

Системы связи 5G

Рабочий процесс, описываемый в статье, направлен на вхождение в проектирование систем связи 5-го поколения. В нем рассматриваются основные сценарии применения инструментария 5G Toolbox.

5G Toolbox предоставляет инженеру соответствующие стандарту функции и опорные проекты для осуществления моделирования, симуляции и верификации телекоммуникационных систем стандарта 5-го поколения. Данный программный пакет поддерживает симуляцию физического уровня в полном соответствии со стандартом, генерацию эталонных сигнальных конструкций, а также содержит опорные проекты для изучения особенностей функционирования систем связи данного стандарта и верификации параметров разработанного оборудования.

С помощью данного продукта вы можете конфигурировать, симулировать, измерять параметры линии связи между UE и gNodeB. Вы можете самостоятельно модифицировать функции 5G Toolbox или использовать их как эталонные модели устройств и систем стандарта 5G.

5G Toolbox предоставляет несколько опорных проектов для помощи инженеру в изучении спецификаций данного стандарта, оценки производительности и особенностей сигнально-кодовых конструкций системы связи. Вы можете использовать синтезированные отсчеты сигнала для передачи их в измерительное оборудование, генерировать физические сигналы для тестирования оборудования, а также производить быстрое прототипирование при помощи встроенных средств автоматической генерации кода.

Анализ ключевых моментов стандарта

В современном мире ничто не стоит на месте, в том числе и развитие систем и сетей радиодоступа. Рассмотрим предпосылки и причины, которые привели к необходимости проведения исследований и разработке нового стандарта мобильного радиодоступа, так окончательно и не завершив внедрение LTE.

Во-первых, внедрение в широкий обиход новых стандартов разложения видеоданных, таких как 4K UHD TV и 8K UHD TV, а также VR систем и множества других контентно-нагруженных сервисов привели к необходимости обеспечить высокоскоростной радиодоступ, способный поддерживать одновременную работу множества абонентов.

Второй причиной послужило резкое увеличение количества устройств IoT (Internet of Things). В результате требование к количеству абонентов одновременного обслуживания, которых необходимо поддерживать в пределах одного сектора базовой станции, так же возросло.

Третьей причиной послужило начало коммерческого внедрения различных автоматизированных и беспилотных систем, в том числе и автомобилей, что привело к необходимости заложить в новый стандарт возможность организации высоконадежного низкоскоростного канала связи с минимальной задержкой прохождения сообщения, в частности для организации V2V (Vehicle-to-Vehicle) взаимодействия или других критических применений, например, медицинского.

Перечисленные факторы привели к необходимости реализации в стандарте связи пятого поколения следующих сценариев сетевого взаимодействия:

- 1) eMBB (Enhanced Mobile Broadband) – сценарий высокоскоростного взаимодействия для передачи 3D (трехмерного) контента, UHD видеоконтента и других высоконагруженных применений;
- 2) URLLC (Ultra Reliable and Low Latency Connection) – сценарий организации высоконадежного соединения с минимальной задержкой для V2V, V2I (Vehicle-to-Infrastructure) и других критических применений;
- 3) mMTC (Massive Machine-Type Connections) – сценарий, предназначенный для обеспечения подключения большого количества низкоскоростных устройств: маяков, датчиков и т. д.

