Роль моделирования в развитии 5G

Сети 5G обещают перенести нас в потрясающий мир беспроводных коммуникаций и интеллектуальных систем. Эта технология затронет области электроники, интернета вещей (IoT), систем помощи водителю (ADAS), телекоммуникаций, развлечений, медицины, транспорта и многих других секторов. 5G будет предоставлять миллиардам устройств по всему миру данные по требованию.

5G это новая техническая революция - повсеместно распространяющаяся ультрабыстрая вычислительная сеть соединит миллиарды устройств. Это приведёт к экономическому расширению многих секторов, позволит создавать новые продукты и службы, что в значительной степени повлияет на жизнь каждого.

Но для достижения преимуществ, которые могут дать сети 5G, нужно переосмыслить подход к проектированию электронных компонентов, устройств и инфраструктуры в целом. Продумать взаимодействие устройств и то, как они соединяются друг с другом в далеко не идеальных условиях. Возможности сетей 5G можно будет достичь благодаря следующим технологическим решениям:

- использование миллиметрового диапазона волн (mmWave spectrum);
- установка множества антенн с применением технологии MIMO;
- уменьшение размера соты базовых станций (small cells);
- динамическое формирование и отслеживание луча диаграммы направленности антенны (beamforming).

Объединение этих технологий в одну систему позволяет значительно увеличить скорость, пропускную способность, стабильность и покрытие сети. Сложность объединения этих решений в одном "корпусе" заключается в необходимости проектирования однокристальных систем (SoCs), способных:

- обрабатывать большие объемы данных;
- поддерживать различные варианты машинных коммуникаций (процессов, происходящих без участия человека);
- обеспечить высокую надежность сетей;
- гарантировать низкую задержку при передаче данных.

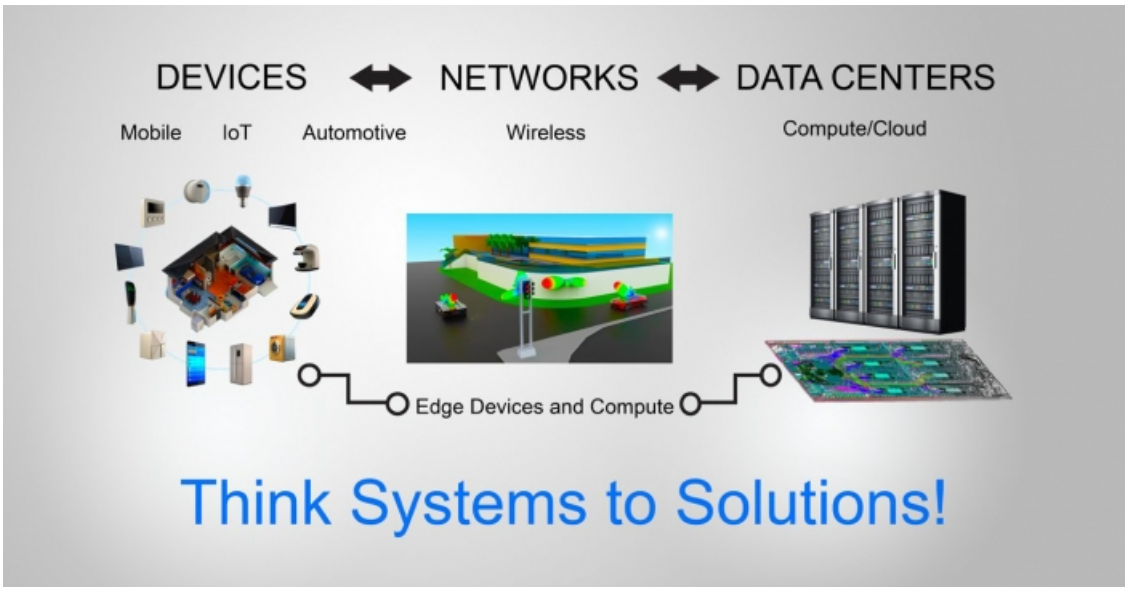
Благодаря агрегации каналов в диапазоне 6-ГГц, будет возможно развертывание сетей 5G, используя уже существующую инфраструктуру. Однако, данный метод подразумевает одновременную работу нескольких базовых станций, что приводит к перекрестным радиопомехам и дополнительным тепловым нагрузкам. Из-за использования более высоких частот, технологии 5G требуют плотного размещения существующих сетей и совершенствование радиочастотной коммутации. Для решения этих задач инженеры используют расчетные платформы, необходимые для определения параметров элементов сетей.

Программные решения должны с высокой точностью имитировать множество параметров и технологий, необходимых для создания сетей 5G. Наиболее распространенными программными решениями является семейство продуктов:

- ANSYS.
- CST.
- Altium.

и подобные.

Больше, чем 4g



5G это не просто развитие сетей 4g, а глобальное изменение и внедрение большого числа новых технологий, таких, как:

- расширение существующего спектра и появление новых спектральных диапазонов;
- интеграция лицензированных и нелицензированных спектров;
- массовое развертывание малых сетей;
- новые сетевые архитектуры, сетевая виртуализация, масштабирование сетей;
- массовое внедрение технологий IoT (и связи типа машина-машина).

Почему нужна симуляция?

Как уже было сказано ранее, разработка и проектирование систем 5G является достаточно сложной задачей. Для того, чтобы построить действующую сеть 5G, требуется постоянное тестирование и прототипирование, что занимает много времени и является очень дорогостоящим процессом. Чтобы сократить затраты и значительно ускорить производство, разработчики используют виртуальные модели - "цифровые двойники" реальных систем, которые в последнее время набирают все большую популярность. Благодаря такому подходу инженеры моделируют проекты на различных уровнях абстракции, от проектирования компонентов до моделирования на системном уровне. Заменяя часть системы на виртуальный прототип, навешивания датчики и обеспечивая тем самым цифровой интерфейс для системы моделирование. Проектирование и моделирование тесно связаны и являются неотъемлемыми частями процесса разработки устройства.

Виртуальное прототипирование и моделирование могут существенно снизить стоимость и ускорить процесс разработки.

