# Интерференция в WiGig сетях и методы борьбы с ней

## Введение

Сегодня в области беспроводной связи наблюдается явная тенденция увеличения скоростей передачи данных и, как следствие, нехватка доступного радиоспектра. В связи с этим, предметом активного исследования выступает возможность применения миллиметрового диапазона в сетях беспроводной связи пятого поколения. Среди возможных кандидатов выступает технология 802.11ad/WiGig, которая отличается малым радиусам действия и частотой в 60 ГГц. Стандарт 802.11ad считается одним из наиболее перспективных решений для высокопроизводительных беспроводных систем.

В миллиметровом диапазоне для компенсации больших потерь на трассе (сигналы высокой частоты быстро затухают) обычно используется сравнительно новая технология beamforming, позволяющая формировать диаграмму направленности, направленную максимумом точно в сторону приемника. В современной радиоэлектронной аппаратуре beamforming реализуется на основе ФАР (фазированных антенных решеток). На практике beamforming позволяет обеспечить возможность управления лучом в диапазоне 100 – 120 градусов, поэтому в случае использования этой технологии для точек доступа необходимо использовать несколько антенных радиомодулей для достижения охвата во всем диапазоне углов до 360 градусов.

При размещении большого количества мобильных станций предпочтительно использовать для каждого радиочастотного модуля отдельный канал связи. Однако, в диапазоне 60 ГГц доступны только 4 канала (подробнее об этом здесь), и беспроводные линии связи при этом могут испытывать большие помехи, рисунок 1:

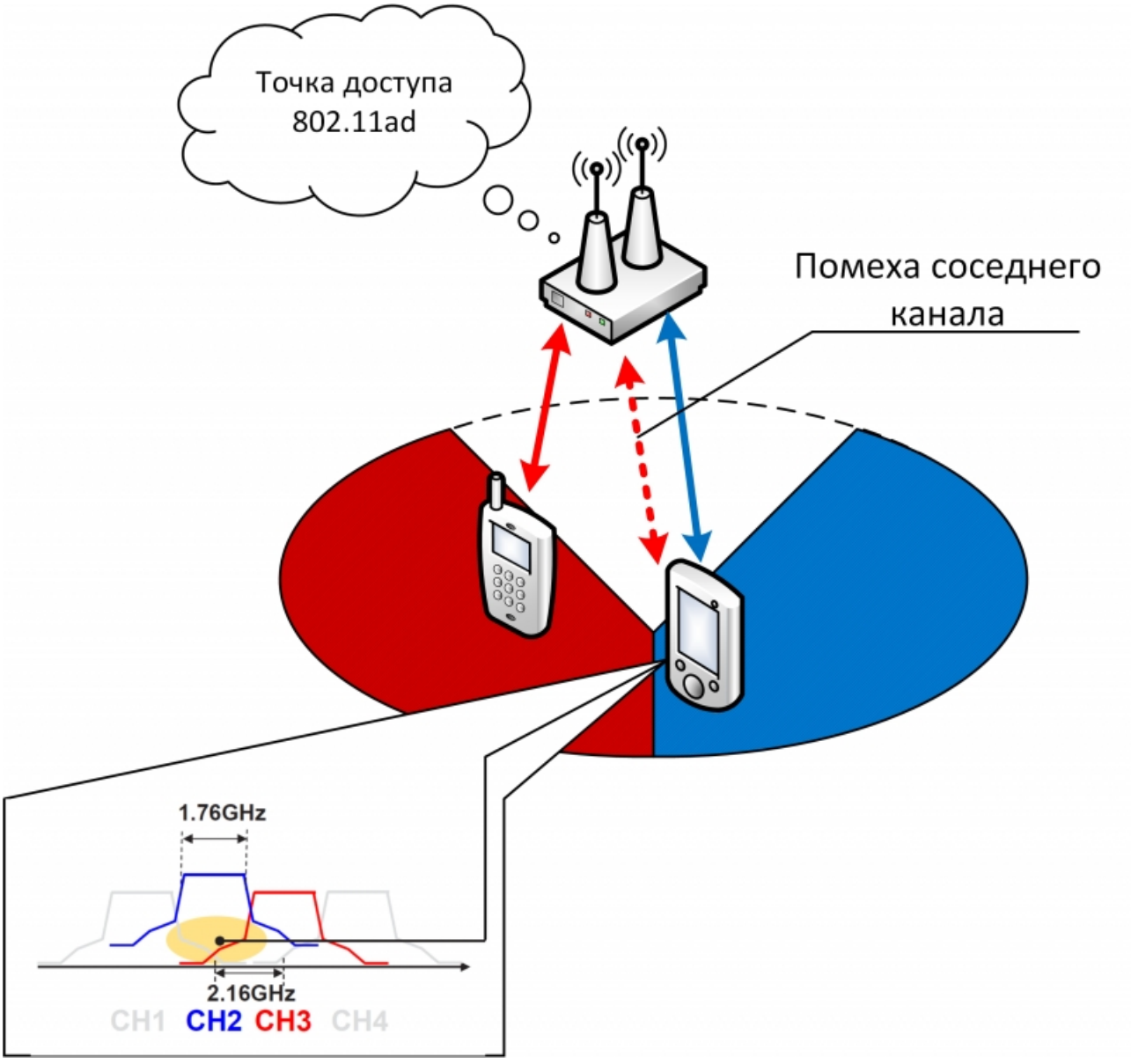



*Рисунок 1*

IEEE 802.11ad / WiGig использует чрезвычайно широкую полосу пропускания 1,76 ГГц на один канал с

интервалом между ними в 2,16 ГГц. Это приводит к тому, что в отличие от обычных сотовых систем, приемопередатчик с частотой 60 ГГц обладает плохой избирательностью по каналу, что потенциально вызывает большие помехи в соседнем канале в зависимости от местоположения мобильной станции. Ниже мы рассмотрим, как влияет интерференция между соседними каналами в 60-гигагерцовых сетях, ответим на вопрос, какую методику подавления помех можно использовать, а также насколько она эффективна.

## Интерференция в сетях 802.11ad

Ниже будет приведена оценка того, как интерференция в сетях малого радиуса действия может влиять на качество связи. Задача поясняется рисунком 2, на котором показано, что точка доступа размещается на высоте 110 см в трехмерной системе координат (x,y,z)=(0,0,110). Точка с координатами x=0 соответствует границе зон покрытия двух мобильных станций (STA - Station).

