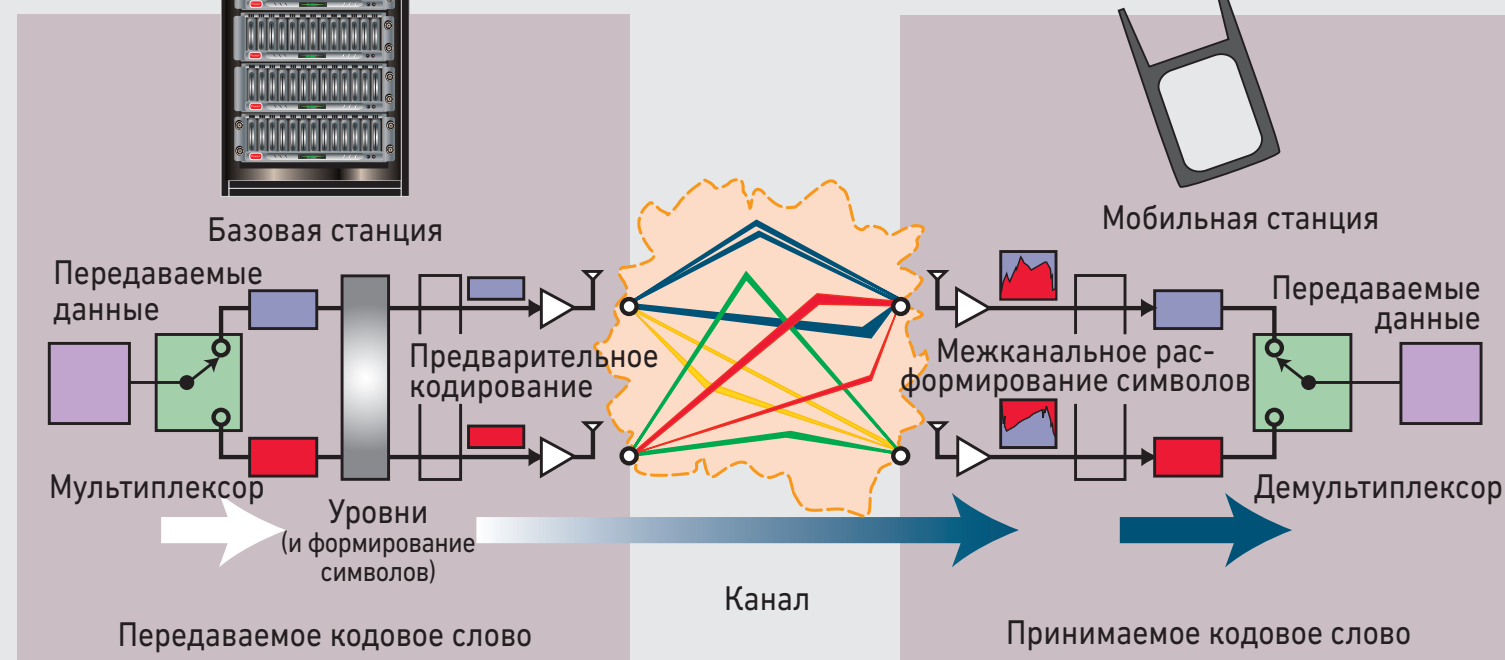


Десять особенностей MIMO, которые нужно знать

MIMO работает по-разному в восходящем и нисходящем канале сотовых систем

MIMO (несколько входов, несколько выходов) – это общий термин для систем, в которых выполняется передача и приём нескольких потоков данных через несколько антенн. Для повышения ёмкости канала используется метод пространственного мультиплексирования.

Разница между восходящими и нисходящими каналами заключается в асимметрии скорости передачи, причём характеристики могут зависеть от особенностей распространения сигнала из-за разных конфигураций антенн в базовых и мобильных станциях.



