы могут потребовать более 104 подключенных устройств каждый, включая, например, замеряющие устройства, датчики, компоненты интеллектуальных сетей электроснабжения и прочие рабочие инструменты, ориентированные на широкий территориальный охват.

#### Очень высокая надежность (достоверность) связи

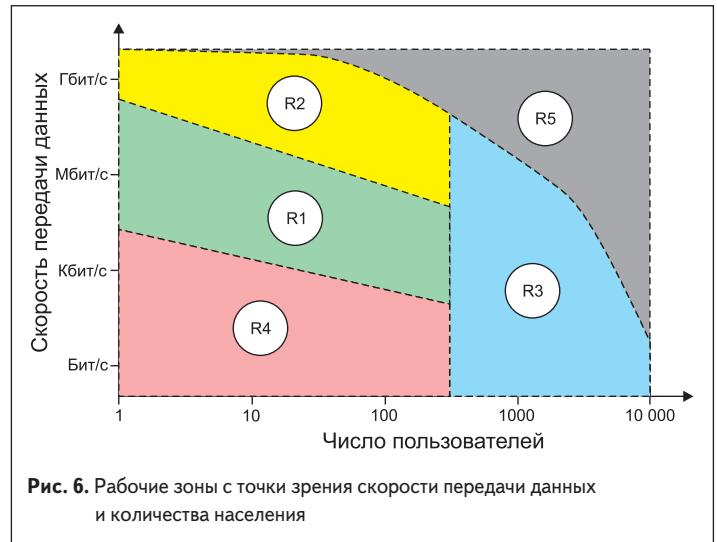
В системах, направленных на критичный контроль, безопасность или производство, преобладает кабельная связь — во многом потому, что беспроводная связь не предлагает той же степени конфиденциальности. Так как в этих системах также происходит переход от проводных к беспроводным технологиям, необходимо, чтобы беспроводная связь функционировала практически все время.

#### Малая задержка и работа в реальном времени

Здесь могут быть даже более жесткие требования, чем те, что описаны выше, так как требуется, чтобы данные надежно передавались в течение заданного интервала времени. Типичным примером являются соединения автомобиля с различными устройствами, в соответствии с которыми за счет своевременной доставки критически важных сообщений может быть повышена безопасность движения (например, оповещения и контроль управления).

Рис. 6 дает представление о перспективах требований к M2M, показывая соответствие скорости передачи данных численности населения. На рисунке отмечено, где в настоящее время уже развернуты такие системы и как расширяется их научное исследование. Зона R1 отражает рабочий диапазон современных систем с учетом того факта, что скорость передачи данных устройства уменьшается по мере увеличения населения. В свою очередь, R2 — это зона, которая отражает текущие исследования, направленные на улучшение спектральной эффективности. Наконец, R5 — зона, где работа не представляется возможной из-за фундаментальных физических и информационно-теоретических пределов. Зоны R3 и R4 соответствуют развивающимся сервисам, обсуждаемым в этом разделе:

- R3 относится к массовым M2M-коммуникациям, когда каждая подключенная машина или датчик эпизодически передают небольшие блоки данных. Существующие системы не спроектированы для одновременного обслуживания агрегированного трафика, накапливающегося от большого количества таких устройств. Например, текущая система может легко обслужить пять устройств со скоростью 2 Мбайт/с каждое, но не сможет обслужить 10 000 устройств, для каждого из которых требуется всего 1 кбайт/с.
- R4 описывает работу систем, требующих высокой надежности и/или малой задержки, но с относительно низкой средней скоростью на устройство. Для полного описания этой области необходимы дополнительные измерения, связанные с надежностью и задержкой. Существуют такие сервисы, которые одновременно порождают более одного из указанных выше требований, но общим моментом является то, что размер данных каждой отдельной пересылки невелик, всего до нескольких байт. Это глубоко изменяет парадигму коммуникации по следующим причинам:
  - Существующие методы кодирования, которые основываются на длинных кодовых словах, не применимы на очень коротких блоках данных.
  - Короткие блоки данных также усугубляют недостатки, связанные с издержками, необходимыми для контроля и управления каналом. В настоящее время уровень контроля является надежным, но неоптимальным, так как он представляет собой лишь скромную часть полезных данных; а наиболее сложный процессинг сигнала зарезервирован для передачи полезных данных. Оптимизированная конструкция должна быть нацелена на гораздо более тесную связь между данными и уровнями управления.
  - Как было сказано ранее, архитектура должна быть существенно переработана, учитывая новые типы узлов. На уровне системы подходы на основе фреймов, которые лежат в основе 4G, нуждаются в переосмыслении, чтобы удовлетворять требованиям к задержке и к гибкому выделению ресурсов для очень большого количества устройств. Исходя из приведенных рассуждений, а также в связи с архитектурой, рассмотренной ранее, и ссылаясь в последний раз на модель Хендерсона — Кларка,



мы приходим к выводу, что нативная поддержка M2M в 5G требует радикальных изменений как на уровне узла, так и на уровне архитектуры. Предстоит еще провести крупные научные изыскания, чтобы подойти к конкретным и взаимодействующим решениям, позволяющим включить M2M внутрь систем 5G.

## Заключение

В данной статье описано пять прорывных направлений исследований, которые могут привести к фундаментальным изменениям в дизайне сотовых сетей. Мы сделали упор на технологиях, которые могут привести как к архитектурным, так и компонентным изменениям конструкции: устройство-ориентированная архитектура, миллиметровые волны, «большие» MIMO, интеллектуальные устройства и встроенная поддержка M2M. Вполне вероятно, что набор этих решений станет основой 5G. ■

Оригинал статьи опубликован на сайте [http://cms.comsoc.org/SiteGen/Uploads/Public/Docs\\_TC\\_5GMWI/Five\\_Disruptive\\_Technology.pdf](http://cms.comsoc.org/SiteGen/Uploads/Public/Docs_TC_5GMWI/Five_Disruptive_Technology.pdf)

## Литература

- 3GPP TR 23.703 v.0.3.0. Study on Architecture Enhancements to Support Proximity Services (ProSe). Apr., 2013.
- P. Baracca, F. Boccardi and N. Benvenuto. A Dynamic Clustering and Resource Allocation Algorithm for Downlink CoMP Systems with Multiple Antenna UEs. <http://arxiv.org/abs/1311.5114>