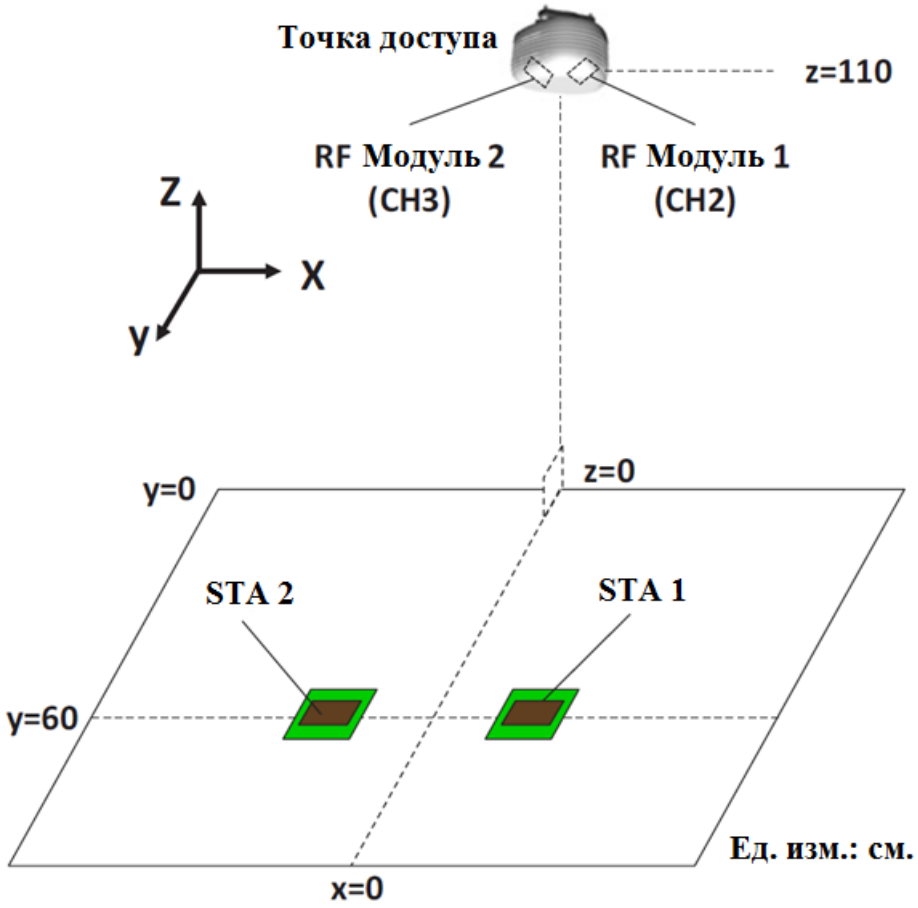



*Рисунок 2*

Мобильные станции STA1 и STA2 размещаются в местах, соответствующих координатам (x,y,z)= (5,60,0) и (x,y,z)=(-5,60,0) соответственно. На рисунке 3 показаны два типичных случая, когда помехи в соседнем канале влияют на качество приема STA.

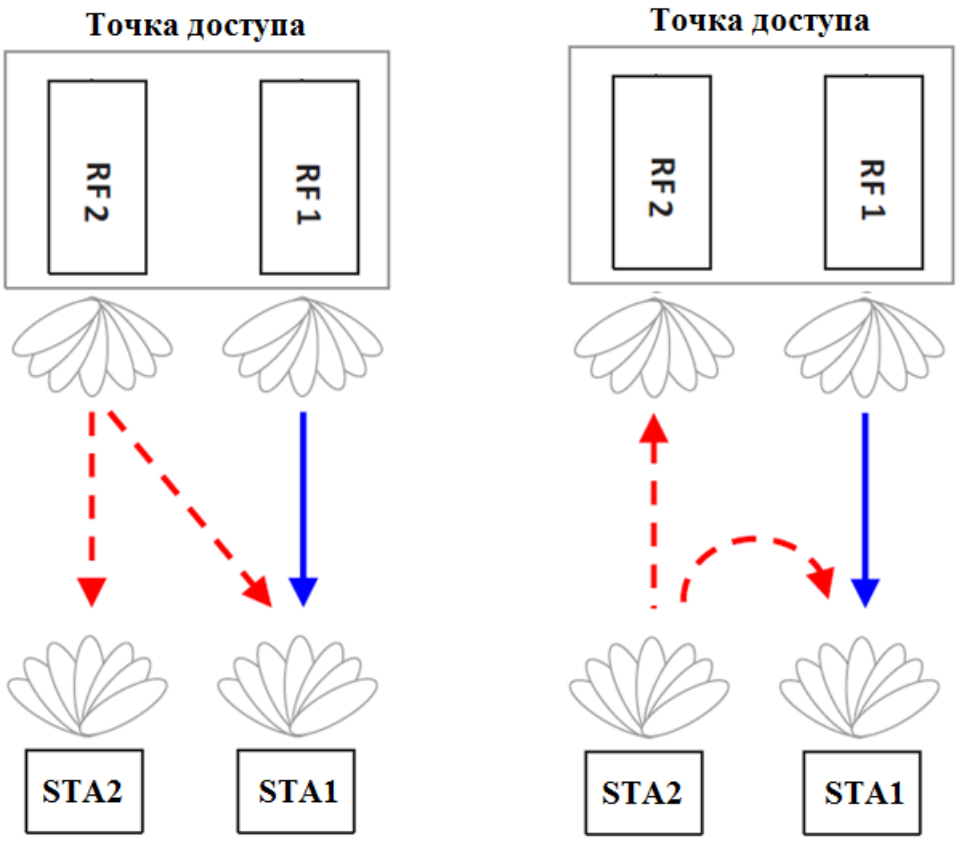



*Рисунок 3*

Сплошными синими линиями показаны полезные сигналы во втором канале (CH2), пунктирными красными линиями – сигналы помехи от третьего канала (CH3). На рисунке 4 покажем временные диаграммы пакетов, передаваемых двумя сигналами:

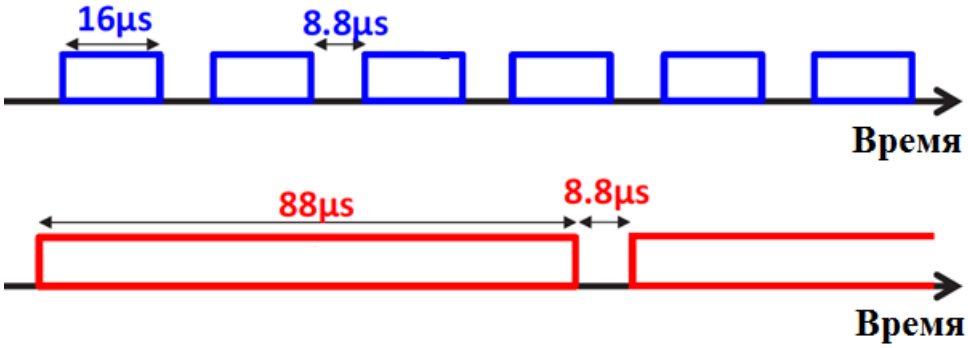



*Рисунок 4*

Из рисунка следует, что STA1 принимает короткие пакеты с высокой пропускной способностью, а STA2 – длинные пакеты с низкой пропускной способностью. При этом качество связи можно оценить путем измерения коэффициента ошибок пакетов (PER - Packet Error Rate) в требуемой мобильной станции STA. В таблице 1 приводятся результаты измерений частоты ошибок PER для рассматриваемых двух случаев: первый (рисунок 3 слева), когда помеха от точки доступа оказывает влияние на соседнюю STA1, и второй (рисунок 3 справа) - источником помехи для STA1 является непосредственно мобильная станция STA2. Рост PER наблюдается только в первом случае и составляет 12.4%.

Таблица 1 – Измерение частоты ошибок в STA1

| | **Помеха от ТД на STA1** | **Помеха от STA2 на STA1** |
|---|---|---|
| **PER (коэффициент ошибочно принятых пакетов), %** | 12.4 | 0 |

Основываясь на результатах измерений, можно сделать вывод о том, что когда STA размещены довольно близко друг к другу, снижение производительности вызвано, в основном, мешающим сигналом от точки доступа, который поступает в том же направлении, что и полезный сигнал.

## Подавление интерференции с помощью beamforming

Для уменьшения помех от точки доступа в мобильной станции STA может быть использован гибридный метод аналово-цифрового beamforming'а для Rx лучей, который рассматривается здесь. Он позволяет эффективно противодействовать помехам, а его реализация имеет довольно малый габаритные размеры, как показано на рисунке 5 вместе с блок-диаграммой (схема заимствована из указанного источника):