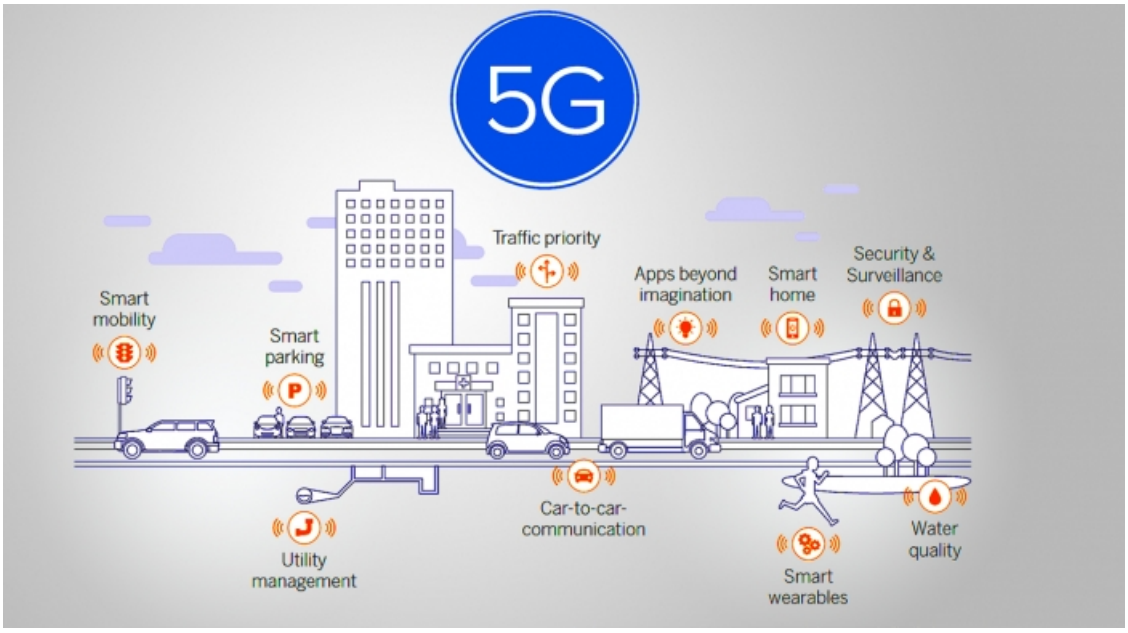
Улучшение антенн. Формирование луча диаграммы направленности

Улучшение диаграммы направленности в 5G позволяет увеличить пропускную способность и скорость передачи данных для беспроводных приложений. Технологии MIMO используют многолучевое распространение и пространственное мультиплексирование между базовыми станциями и абонентским оборудованием, позволяют увеличить скорость передачи данных и обслуживать большее количество абонентов. Корректное формирование и управление лучом диаграммы направленности оптимизирует подключение и снижает риск обрыва соединения. Антенные системы должны быть тщательно спроектированы для лучшего контроля за элементами, их установкой и монтажом, а также, чтобы минимизировать потери вследствие потенциального выхода элементов из строя.

Объединение несущих

Применение стандартов 5G приведёт к увеличению количества несущих LTE, используемых для подключения одного абонента, с целью увеличить пропускную способность. Однако, это означает и увеличение сложности оборудования и повышение потенциального количества помех. Растущее количество чувствительных фильтров как на базовых станциях, так и у абонентов позволяет разделять поднесущие и сигналы. Оценка электромагнитной связи между резонаторами, фильтрами

и осцилляторами, установленными на обоих концах, имеет ключевое значение в разработке этих интерфейсов.



Проблемы с перегревом

Интеграция различных модулей в высокочастотный интерфейс приводит к выделению большого количества тепла, тогда как большая часть оборудования пользователей не приспособлено к активному охлаждению. Антенны базовых станций также будут склонны к перегреву и должны рассеивать тепло за счёт воздушных или водяных систем охлаждения. Зависимые от температуры свойства электронных систем должны быть изучены для уменьшения выделяемого тепла и сохранности системы. Для решения этих задач также могут быть использованы системы моделирования, позволяющие анализировать воздушные потоки.

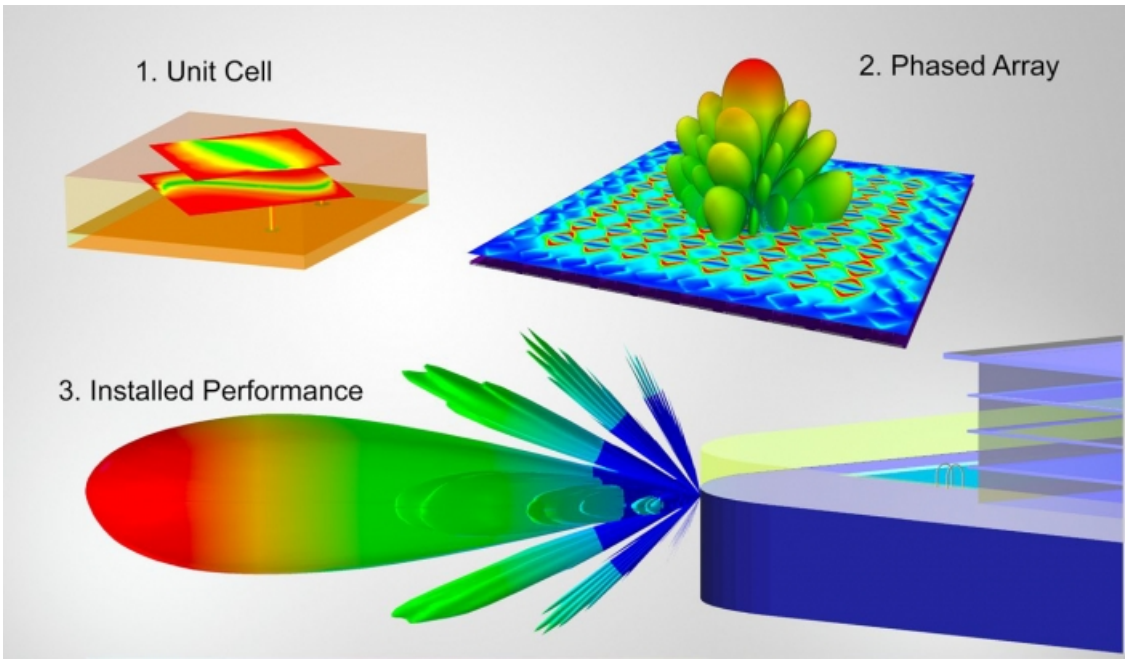
Скорость обработки данных

Обработка данных будет разделена между базовой станцией (т. н. пограничный узел) и пользовательскими приложениями, требующими ответа в реальном времени. С увеличением количества пользователей сетей 5G, пограничные устройства будут обслуживать системы, требующие ответа менее чем через 1 мс. Например, это актуально для беспилотных автомобилей или стриминговых сервисов, для которых неприемлема обычная задержка при доступе к облаку в 250 мс.

