

ПЕРЕХОД К ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ 5G – СОЗДАНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ С ФАЗИРОВАННЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ

М.Пирпоинт¹, Г.Ребейз²

УДК 621.396
ВАК 05.12.00

Сегодня актуальна задача перехода к беспроводным телекоммуникационным системам пятого поколения (5G). В них предполагается использовать передатчики и приемники с фазированными антенными решетками, работающие в миллиметровом диапазоне длин волн. Для создания таких устройств необходимо современное контрольно-измерительное оборудование, функционирующее в области высоких частот (до 60 ГГц и выше). О каналах связи для систем 5G с фазированными антенными решетками, созданных в Калифорнийском университете (Сан-Диего, США) с использованием приборов компании Keysight Technologies, рассказывается в статье*.

Для перехода к телекоммуникационным системам 5G наряду с повышением скорости передачи данных необходимо решить задачу обслуживания большего числа абонентов на заданной площади, что обычно называют "уплотнением". Эта потребность подстегивает интерес к менее загруженным участкам спектра в СВЧ и КВЧ (миллиметровом) диапазонах и стимулирует переход от работы с широкой диаграммой направленности к узконаправленной передаче. В эру узконаправленной связи на одного абонента можно направить один или несколько лучей, что дает возможность многократно использовать одни и те же частоты, а также повышать уровень принимаемого сигнала. Узконаправленная связь позволяет существенно снизить стоимость услуг для потребителей и открывает множество допол-

нительных возможностей для применения систем 5G и выше, включая целый ряд новых приложений наземной и авиационной связи.

Ключевое звено такого "уплотнения 5G" – антенна, физические размеры которой для узконаправленной передачи должны примерно в восемь раз превышать длину передаваемой волны. Но чтобы антенна сохраняла приемлемый для коммерческого использования размер, приходится задействовать меньшие длины волн или более высокие частоты – этим объясняется огромный интерес к незагруженному диапазону 60 ГГц. Чаще всего в данном диапазоне используется стандарт IEEE 802.11ad (WiGig), обеспечивающий скорость передачи до 7 Гбит/с за счет применения передатчиков и приемников с фазированными антенными решетками, которые повышают эффективность канала, улучшают параметры системы и помогают оптимизировать тракт передачи.

Хотя преимущества внедрения 5G и многогигабитных каналов передачи весьма привлекательны, возможность их реализации определяется двумя ключевыми факторами: созданием недорогих фазированных антенных решеток и их адаптацией для использования в коммуникационных каналах 5G. Исследованием второй

¹ Отдел инфраструктурных решений для Интернета компании Keysight Technologies, вице-президент и генеральный менеджер.

² Калифорнийский университет в Сан-Диего, заслуженный профессор, заведующий кафедрой радиосвязи, rebeiz@ece.ucsd.edu.

* Статья была первоначально опубликована в журнале Microwave Journal в апреле 2016 года.

задачи занялись в прошлом году ученые Калифорнийского университета в Сан-Диего (UCSD) в тесном сотрудничестве с компанией Keysight Technologies. Результаты работы представляют собой огромный прорыв – был успешно продемонстрирован первый в мире интегральный передатчик с 64-элементной (8×8) и 256-элементной (16×16) фазированной антенной решеткой. Его высокоэффективные встроенные антенны обеспечивают связь на гигабитных скоростях в радиусе нескольких сотен метров. В ходе демонстрации была доказана работоспособность такого канала и показана рекордная производительность.

НАДЕЖНЫЙ ФУНДАМЕНТ

Подготовка этой демонстрации потребовала огромных усилий и опиралась на два важных фактора. Один из них – создание первых в отрасли интегральных 64-элементных (8×8) [1] и 256-элементных (16×16) [2] фазированных антенных решеток, работающих в диапазоне 60 ГГц (рис.1). Эта разработка базировалась на ранних исследованиях, проводимых UCSD и компанией Tower Jazz при спонсорской поддержке Агентства перспективных оборонных исследований (DARPA). В результате были созданы интегральные системы на кристалле, каждая из которых содержала источник сигнала 60 ГГц, распределительные цепи, фазовращатели, усилители с регулируемым коэффициентом усиления и высокоэффективные интегрированные антенны.

Второй фактор – опыт многолетнего сотрудничества между UCSD и компанией Keysight, начавшегося 10 лет назад с финансирования Keysight разработки микроэлектромеханических систем (МЭМС). В 2015 году компания Keysight укрепила сотрудничество с UCSD, став членом университетского Исследовательского центра беспроводной связи. В соответствии с договором компания Keysight предоставляет оборудование для текущих исследований и финансирует научно-исследовательские работы.