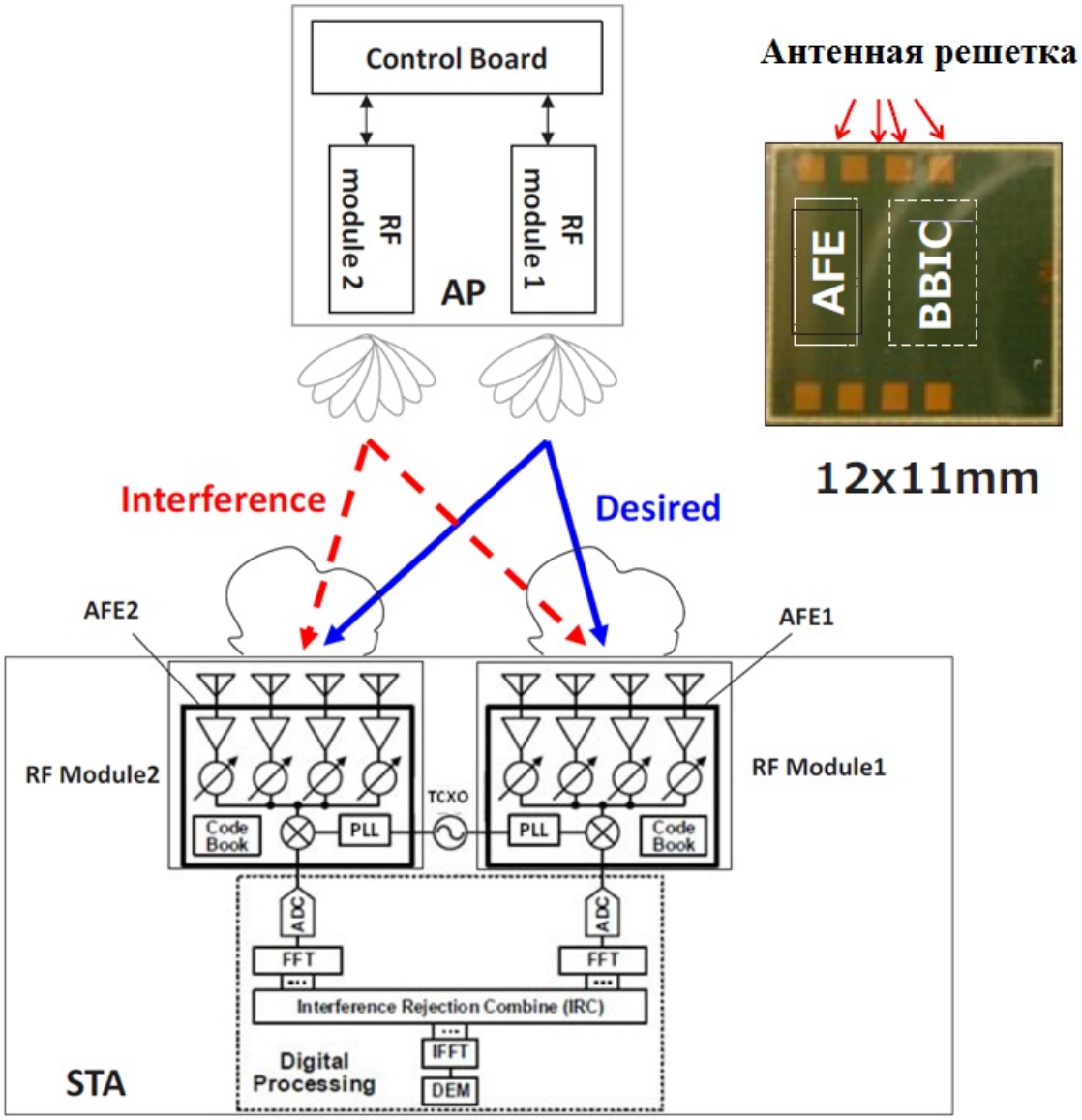



*Рисунок 5*

В схеме производится автоматическое формирование диаграммы направленности, необходимой для качественного приема сигнала от абонента, то есть имеющая максимум излучения в направлении на источник сигнала, и минимум – в направлении помехи (рисунок 6).