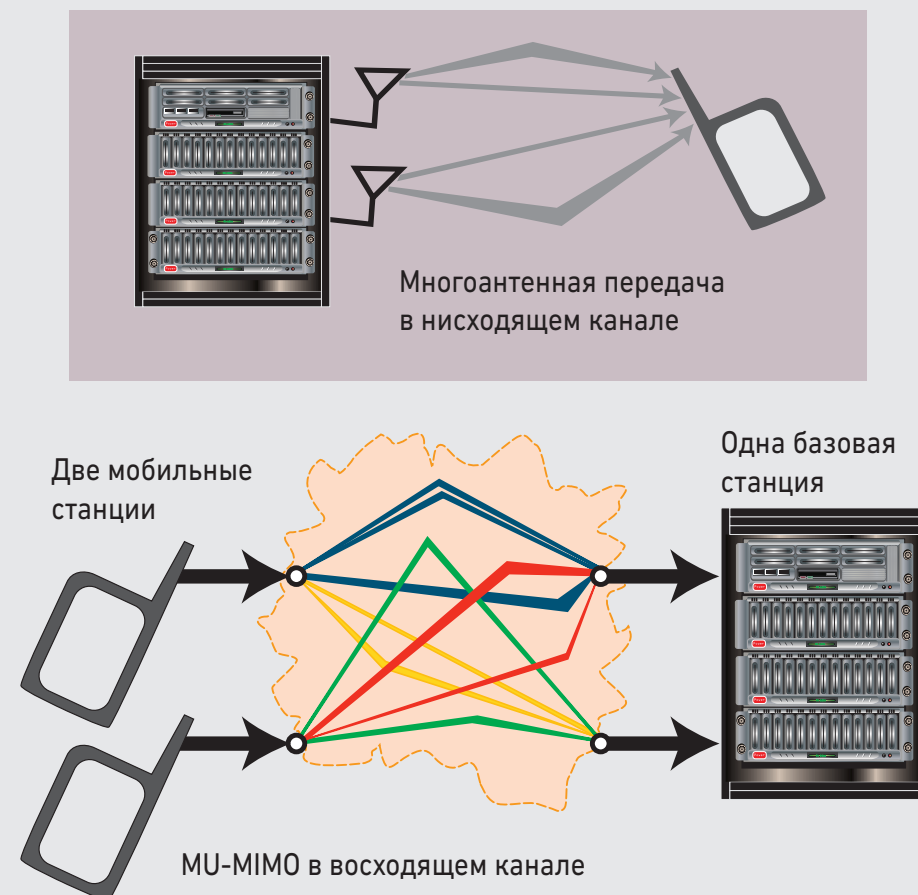
Работа нисходящего канала MIMO для одного пользователя

Система MIMO должна состоять хотя бы из двух передатчиков и двух приёмников, причём приёмники должны располагаться в одном месте

Если это не так, то такая система скорее будет называться многоантенной, а не MIMO. Приёмники должны располагаться в одном устройстве, а передатчики – необязательно, из-за возможности применения двух мобильных станций в восходящем канале MIMO.

На приведённом рисунке показан восходящий канал многопользовательской (MU) системы MIMO 2x2, в которой потоки данных двух разных мобильных станций обрабатываются одной базовой станцией. Их передачи спланированы так, что происходят в одно и то же время и занимают одни и те же частоты.

Основное преимущество MU-MIMO в том, что ёмкость соты возрастает без дополнительных затрат и без увеличения потребляемого тока из-за наличия только одного передатчика в каждой мобильной станции.