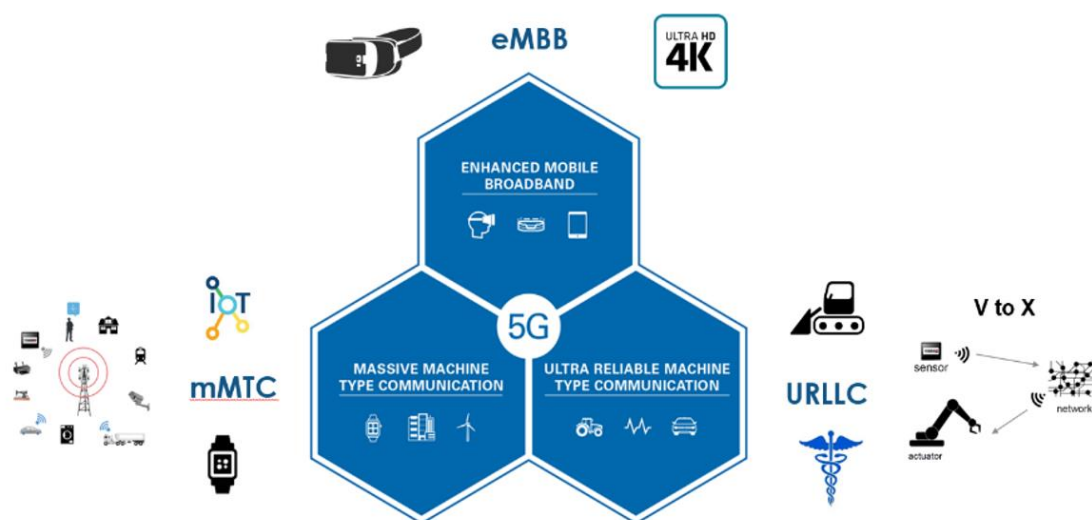


Рис. 1. Сценарии применения технологии 5G

MATLAB постоянно следует за передовыми технологиями, и по прошествии всего лишь двух месяцев с момента релиза первой спецификации стандарта появился 5G Toolbox. Рассмотрим основные подходы к использованию данного инструментария, которые применялись такими компаниями как Nokia, Qualcomm и Huawei.

Сквозная симуляция с построением системной модели

Данный сценарий применения 5G Toolbox позволяет строить системные модели устройств, реализующих физический уровень взаимодействия стандарта 5G New Radio. Модель включает в себя канал связи между базовой станцией и пользовательским устройством, а также полнофункциональную имитационную модель приемного и формирующего оборудования.

Применение системного моделирования позволяет провести как оценку характеристик отдельно взятых решений (алгоритмов, кодеков, систем синхронизации), так и оценку пропускной способности системы в целом. Более того, в процессе поиска решений, наиболее соответствующих поставленным перед проектом требованиям, системное моделирование позволяет оценить влияние того или иного параметра на систему в целом, что позволяет сократить время на проектирование.

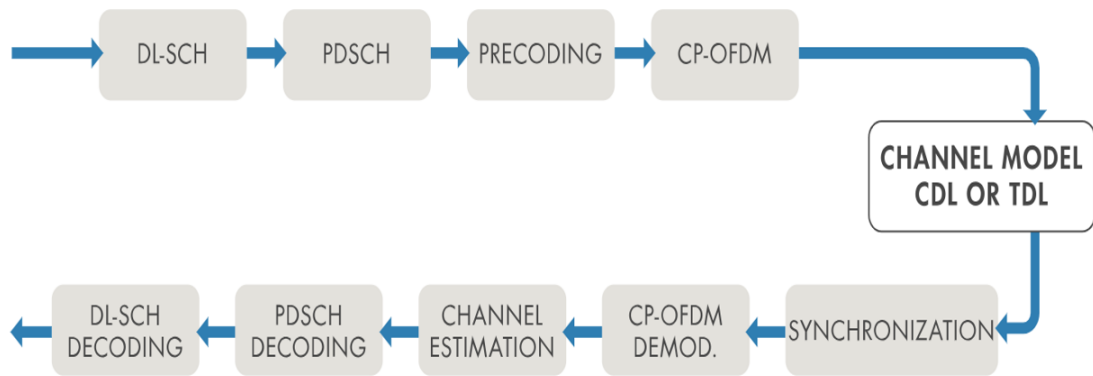
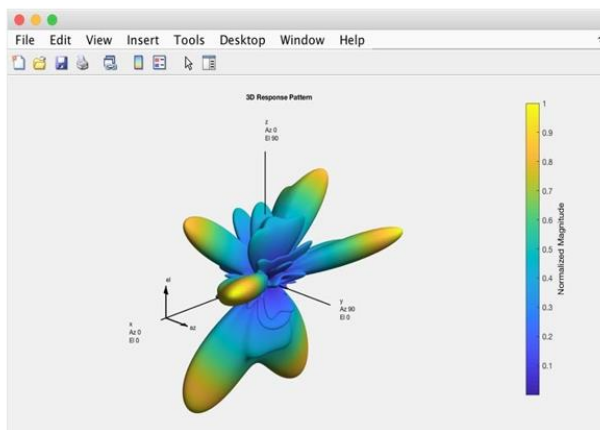


Рис. 2. Обработка downlink-канала в 5G

Стоит также обратить внимание на возможность расчета и внедрения в системную модель элементов, позволяющих симитировать технологию Massive MIMO, которая заложена в стандарт. Для этого необходимо будет применить функционал продуктов RF Toolbox и Antenna Toolbox, полностью поддерживающих требования стандарта 5G.