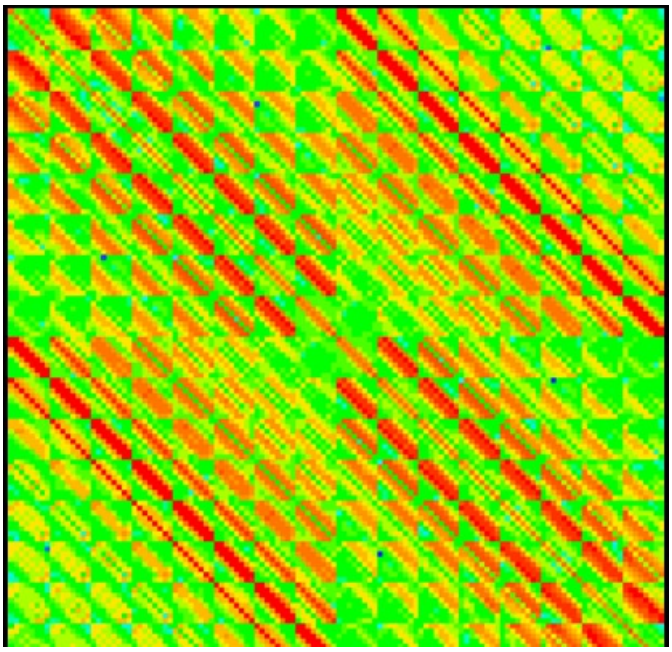
Улучшенные фазовые антенные решётки

Для достижения возможностей систем пятого поколения будут использоваться фазовые антенные решётки. Технологии MIMO требуют использования ФАР для достижения необходимого уровня сигнала и увеличения покрытия. Эти системы будут иметь возможность генерировать несколько лучей одновременно, каждый из которых будет направлен к отдельному пользователю или на небольшую по площади территорию. Точечная генерация лучей требует динамического позиционирования, для того, чтобы непрерывно следовать за абонентом, который движется в зоне покрытия. Кроме того, дополнительные лучи диаграммы могут использоваться для подавления шумов от потенциальных помех. Чем больше будет антенная решётка, тем больше отдельных лучей может быть сгенерировано. В то же время, это требует более плотного расположения элементов решетки. Проектирование ФАР также учитывает влияние внешних радиочастотных помех и обратной связи между элементами.

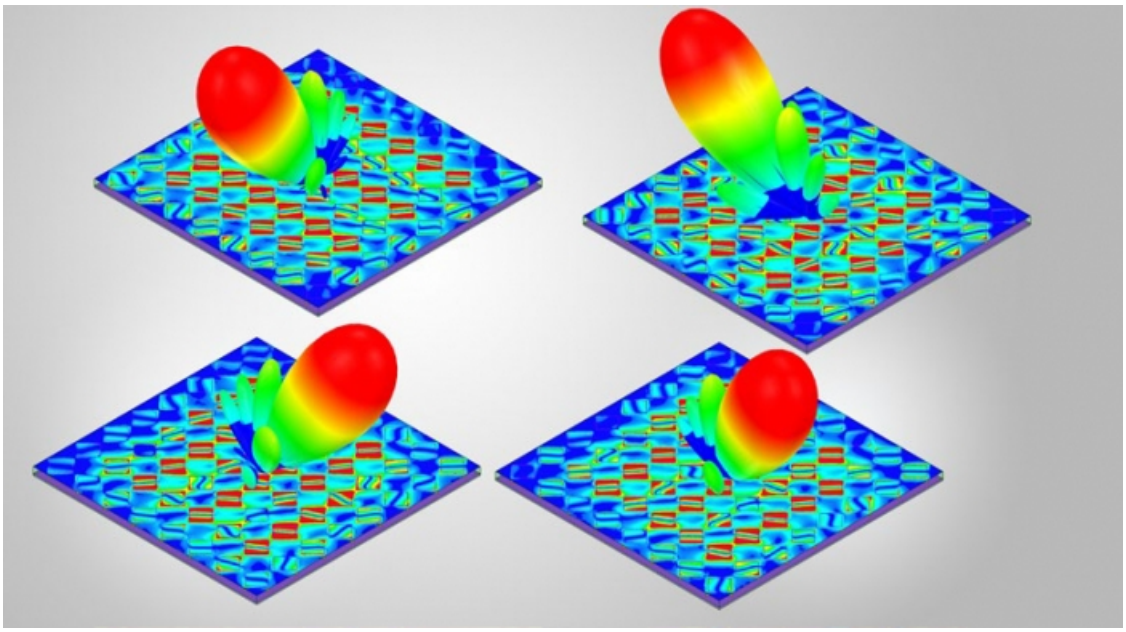
На рисунке показано моделирование ФАР в ANSYS HFSS. Сначала создаётся отдельный элемент решётки, затем моделируется решётка целиком в единой системе.



Программный продукт ANSYS HFSS позволяет визуализировать матрицы взаимодействия элементов и распределение электромагнитных волн вокруг решётки.



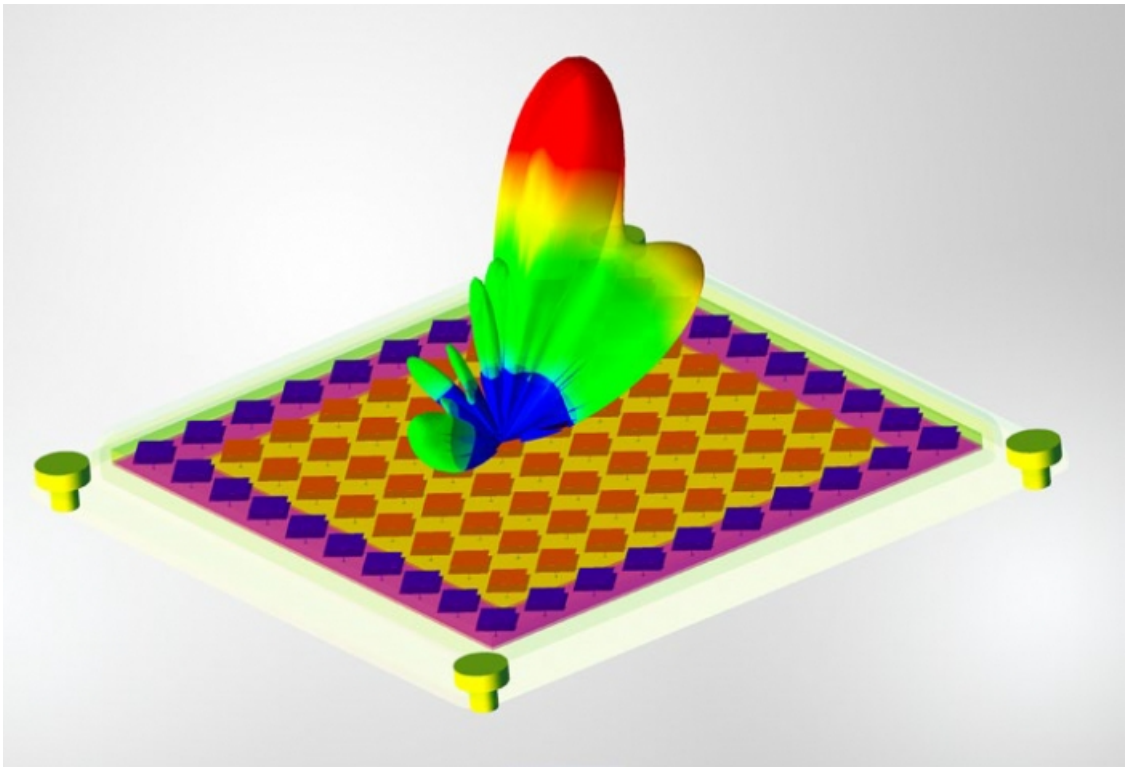
Симуляция управления лучом критически важна для создания оптимальных связей между абонентами и базовыми станциями. Данный процесс продемонстрирован на рисунке ниже:



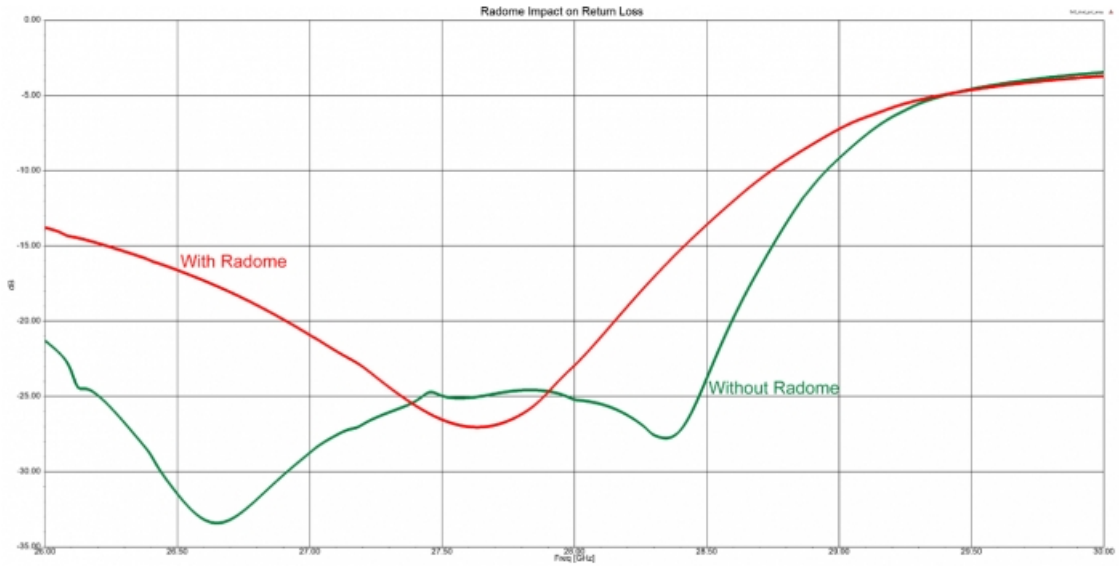
Визуализация управления лучом

Особенности конструкции антенн 5G

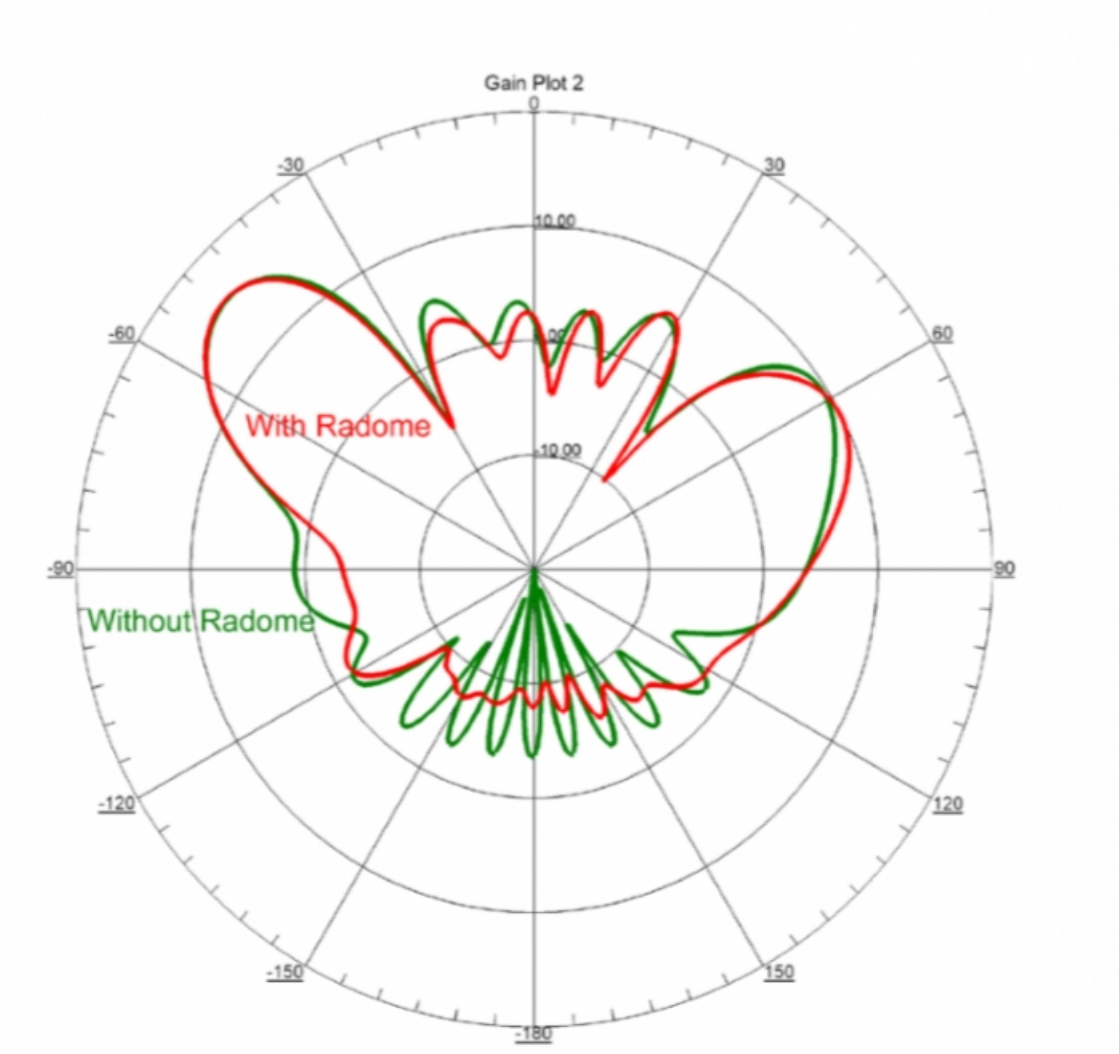
В конструкцию большинства антенн 5G включён обтекатель (защитный кожух), который защищает антенну от воздействия внешних факторов, таких как дождь, лед и пыль. При использовании волн миллиметрового диапазона, обтекатели должны быть тщательно спроектированы, чтобы минимизировать их влияние на энергию излучения. Толщина материала, из которого изготавливается обтекатель, примерно равна длине волны, генерируемой на этих частотах, из-за чего возникают нежелательные электромагнитные воздействия на антенную систему. На рисунке ниже показан пример моделирования влияния обтекателя на диаграмму направленности антенной решетки:



Благодаря моделированию, можно рассчитать влияние защитного корпуса на энергетические параметры антенны. Так, благодаря модели, можно сделать вывод о том, что для антенны с обтекателем будут действовать более высокие обратные потери. А также несколько изменится форма диаграммы направленности. Исходя из этого, можно сделать вывод о наиболее подходящем материале обтекателя и его толщине:

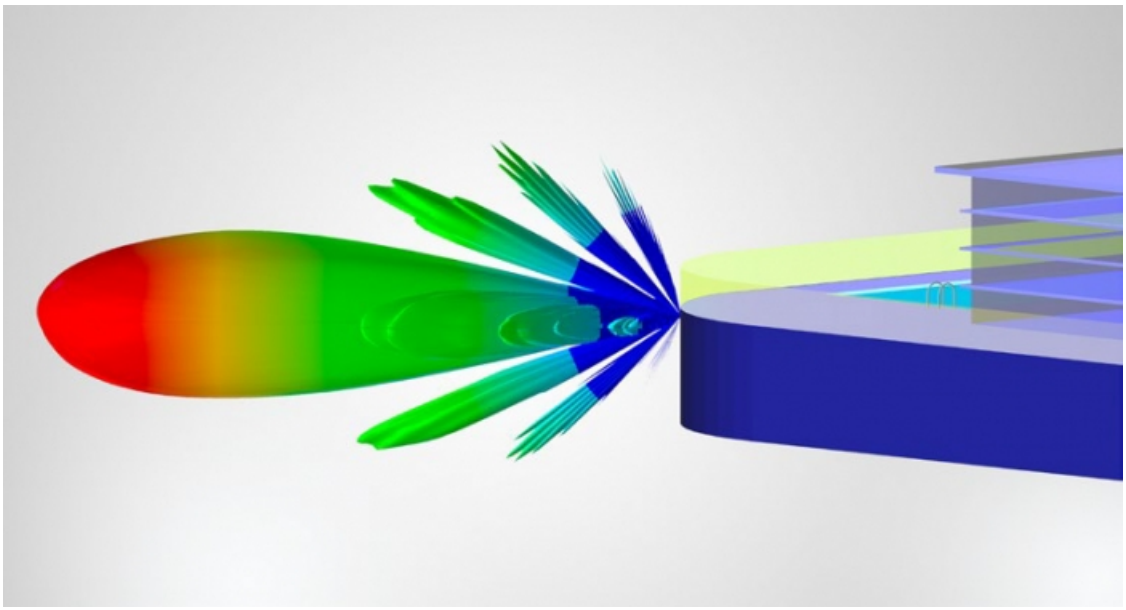


Влияние обтекателя на обратные потери



Сравнение диаграмм направленности с обтекателем и без

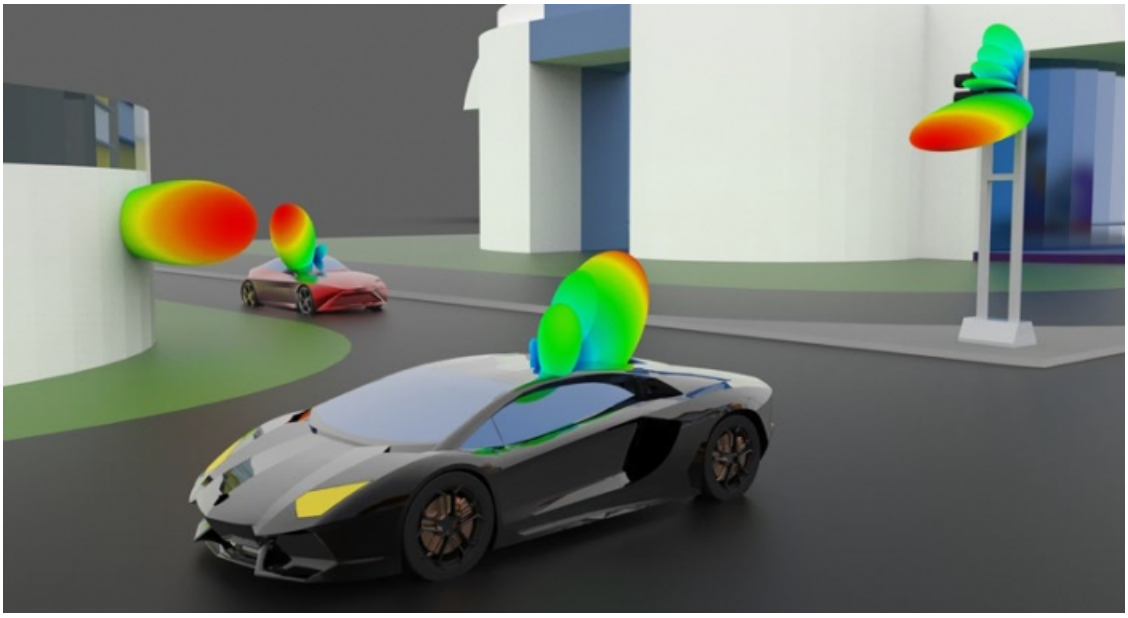
Производительность антенной системы сильно зависит от платформы и места, где она будет установлена, и от окружающей среды. Решить эти вопросы инженерам также помогает моделирование. Благодаря виртуализации, можно понять, как направлено распространение луча антенны, установленной на какой-либо поверхности:



Антенны 5G будут интегрированы в уже существующую инфраструктуру, зачастую рядом с работающим электрооборудованием, и, желательно, чтобы антенны были установлены на углах или фасадах зданий.