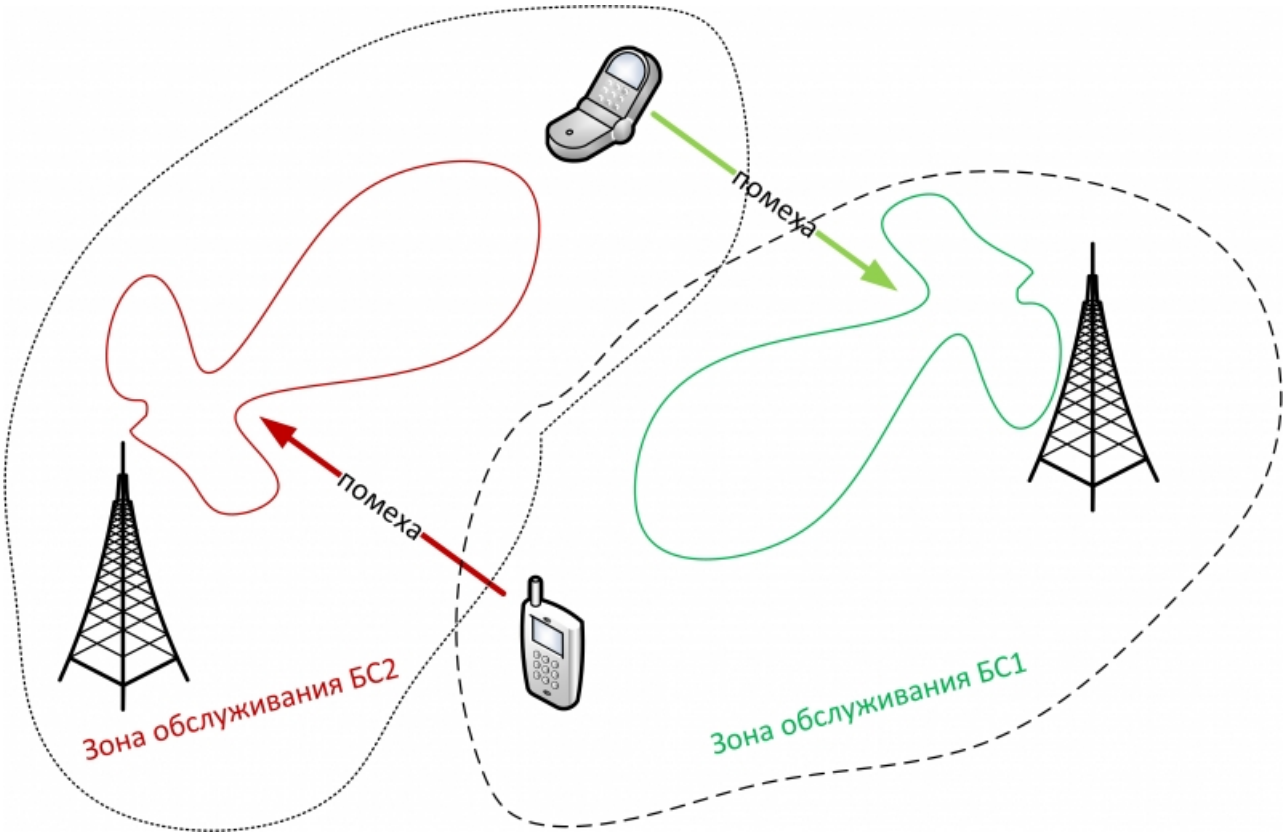



*Рисунок 6*

Рассмотрим более подробно схему, изображенную на рисунке 5. В рассматриваемой схеме два блока, формирующие заданную диаграмму - AFE (Analog Front-End) управляются общим генератором TCXO (temperature compensated crystal oscillator), который также используется в качестве опорного сигнала для блока PLL (phase locked loop – фазовой автоподстройки частоты). Полученные сигналы от AFE подаются в блок цифровой обработки (ADC), который производит объединение для подавления помех в блоке IRC (Interference Rejection Combining). IRC – это алгоритм подавления комбинированных помех от соседних источников (интересующиеся подробнее о нем могут прочитать здесь. С использованием IRC пользователь получает более высокие скорости передачи данных благодаря снижению уровня помех (и как следствие – увеличению SNR). Алгоритм IRC обеспечивает формирование нужной диаграммы направленности, которая подавляет усиление Rx в направлении помех, рисунок 7.