A massive MIMO antenna array for a Huawei 5G field trial.

Рис. 3. Анализ фазированной антенной решётки

Приведенный сценарий использования инструментария продуктов MathWorks был использован инженерами Nokia при разработке базовой станции мобильной связи 5-го поколения.

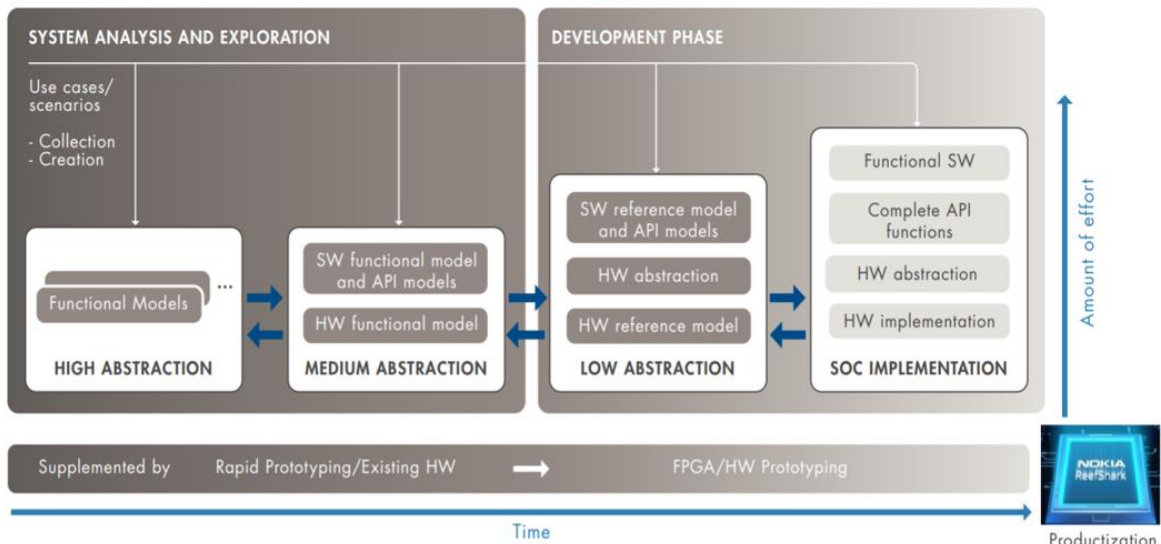


Рис. 4. Разработка базовой станции Nokia 5-го поколения

«Данный подход привнес гибкость, наглядность и возможность оценивать и реагировать на малейшие изменения во всем процессе разработки DFE (digital front end) систем стандарта 5G. Nokia находит данный подход и концепцию модельно-ориентированного проектирования в целом исключительно эффективной в задачах разработки DFE-функций, таких как: канальная фильтрация, преобразование частоты, цифровое предискажение, управление усилением, объединение и демультимплексирование поднесущих, которые позволяют компенсировать искажения, вносимые в сигнал при его прохождении через радиоканал со сложной структурой.» Sami Repo, Nokia.

Генерация сигналов и полунатурное тестирование (HIL)

5G Toolbox поддерживает формирование сигналов, соответствующих физическому уровню стандарта 5G New Radio, а также полноценный инструментарий для автоматического тестирования и симуляции прохождения данных сигналов через радиоканалы TDL и TCL. Кроме того, с использованием функций данного программного пакета можно производить прием и обработку реальных сигналов стандарта 5G New Radio, захваченных при помощи различных SDR-платформ поддерживающихся в MATLAB.