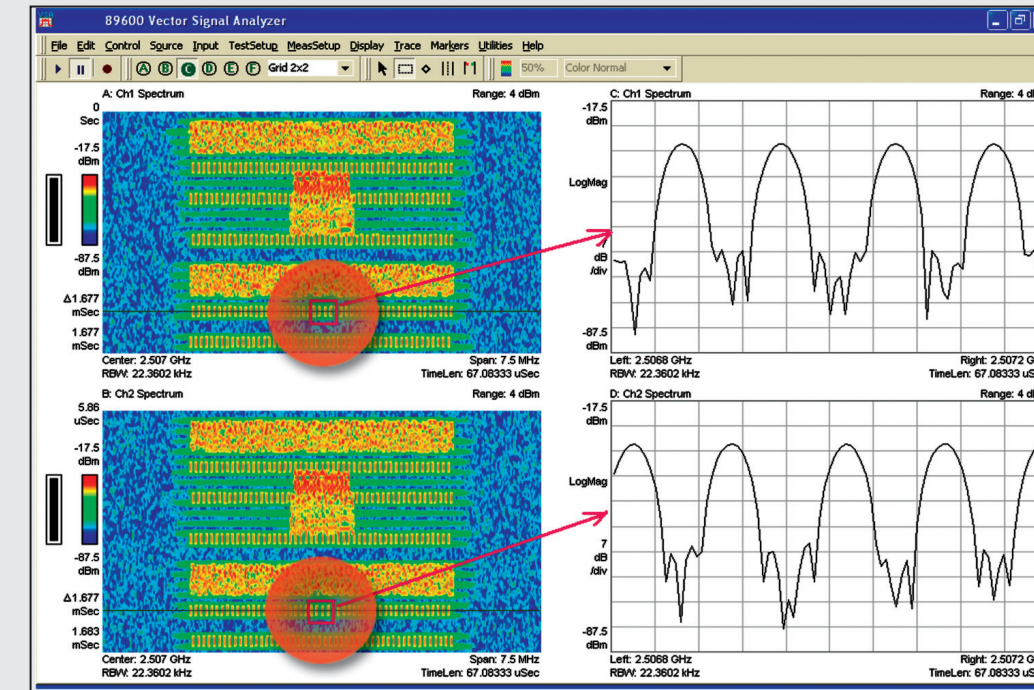


Восстановление сигнала MIMO выполняется в два приема

1. Восстановление канальных коэффициентов

2. Разделение сигналов и демодуляция

На рисунке показаны опорные сигналы (пилот-сигналы) LTE, которые используются для восстановления канальных коэффициентов. Ортогональность, связанная с разностью частот пилот-сигналов, показана в информационном поле стробируемого во времени спектра. WiMAX использует подобную схему передачи с неперекрывающимися пилот-сигналами.



Механизмы обучения канала

- LTE
 - Опорные сигналы используют разные поднесущие для каждого передатчика
- Опорные сигналы передаются с каждым третьим или четвертым символом одновременно с данными

HSPA+ использует для идентификации передатчиков пилот-сигналы на основе кодов

WiMAX

- Положения пилот-сигналов одинаковы во всех кадрах, но отличаются от символа к символу в пределах подкадра
- Поднесущая охватывает несколько символов, что позволяет выполнять интерполяцию
- Детали зависят от типа зоны

Беспроводные сети WLAN

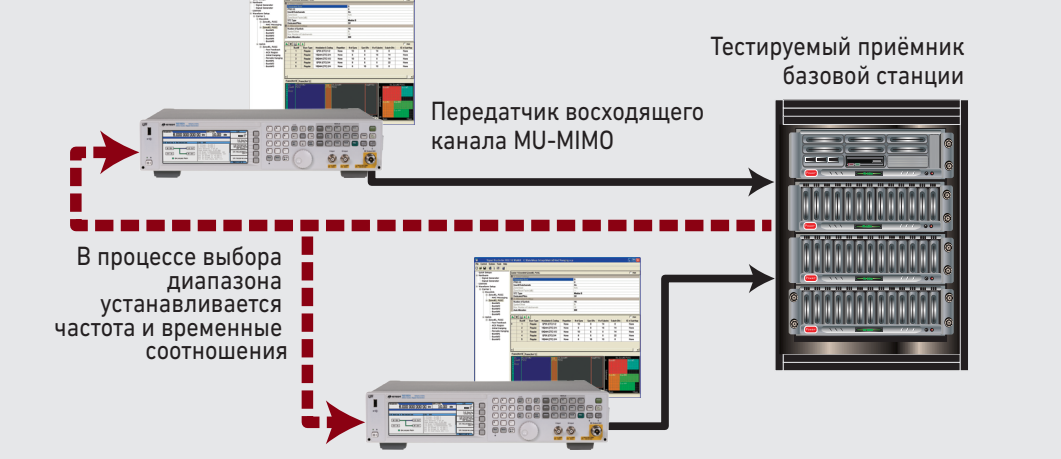
- Для обучения используется преамбула. Для всех передатчиков используются одни и те же поднесущие. Сигналы разделяются кодами CDMA

- Используются четыре ортогональных пилот-сигнала (4 для 40 МГц) с общими поднесущими. Они никогда не передаются без данных

Разность фаз принимаемого и передаваемого сигнала не влияет на MIMO без обратной связи

