NOMA - новая технология для беспроводных сетей

Принцип работы технологии NOMA

На практике мы часто убеждаемся в том, что "все гениальное - просто". Технология, о которой пойдет речь далее хорошо подходит под эту крылатую фразу. Итак, речь пойдет о технологии NOMA (англ.: Non-Orthogonal Multiple Access), которая в дословном переводе означает неортогональный множественный доступ. Как можно догадаться из названия, суть этой технологии заключается в способности обслуживать нескольких пользователей одновременно, осталось только понять, в чем заключается ее "ортогональность". Отличительной чертой NOMA является то, что обслуживание производится с использованием одних и тех же частотных и временных ресурсов. При этом используется суперпозиционное кодирование в передатчике и последовательное подавление помех (Successive Interference Cancellation - SIC) в приемнике. Сходу, конечно, сложно понять, о чем идет речь, поэтому давайте поясним принцип работы на примере, изображенном на рисунке 1.

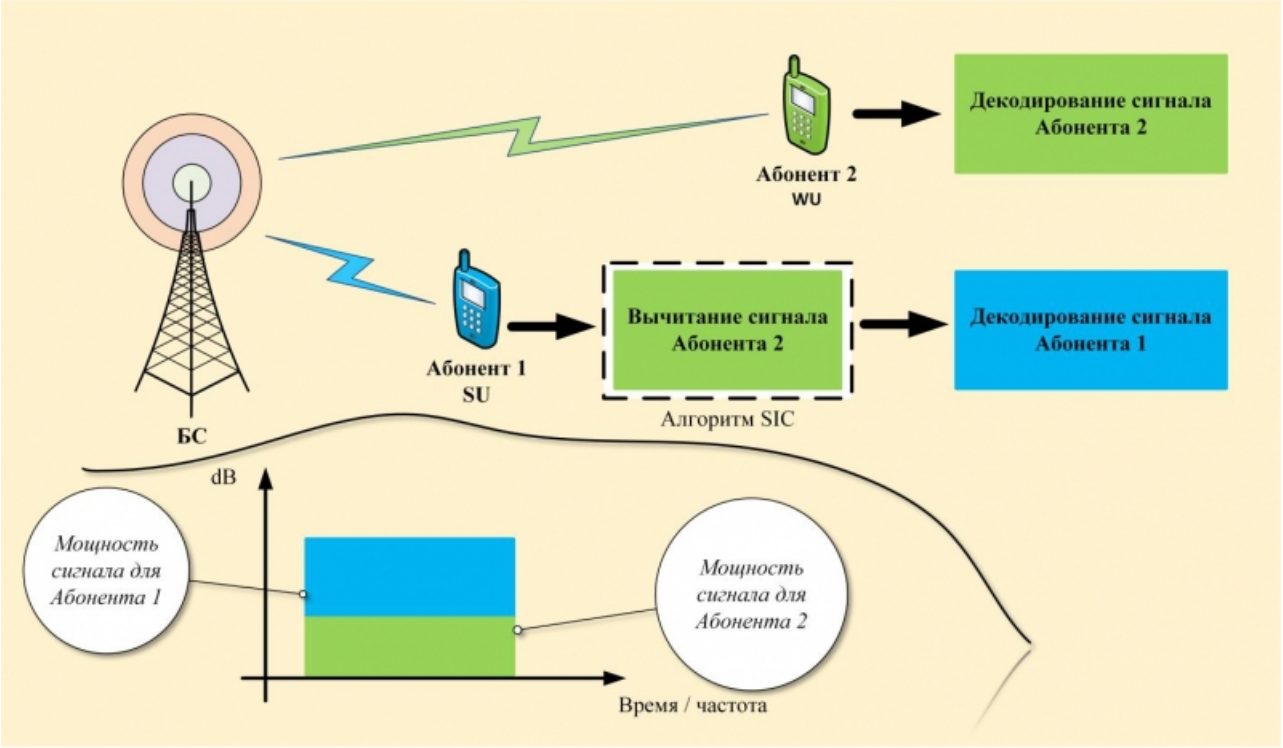


Рисунок 1 – Принцип работы NOMA в нисходящем канале

Как показано на рисунке, базовая станция (БС) отправляет наложенные друг на друга (то есть находящееся в одной частотно-временной области) сигналы двум пользователям (абонентам 1 и 2). При этом абонент 1 имеет более высокий уровень сигнала, по сравнению со вторым. В NOMA для таких пользователей с "высоким" и "низким" уровнями сигналов ввели специальное название – сильный (Strong User - SU) и слабый (Weak User - WU) пользователь соответственно. Сильный пользователь сначала вычитает сигнал слабого пользователя через систему последовательного подавления помех - SIC, а затем декодирует свой собственный сигнал. Слабый пользователь воспринимает сигнал сильного пользователя как шум и сам обнаруживает собственный сигнал без необходимости применения SIC. Так как слабый пользователь имеет худшее качество канала связи и как следствие большое количество помех, то в технологии NOMA ему предусмотрено сравнительно больше мощности в одном канале. То есть в одном пространственно-временном канале перемещаются два сигнала, один из которых для слабого пользователя имеет больший уровень (до 70%), рисунок 2.