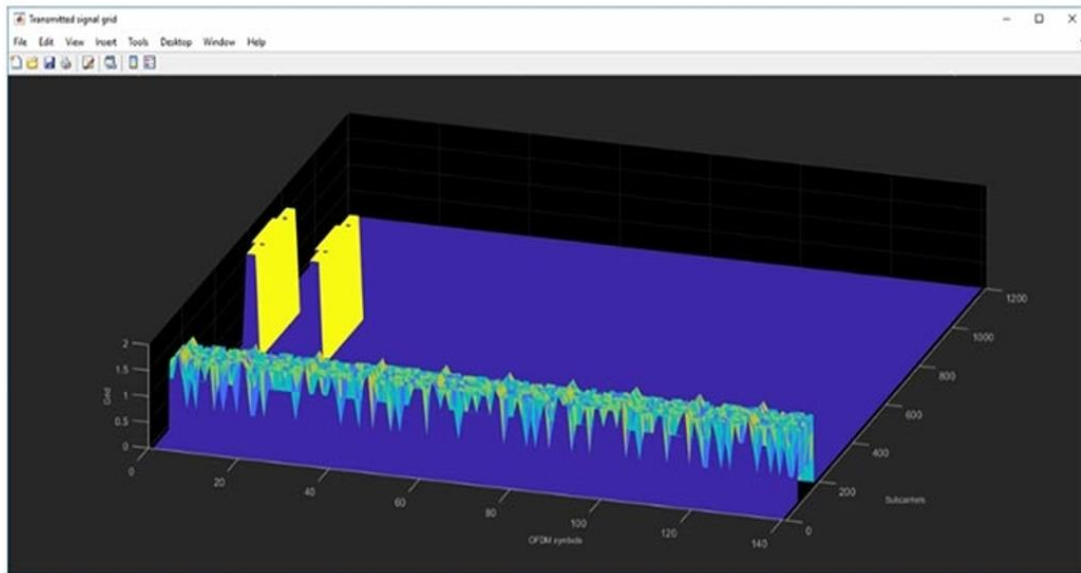


Рис. 5. Сигнал, сгенерированный в 5G Toolbox

Помимо SDR-платформ MATLAB имеет возможность интеграции с различным измерительным оборудованием, что позволяет осуществлять тестирование разрабатываемого устройства внутри модели Simulink. В частности, на него может передаваться сигнал 5G New Radio, сформированный при помощи соответствующих функций 5G Toolbox и подвергнутый воздействию имитационного TDL/TCL радиоканала.

При проектировании оборудования стандарта 5G данный сценарий применила компания Huawei.