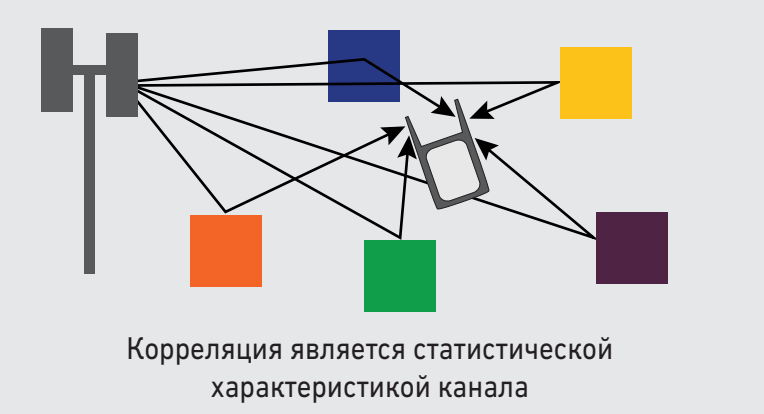
Разности фаз, незначительные разности частот и смещения по времени устраняются за счет методик слежения в демодуляторе.

Эта схема показывает, как смоделировать две совместно работающие мобильные станции для тестирования приёмника базовой станции MIMO с помощью генератора Keysight MXG и программного обеспечения Signal Studio.



Сочетание конфигураций антенн базовой и мобильной станции сильно влияет на корреляцию канала

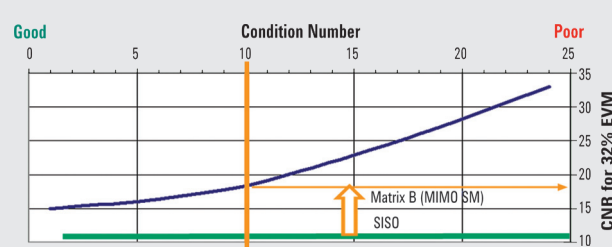
Угол излучения антенны базовой станции в сторону отдельного пользователя относительно узок, а угол прихода сигнала на мобильную станцию широк, что позволяет принимать не только прямые, но и отражённые сигналы.



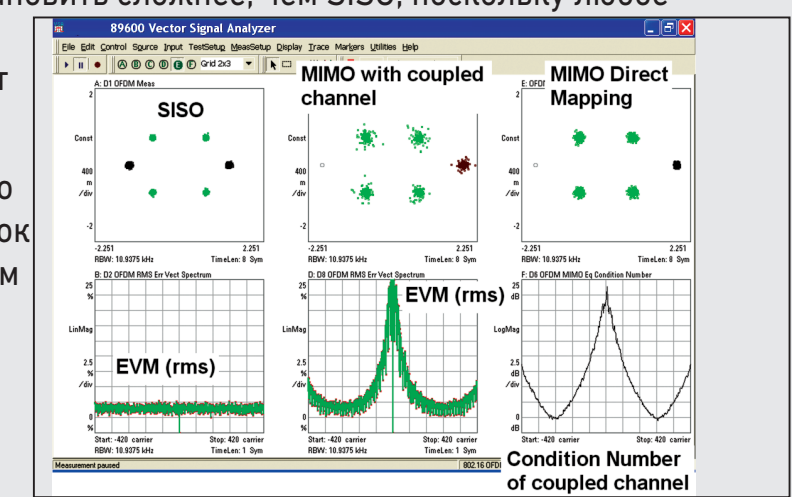
MIMO требует лучшего отношения несущей к шуму, чем SISO

Ошибки, связанные с шумом, помехами или отслеживанием канала, затрудняют восстановление сигнального созвездия. Сигналы MIMO восстановить сложнее, чем SISO, поскольку любое неустранимое взаимовлияние сигналов приведёт к тому, что один поток данных будет выглядеть, как помеха для другого.

График показывает, что для получения одного и того же значения амплитуды вектора ошибок (EVM), сигнал MIMO в канале с коэффициентом качества 10 дБ требует отношения несущая/шум примерно на 7 дБ лучше, чем SISO.