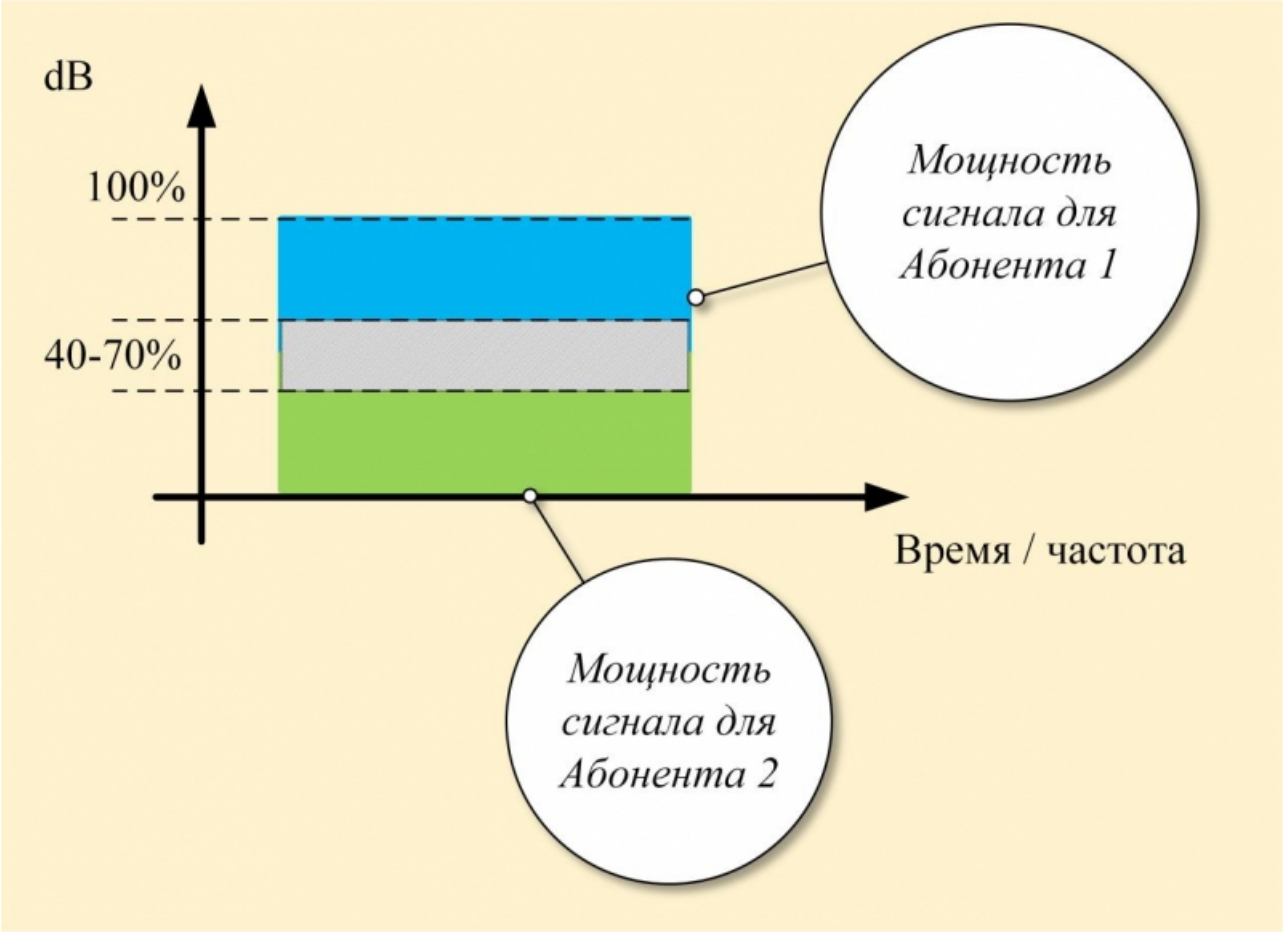


Рисунок 2 – Процентное соотношение сигналов для двух пользователей NOMA

В существующих сетях такая передача данных без NOMA обречена на провал, так как сигналы в канале являются помехой друг для друга.