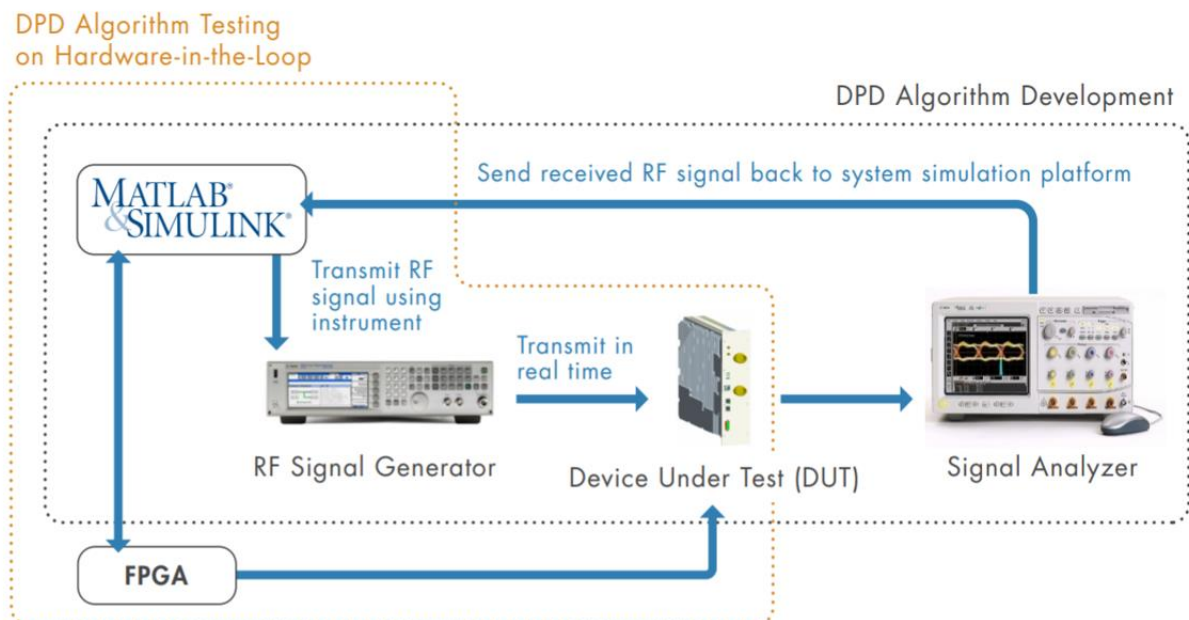


Рис. 6. Программно-аппаратный комплекс тестирования 5G Huawei

В ходе разработки оборудования инженеры Huawei соединили в программно-аппаратный комплекс радиочастотный генератор, способный формировать сигналы заданной формы, и анализатор сигналов, который захватывал сигнал на выходе тестируемого устройства с заданной частотой дискретизации. Непосредственно формирование сигнала 5G New Radio, имитация воздействия радиоканала и обработка принятого сигнала производились в среде MATLAB.

«Компания Huawei, в сотрудничестве с MathWorks, провела разработку подсистем промежуточной частоты и радиочастоты для базовой станции стандарта беспроводной связи 5G, которая обладает высокой пропускной способностью, большой скоростью, низкой задержкой обработки сигнала и высокой энергетической эффективностью.»

Среда MATLAB®/Simulink® помогла компании Huawei в задачах разработки и верификации, включая моделирование и анализ гибридных аналого-цифровых систем, а также в ускорении разработки алгоритмов путем применения автоматической генерации и верификации HDL-кода. Компании удалось сократить время разработки благодаря применению концепции ранней верификации разрабатываемого устройства.»

Erni Zhu, Huawei.

Быстрое прототипирование узлов устройств и систем, поддерживающих требования стандарта 5G

Данный сценарий использования 5G Toolbox в частности и MATLAB / Simulink в целом предполагает задействование предыдущих сценариев, что обеспечивает максимально быстрый выход разрабатываемого устройства на коммерческий рынок.

Применение модельно-ориентированного проектирования позволяет не только дать предварительную оценку влияния нововведений или изменений на систему в целом, но и максимально ускорить их внедрение в продукт. Это достигается за счет того, что изменения, внесенные на высоком уровне системной модели, проходят предварительную верификацию уже на данной стадии, т. к. системное моделирование позволяет провести оценку их влияния.

Непосредственно в прототип они вносятся за счет использования технологий автоматической генерации кода. Данный подход также позволяет автоматически сгенерировать тестовое окружение для разрабатываемой системы, что ускоряет процесс интеграционного тестирования и снижает количество ошибок, допускаемых в процессе перехода к натурным/полунатурным испытаниям.