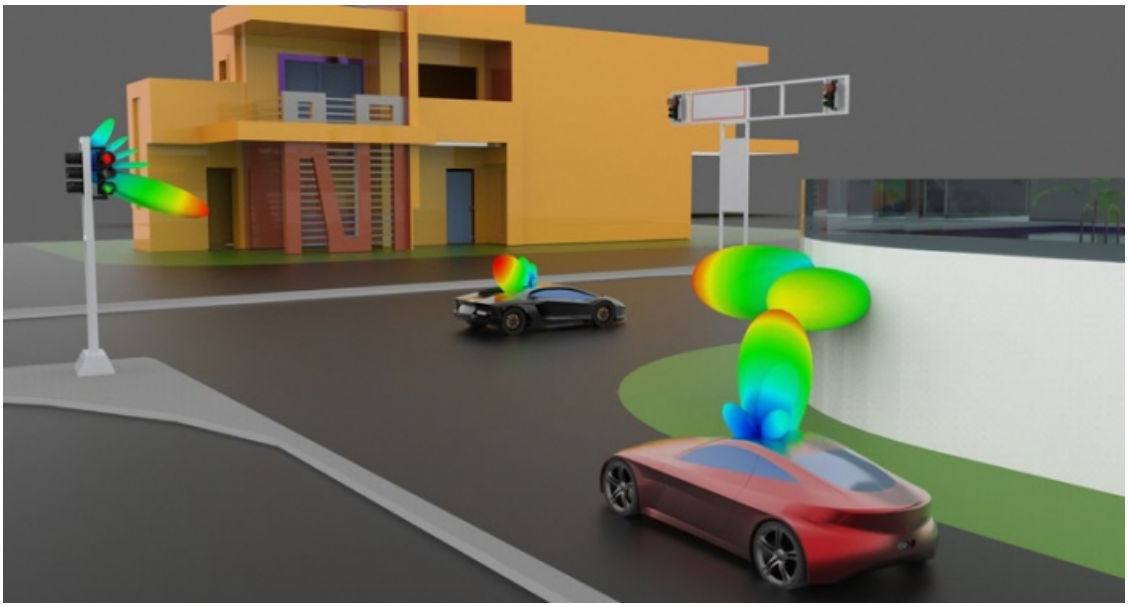
5G в системах V2X и V2V

Разработка ФАР должна также предусматривать сложности, связанные с окружающей их инфраструктурой. На рисунках ниже приведены примеры установки антенн рядом с оживленным перекрестком. Моделирование связи типа vehicle-to-everything (V2X) и vehicle-to-vehicle (V2V) в реальном времени позволяет оценить производительность систем 5G в условиях городского трафика. Излучение установленной на здании антенны:



Взаимодействие платформ 5G с системами V2X и V2V

Данные решения критически важны для систем V2X и V2V, и их применение существенно увеличит безопасность автомобилей с автопилотом.



Взаимодействие 5G и беспилотного автомобиля

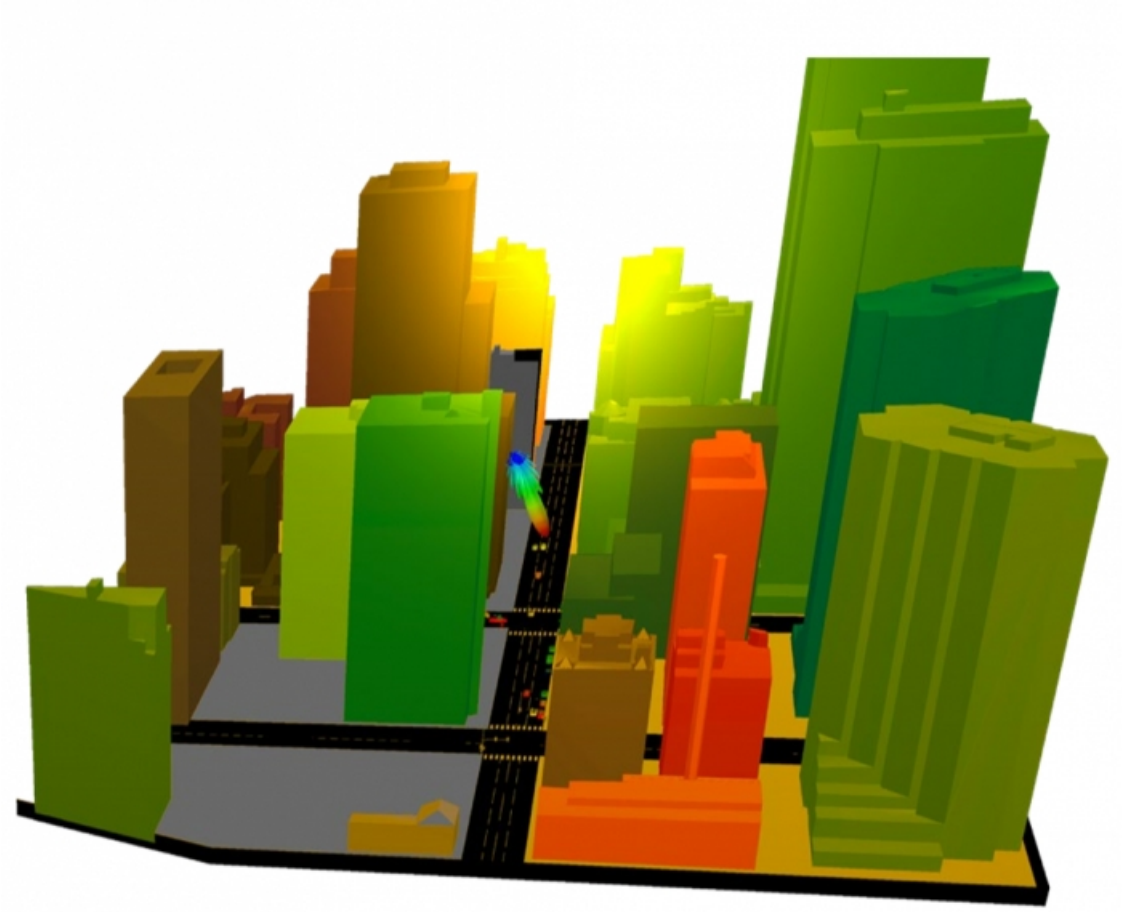
Распространение сигнала в сложных условиях

После оценки производительности установленной антенной системы нужно просчитать влияние внешних факторов. Из-за того, что в 5G используются высокочастотные несущие, антенные системы будут состоять из множества небольших антенных элементов. Составляющие антенной системы могут быть установлены на вспомогательной инфраструктуре (фонарные столбы, светофоры).

На рисунке ниже показана симуляция распространения сигнала с частотой 28 ГГц в условиях плотной городской застройки. При моделировании используются лучевые модели распространения сигнала в городской среде.