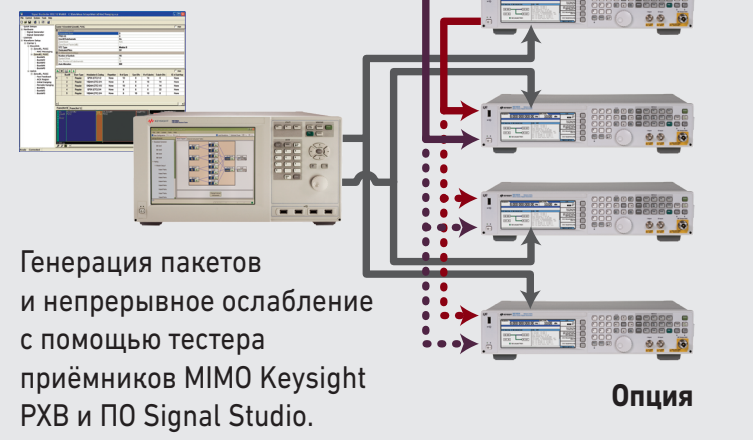
Общие характеристики системы улучшаются, поскольку теоретически MIMO может удвоить объём данных.



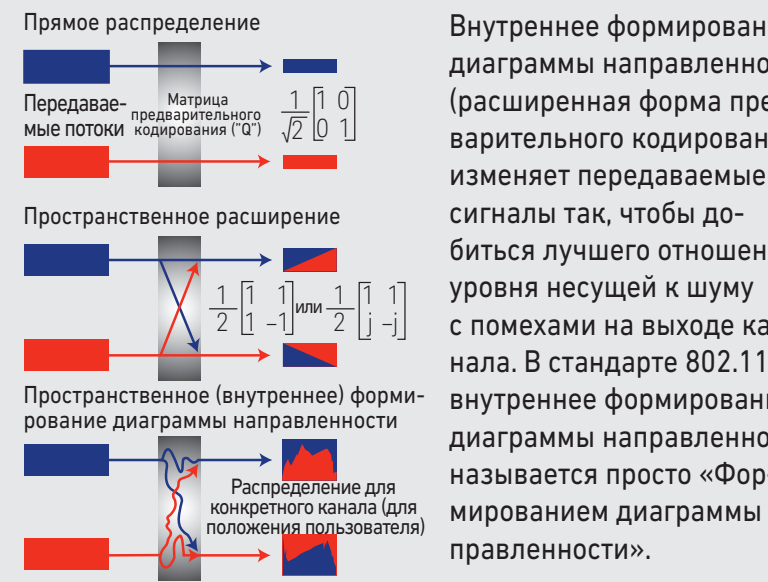
Этот пример показывает каналы с преднамеренным взаимовлиянием для ухудшения коэффициента качества. Канал вызывает дополнительную деградацию центральной поднесущей по отношению к SISO и требует большего отношения несущей к шуму для получения того же значения BER.

Предварительное кодирование и внутреннее формирование диаграммы направленности адаптируют передаваемые сигналы в соответствии с состоянием канала

Имеются два вида MIMO с обратной связью, в которых передаваемые сигналы взаимно связаны в соответствии с текущим состоянием канала. Предварительное кодирование для работы MIMO не нужно, но оно может улучшить параметры, если состояние канала меняется не слишком быстро. В LTE можно выбрать один из трёх передатчиков нисходящего канала 2x2 MIMO (опционально 4x4) с предварительным кодированием



вариантов предварительного кодирования. Некоторые устройства WLAN постоянно применяют индекс кодирования LTE 1 и называют это пространственным расширением.



Используя опорные сигналы (пилот-сигналы), можно выполнить межканальные измерения анализатором с одним входом

Пилот-сигналы в LTE и WiMAX уникальны (ортогональны) для каждого передатчика. Предварительное кодирование они не подвергаются. WLAN использует слишком мало пилот-сигналов и не позволяет выполнять такие измерения.

Матрица нисходящего канала A (2 x 1 STC) или Матрица нисходящего канала B (2 x 2 MIMO)



Metric	Tx0/Rx	Tx1/Rx	Tx2/Rx	Tx3/Rx
RSPwr	0 dB	-0.02 dB	---	---
RSCVM	1.81 %rms	1.80 %rms	---	---
RSCTE	88.2 m/rms	108.3 m/rms	---	---
RSTiming	-0.0 sec	950.7 psec	---	---
RSPHase	0.0 deg	-24.3 deg	---	---
RSSymClk	0 ppm	-0.080 ppm	---	---
RSTFreq	0.00 Hz	218.9 mHz	---	---