Примерно в тот же период по окончании разработки интегральных фазированных антенных решеток университет UCSD был готов перейти к внедрению этих кристаллов в коммуникационное оборудование 5G. Для этого ученым университета, работающим над проектом, понадобилась быстродействующая программно-аппаратная измерительная система, которая обеспечивала бы необходимые характеристики и точность.

Исследователи UCSD обратились к своему давнему партнеру – компании Keysight, – и результаты были получены незамедлительно. Всего за несколько дней была смонтирована система для измерения характеристик каналов связи в диапазоне 60 ГГц, создан канал связи 60 ГГц, устойчиво работающий на расстоянии 4 м, потом 30 м и, наконец, около 100 м.

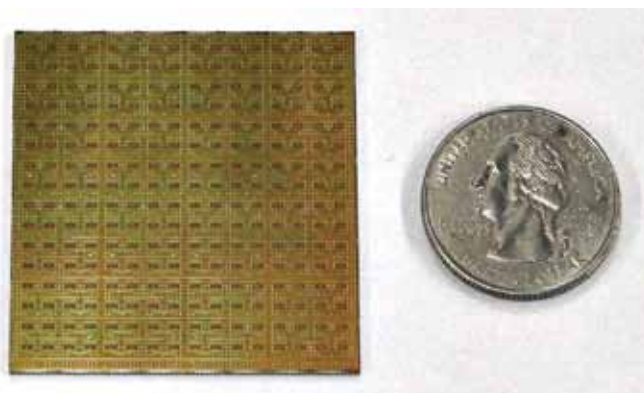


Рис.1. Интегральные передатчики 5G с 256-элементными интегрированными фазированными антенными решетками диапазона 60 ГГц, созданные в университете UCSD

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

Для создания этого канала исследователи из UCSD использовали полнофункциональный комплект приборов компании Keysight (рис.2). В состав комплекта входили генератор сигналов произвольной формы M8190A, векторный генератор сигналов E8267D PSG и осциллограф высокого разрешения DSOS804A Infiniium серии S с 10-разрядным АЦП (рис.3). В качестве гетеродина использовался аналоговый генератор сигналов E8257D PSG.

Необходимый сигнал 802.11ad частотой 60 ГГц создавался с помощью программного обеспечения (ПО) Keysight Signal Studio, а анализировался ПО Keysight 89600 VSA. Кроме того, очень полезным оказалось ПО 8199A Wideband Waveform Center, которое помогло обеспечить передачу, прием и внесение предскажений в канал, а также уменьшить амплитуду вектора ошибки.

После создания канала связи нужно было измерить его характеристики на дистанциях 4, 30 и 100 м. Для этого передатчик с 64-элементной фазированной антенной решеткой был установлен на штатив так, чтобы по уровню коммуникационных сигналов можно было измерять диаграмму направленности антенны. В качестве приемника использовалась стационарная рупорная антенна с коэффициентом усиления 20 дБ, подключенная к осциллографу Keysight, на котором была запущена программа демодуляции.

Сигнальные созвездия измерялись для разных схем модуляции, центральных частот и углов сканирования. Для измерения на больших расстояниях передатчик был установлен на крыше 6-этажного дома, а приемник – на парковке, что создавало дополнительные помехи от автомобилей и деревьев.

Измеренные сигнальные созвездия показали, что канал связи 60 ГГц работал устойчиво. На расстоянии 4 м (полный канал 802.11ad) передатчик с 64-эле-