Достоинства NOMA

В сравнении с традиционным ортогональным множественным доступом NOMA имеет несколько значительных преимуществ:

1. NOMA обеспечивает превосходную спектральную эффективность за счет одновременного обслуживания нескольких пользователей с одним и тем же частотным ресурсом и алгоритмом подавления помех – SIC;

2. Рассматриваемая технология увеличивает количество одновременно обслуживаемых абонентов, а, следовательно, в перспективе с помощью NOMA может быть организована связь с "массивом пользователей". Вполне возможно, что вскоре после ее внедрения мы услышим о том, что NOMA способна уплотнять в один канал 16, 32, 64 и т.д. пользователей (аналогично глубине модуляции, например, QAM 64 и пр.).

3. NOMA позволит уменьшить задержку в сети при передаче данных, так как пользователю не нужно будет ожидать запланированного временного интервала для передачи своей информации. Пользователь просто начнет передавать сигнал в любой промежуток времени, который сможет быть декодирован получателем, рисунок 3.

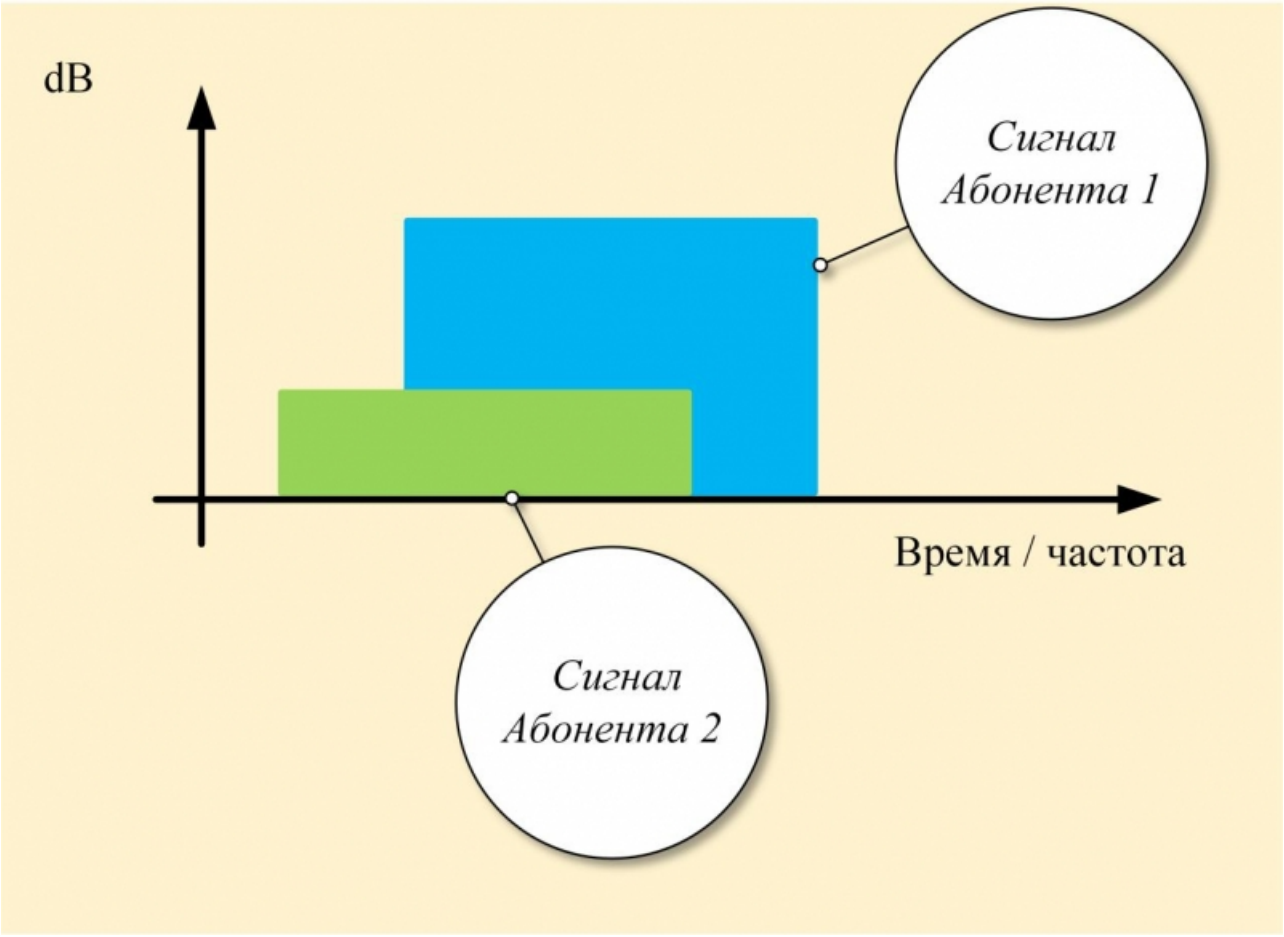


Рисунок 3 – Передача в NOMA без ожидания временного интервала

4. Благодаря гибкому управлению мощностью между сильными и слабыми пользователями NOMA может обеспечить нужное качество обслуживания для каждого абонента в отдельности. В частности, так как для слабого пользователя выделяется больше мощности в канале (рисунок 2), то это позволяет обеспечить хорошую пропускную способность для абонентов, находящихся на границе соты. И тем самым гарантировать одинаковое качество обслуживание всем абонентам в соте.