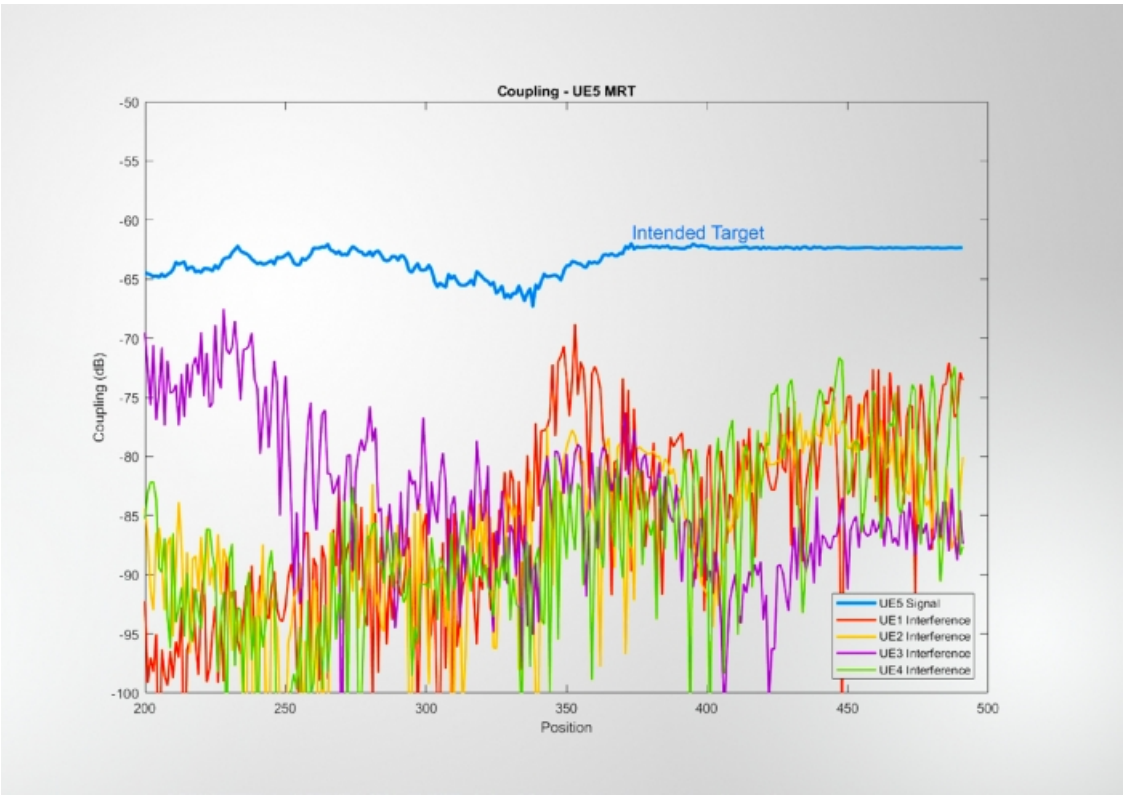
Такая симуляция нужна для получения следующих данных:

- формирование и распространение лучей, производительность антенной решётки и уровень сигнала, принимаемой на устройстве пользователя;
- интерференция сигналов между базовыми станциями, непреднамеренные помехи и внешние электромагнитные влияния.



Симуляция распространения сигнала при плотной городской застройке

Также моделировать можно распространение луча адаптивной ФАР в диапазоне 28 ГГц, взаимодействующей с автомобилями и несколькими движущимися объектами. В данной модели пользовательское оборудование и автопилотируемые машины располагаются на расстоянии от 200 до 500 метров от базовой станции, при этом каждый находится вне прямой видимости на протяжении всего пути. Формирование луча с максимальным коэффициентом передачи (MRT) применяется к каждому элементу антенны, чтобы держать луч сфокусированным на движущемся абоненте, несмотря на воздействие, оказываемое внешними источниками. В некоторых случаях, луч может быть направлен не напрямую на устройство пользователя, тогда оптимальным будет путь, при котором сигнал отражается с максимальной мощностью, позволяющей стабильно принимать его на устройстве пользователя.



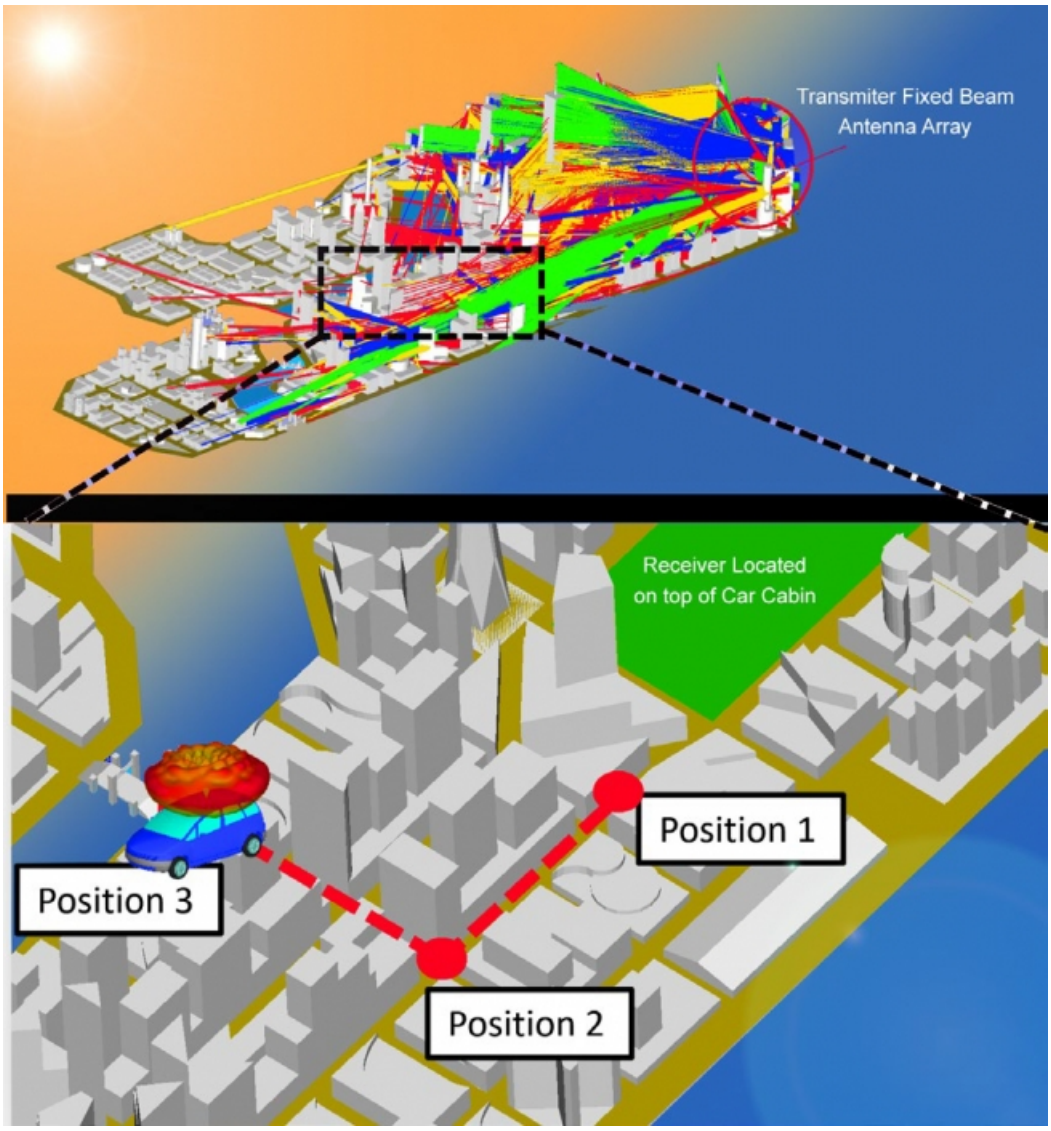
Максимальный коэффициент передачи базовой станции при взаимодействии с несколькими абонентами в условиях городской застройки