- Отдельные измерения:
- Анализ модуляции
- Развязка

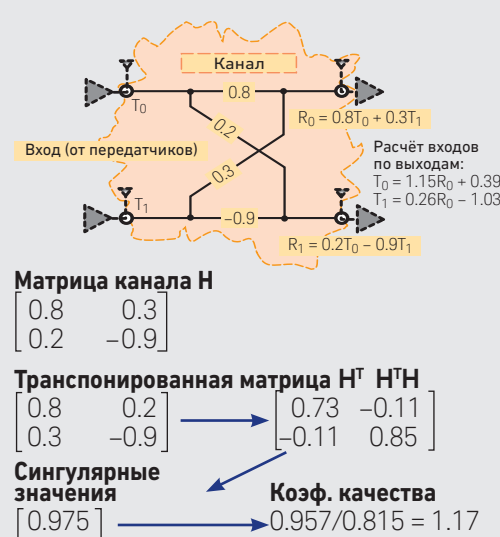
- Измерения с сумматором:
- Относительные временные параметры
- Фаза ВЧ сигнала

Коэффициент качества определяет кратковременные характеристики канала MIMO

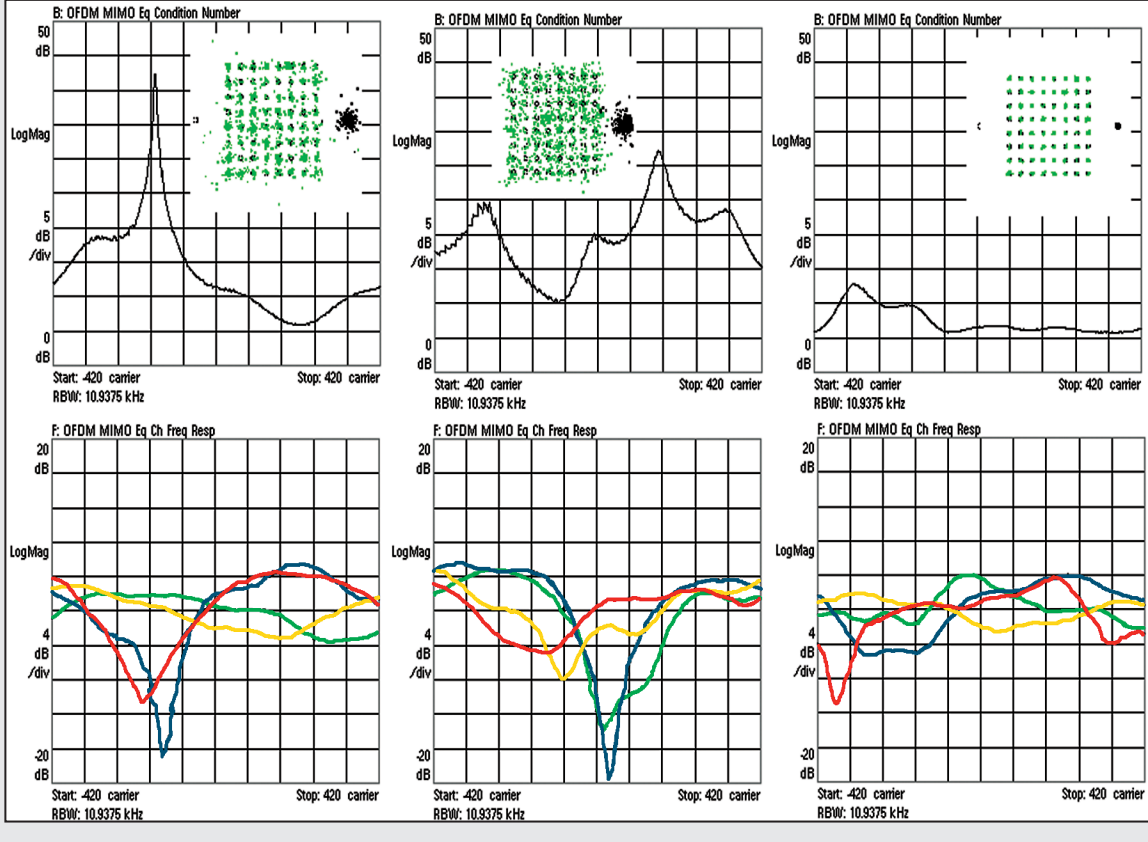
Ёмкость канала MIMO связана с коэффициентом качества следующим уравнением:

$$C = \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{\rho}{N} \sigma_i^2(H) \right)$$