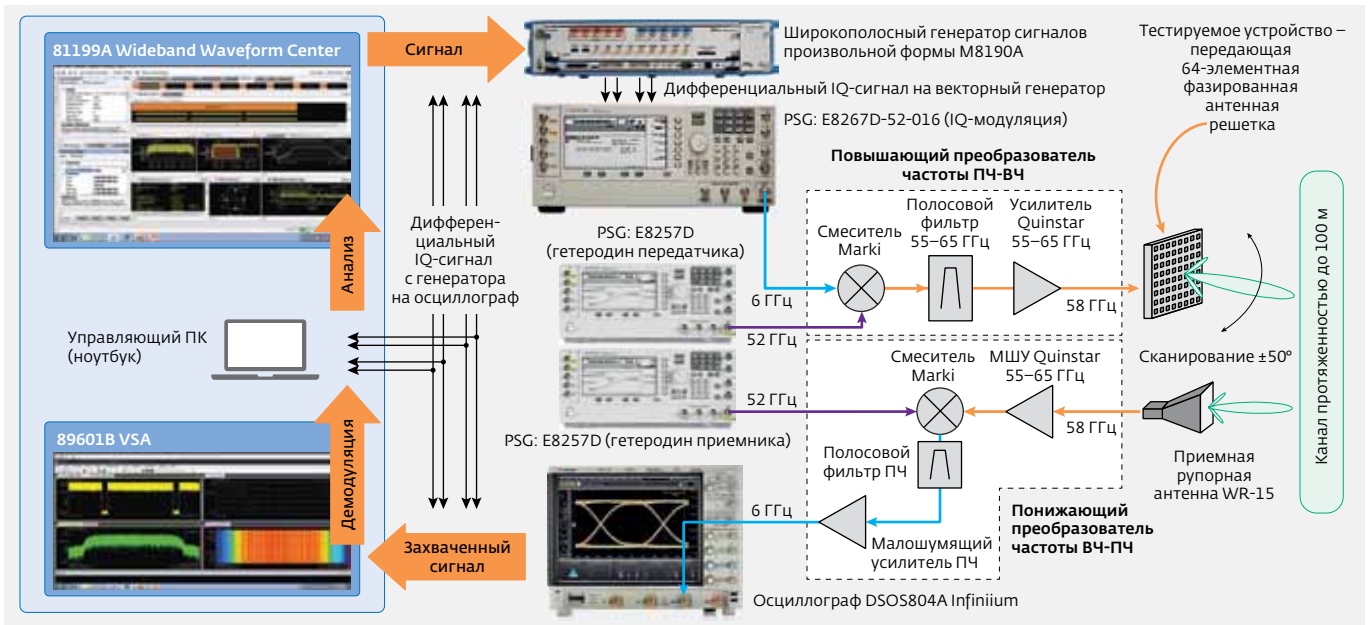


Рис.2. Измерительная схема, использованная университетом UCSD для измерения характеристик канала связи 60 ГГц

ментной фазированной антенной решеткой создавал сложный канал связи на всех углах сканирования ($\pm 45^\circ$ во всех плоскостях) и практически без дополнительных искажений, обеспечив скорость передачи 3,85 Гбит/с с модуляцией 16-QAM. Практически такие же результаты были получены на дистанции 30 м. На дистанции более 100 м канал связи обеспечил скорость передачи 1,54 Гбит/с с модуляцией QPSK при углах сканирования $\pm 45^\circ$ во всех плоскостях.

ЗАГЛЯДЫВАЯ В БУДУЩЕЕ

Успешная демонстрация первого в мире канала связи 5G на базе передатчика с функцией формирования диаграммы направленности с 64- и 256-элементной фазированной антенной решеткой – большой шаг на пути к внедрению технологий 5G. Но это еще не все. В ходе третьего этапа исследовательского проекта в следующем году ученые UCSD займутся разработкой компонентов приемника / передатчика, больших антенных решеток и более эффективных, объединенных в сеть систем 5G. Аппаратные и программные решения компании Keysight сыграют в этих исследованиях решающую роль.

Новые разработки в рамках текущих исследований таят в себе огромные потенциальные возможности, способствующие переходу к узконаправленной связи 5G. Не менее важно, что эти работы прокладывают путь для будущих исследований и разработок в области коммуникационных систем миллиметрового диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Zehir S., Gurbuz O.D., Karroy A., Raman S., Rebeiz G.M.** A 60 GHz 64-element Wafer-Scale Phased-Array with Full-Reticle Design. – Int. Microwave Symp., Phoenix, Az, May 2015.
2. **Samet Zehir, Ozan D. Gurbuz, Arjun Karroy, Sanjay Raman, Gabriel M. Rebeiz.** A 60 GHz Single-Chip 256-Element Wafer-Scale Phased Array with EIRP of 45 dBm Using Sub-Reticle Stitching. – IEEE RFIC Symp., Phoenix, Az, May 2015.

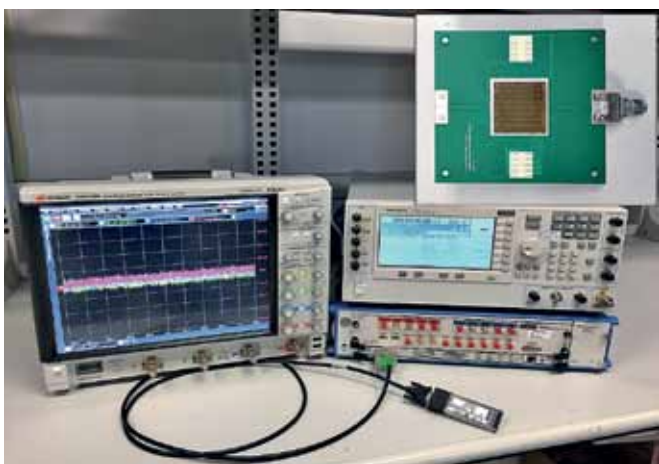


Рис.3. Оборудование Keysight для измерения характеристик канала 60 ГГц 802.11ad с помощью 64-элементной фазированной антенной решеткой: генератор сигналов произвольной формы M8190A, векторный генератор сигналов E8267D PSG и осциллограф высокого разрешения DSOS804A Infiniium серии S