На рисунке показан расчёт максимального коэффициента передачи базовой станции для случаев, когда сформирован физический канал между БС и несколькими пользователями. Из графика видно, что уровень сигнала существенно меняется в зависимости от положения абонента. Такие расчёты критически важны и позволяют оценить то, насколько стабильным будет соединение в различных условиях, будь то одновременное подключение множества абонентов или нежелательные электромагнитные помехи со стороны другого оборудования. Исходя из этих расчётов, выбирается оптимальный путь распространения сигнала, обеспечивающий наибольшую стабильность при подключении абонента.

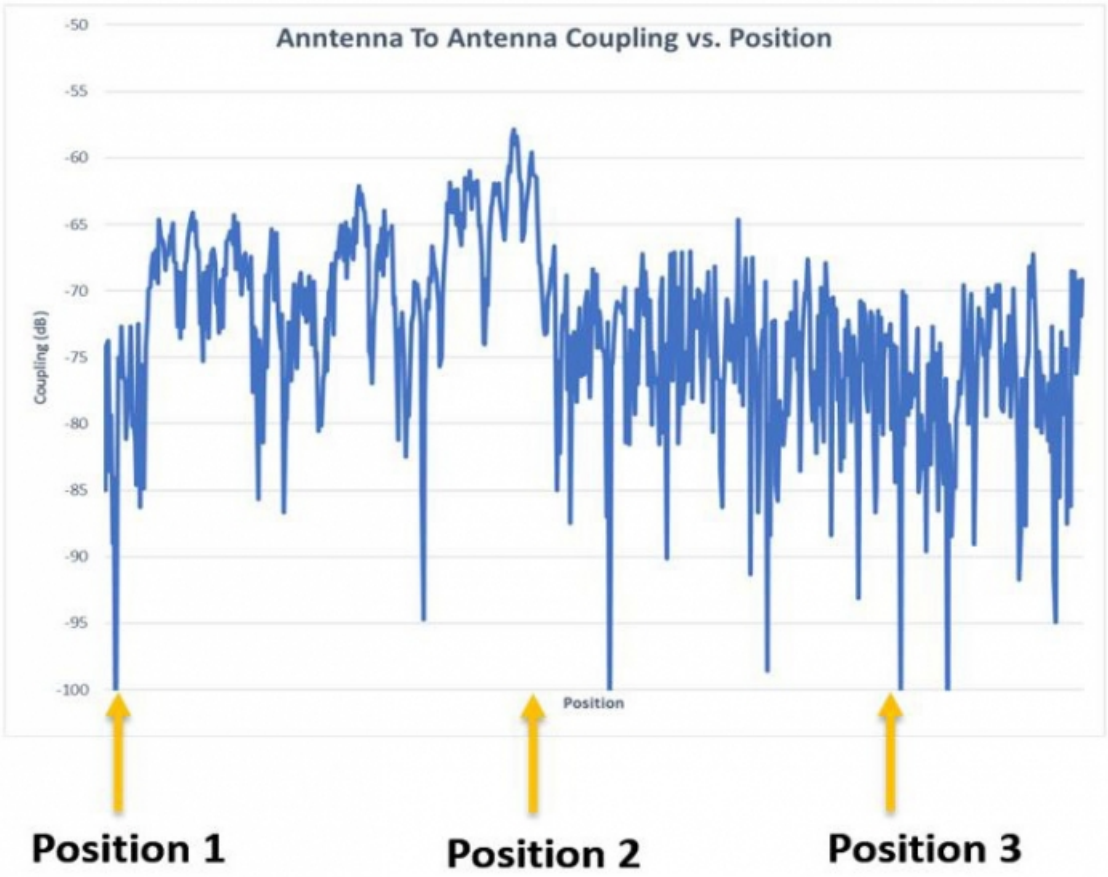
Зарекомендовавшим себя инструментом в области радиопланирования заслуженно является ASSET Radio (TEOCO). Софт позволяет рассчитать радиочастотное покрытие, пропускную способность, параметры сот и их взаимодействие с соседними устройствами. Программное обеспечение применяется для беспроводных мобильных сотовых сетей GSM, UMTS, LTE, 5G. Наряду с поддержкой 2G, 3G и 4G, ASSET с 2018 года является полнофункциональным инструментом радиопланирования систем 5G. Поддерживается моделирование 5G NR с расширенными моделями распространения сигнала, сложными антенными решетками, полным 3D-покрытием и моделированием емкости.

Симуляция 5G и автопилотируемых автомобилей.

Гибкость моделирования позволяет объединить две такие сложные области, как 5G и беспилотные автомобили. Поддержание постоянного соединения с базовой станцией в многолучевой среде критично для безопасности и правильной навигации автопилотируемых транспортных средств. Рисунок ниже показывает маршрут автомобиля в многолучевой среде:



Лучи в верхней части рисунка окрашены в соответствии с количеством отражений каждого сегмента. На графике ниже показано распространение сигнала по мере продвижения автомобиля по маршруту. Из графика хорошо видно, что самый слабый уровень сигнала возникает тогда, когда авто проезжает через низину и пропадает из прямой видимости, а также сказываются эффекты наложения лучей и дифракции.



Зависимость уровня сигнала от положения автомобиля

Заключение

Переход к сетям пятого поколения - довольно интересный процесс, при этом очень масштабный, состоящий из множества задач. Решения этих задач были описаны в статье, основным является применение компьютерного моделирования параметров, эффектов и путей распространения сигнала для систем V2V и V2X, а также для обычных пользовательских устройств.

Информация об авторе:
к.т.н., инженер, специалист по высокочастотному анализу,
отдел компьютерного инженерного анализа ANSYS
ГК "ПЛМ Урал" | www.plm-ural.ru