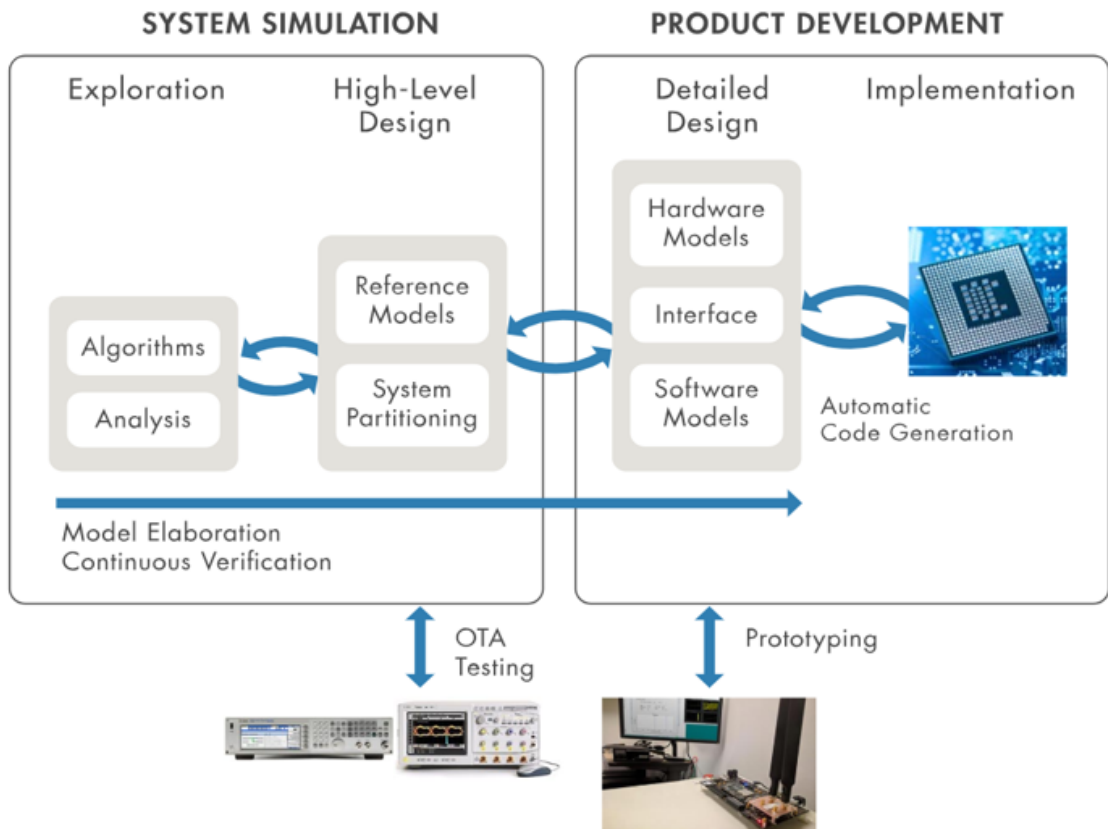


Рис. 7. Быстрое прототипирование устройств 5G в Qualcomm

«Команда Qualcomm RF Systems применила MATLAB® для построения полнофункциональной модели системы приема и передачи сигналов в цифровом тракте с применением блоков в арифметике с фиксированной точкой и максимально приближенной к реальному устройству моделью радиочастотного усилителя. Инженеры Qualcomm применяли моделирование и симуляцию для предварительной оценки и предсказания основных параметров производительности устройства и автоматического тестирования с использованием различных сигнальных комбинаций частотно-временной сетки физического уровня 5G New Radio. Команда разработчиков использовала автоматическую генерацию C-кода для создания библиотек обработки сигналов данного стандарта.»

Sean Lynch, Qualcomm UK Ltd.

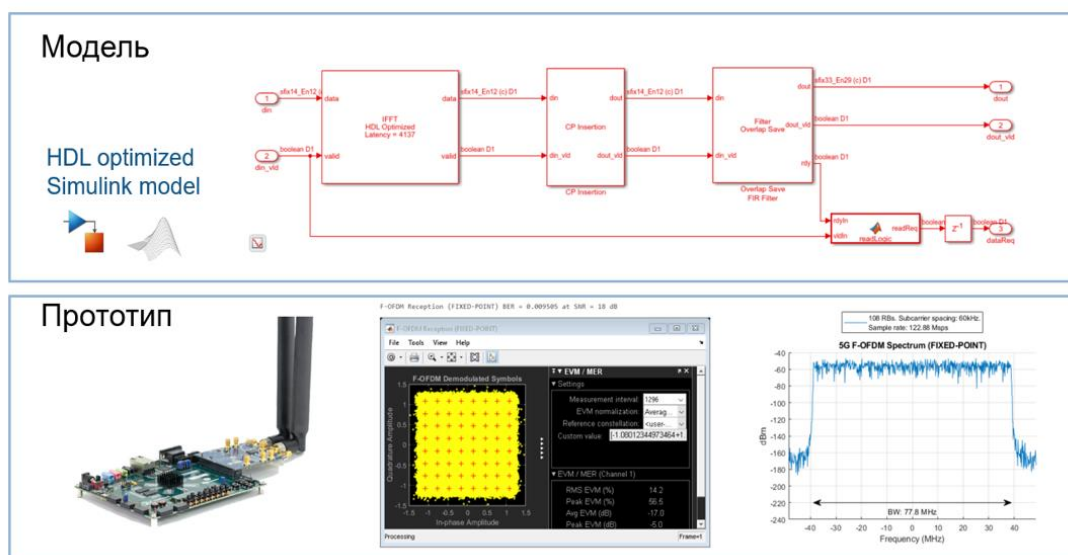


Рис.8. Переход от модели к прототипу в MATLAB / Simulink