Где N = число независимых пар передатчик-приёмник
 $\sigma_i^2(H)$ = сингулярные значения матрицы радиоканала H
Коэффициент качества равен отношению сингулярных значений

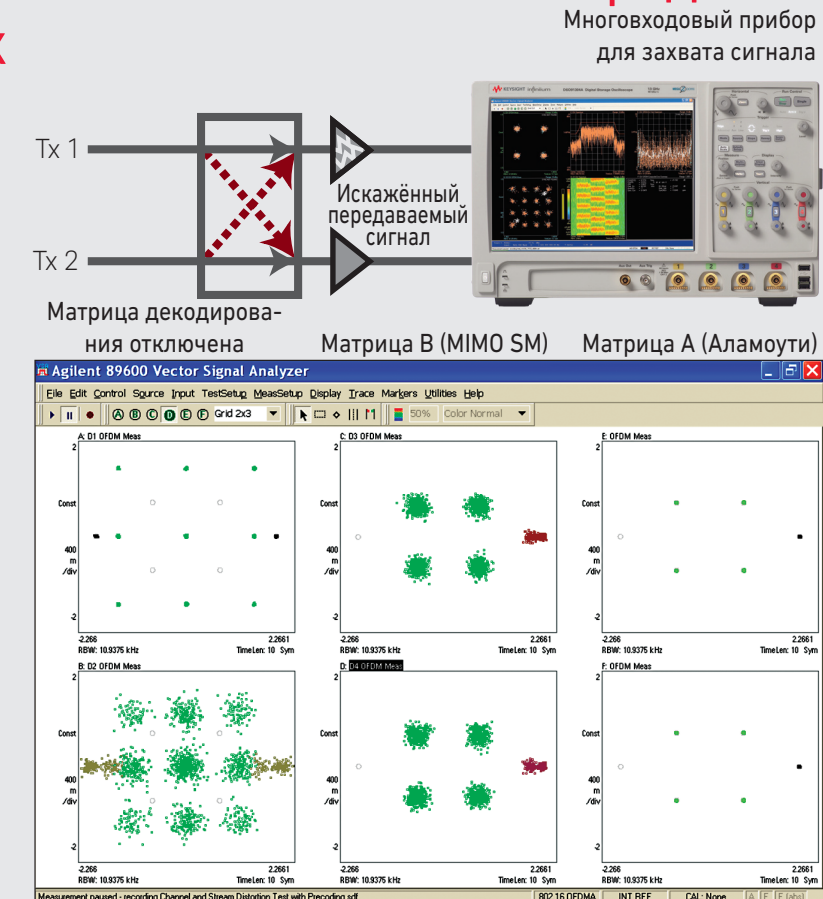


Это измерение по двум входам показывает ошибки, возникающие в ВЧ и аналоговом оборудовании. Графики показывают зависимость коэффициента качества и АЧХ от номера поднесущей в сигнале WiMAX и результирующие сигнальные созвездия.

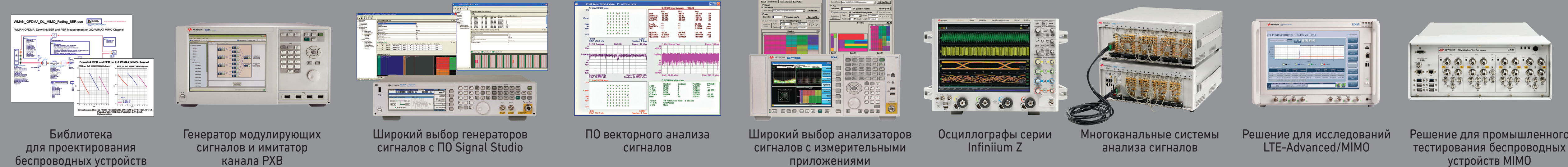


Искажение одного компонента может повредить все потоки данных

В качестве примера можно привести передатчик, один из усилителей которого входит в режим ограничения. При отключенной матрице декодирования искажается лишь один канал. С матрицей B (MIMO SM) искажаются оба потока. На матрицу A (Аламути) или многоантенную передачу это не влияет.



Решения Keysight для проектирования и тестирования MIMO



"WiMAX" является товарным знаком Форума WiMAX.



HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = MIMO INSIGHTS

www.keysight.com/find/mimo