Ограничения NOMA

Следует отметить, что первое упоминание описываемой технологии и возможности ее применения в 5G приводилось в статье [1], опубликованной еще в 2013 году. Также интересно отметить, как NOMA будет работать совместно с существующими решениями радиодоступа. Так производительность NOMA может быть дополнительно увеличена за счет объединения с технологией многоантенного радиодоступа MIMO (англ.: Multi-Input Multi-Output). В этом случае пользователи объединяются в кластеры и алгоритм NOMA применяется для всех пользователей, находящихся в одном кластере. Тут конечно появляются дополнительные проблемы, например, оптимального объединения пользователей в кластер, но это уже тема другой статьи. Итак, перейдем к техническим сложностям и ограничениям, которые предстоит решить для успешного внедрения NOMA:

1. Каждому пользователю до кодирования собственной информации необходимо декодировать информацию всех других пользователей с худшим коэффициентом усиления канала (тех пользователей, которые находятся в одном кластере). Само собой это приводит к сложности приема и дополнительным затратам вычислительных и энергетических ресурсов абонентского устройства на "расшифровку" получаемых данных.
2. Когда в системе SIC возникнет ошибка, то, вероятнее всего, последующее декодирование информации для других пользователей будет выполнено ошибочно. Это в свою очередь означает, что количество пользователей в каждом кластере будет достаточно низкое, чтобы уменьшить эффект распространения ошибок.
3. Для получения преимуществ мультиплексирования "по мощности" с использованием NOMA, требуется значительная разность коэффициентов усиления канала между сильными и слабыми пользователями. Это ограничивает эффективное количество пар пользователей, что, в свою очередь, уменьшает коэффициент суммарного прироста NOMA.
4. Для работы NOMA каждый пользователь должен отправлять базовой станции информацию о коэффициенте усиления своего канала, а технология NOMA довольно чувствительна к неточности определения этого коэффициента.

5. Совместная работа агрегированных каналов и NOMA также может дополнительно увеличить скорость передачи данных конечному пользователю, однако какой тип агрегирования для этого подходит, пока не определено.
6. Также пока не до конца решенной задачей является сам алгоритм выделения мощностных ресурсов для каждого абонента, который должен обладать низкой степенью сложности для наилучше производительности NOMA.
7. И наконец, нужно реализовать безопасность соединения на физическом уровне, что также является довольно интересным и пока до конца не решенным направлением.

Несмотря на вышеуказанные обстоятельства, NOMA была включена в официальную документацию по разработке технологий для 5G "White Papers" таких корпораций как ZTE Corp., SK Telecom и пр., а DOCOMO и MediaTek проводят совместные исследования по внедрению этой технологии [2]. NOMA также рассматривалась в первом исследовании, посвященном 5G – New Radio (Release 14), а тенденция использования NOMA сохраняется и в 15 релизе в рамках сотрудничества таких компаний как DOCOMO, Huawei, Intel, Qualcomm и Samsung.

Заключение

Итак, в этой статьей мы рассмотрели относительно новое технологическое решение, позволяющее увеличить скорость передачи данных в сети. Суть технологии довольно проста – передавать "наложенные" друг на друга сигналы с разной мощностью так, чтобы их можно было вычесть и расшифровать для конечного абонента. Технология NOMA является довольно многообещающим решением для сетей радиодоступа 5G. Сегодня она рассматривается и анализируется многими ведущими производителями беспроводного оборудования.

Емкость NOMA может быть дополнительно увеличена с использованием MIMO, а возможность ее применения в миллиметровом диапазоне дает по-настоящему большие возможности. Нужно лишь решить некоторые задачи, наиболее критичные из которых – распространение ошибок в многокластерных сетях.

При подготовке статьи были использованы материалы:

1. Y. Saito et al., "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013, Dresden, Germany, pp. 1-5.
2. "5G radio access: Requirements, concepts and technologies," NTT DOCOMO, Inc., Tokyo, Japan, 5G Whitepaper, Jul. 2014
3. 3GPP, RP-170829, "New study item proposal: study on non-orthogonal multiple access for NR," Mar. 2017.
4. M. R. Hojeij, J. Farah, C. A. Nour, and C. Douillard, "Resource allocation in downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access," Proc. IEEE VTC Spring, 2015, pp. 1-6
5. NOMA in 5G Systems: Exciting Possibilities for Enhancing Spectral Efficiency