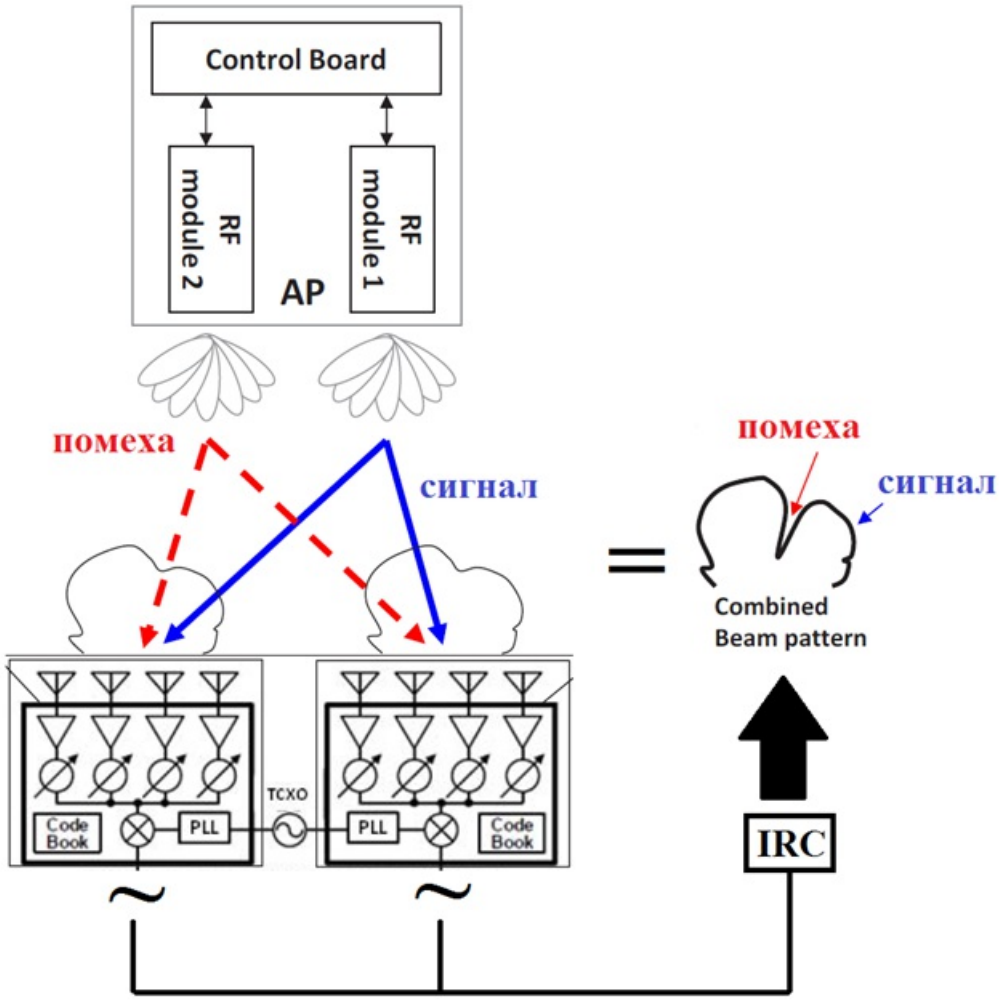



*Рисунок 7*

## IRC. Оценка степени подавления интерференционных помех

В обычных антенных MIMO-системах для подавления помех используется метод пространственно-временной обработки сигналов по критерию минимума среднеквадратической ошибки (Minimum Mean Square Error - MMSE), в то время как IRC использует информацию о направлении подавления помехи, что приводит к улучшению отношения SNR. MMSE используется в LTE сетях, начиная с Release 8, опубликованного в 2012 году и на первых этапах хорошо себя зарекомендовал, однако в виду того, что ситуация в микроволновом диапазоне за последние 5 лет довольно сильно изменилась, то на смену ей рано или поздно окончательно придет алгоритм IRC, который уже применяется во многих решениях. Ниже приводятся результаты сравнения MMSE и IRC для подавления интерференционных помех. Схема эксперимента изображена на рисунке 8.

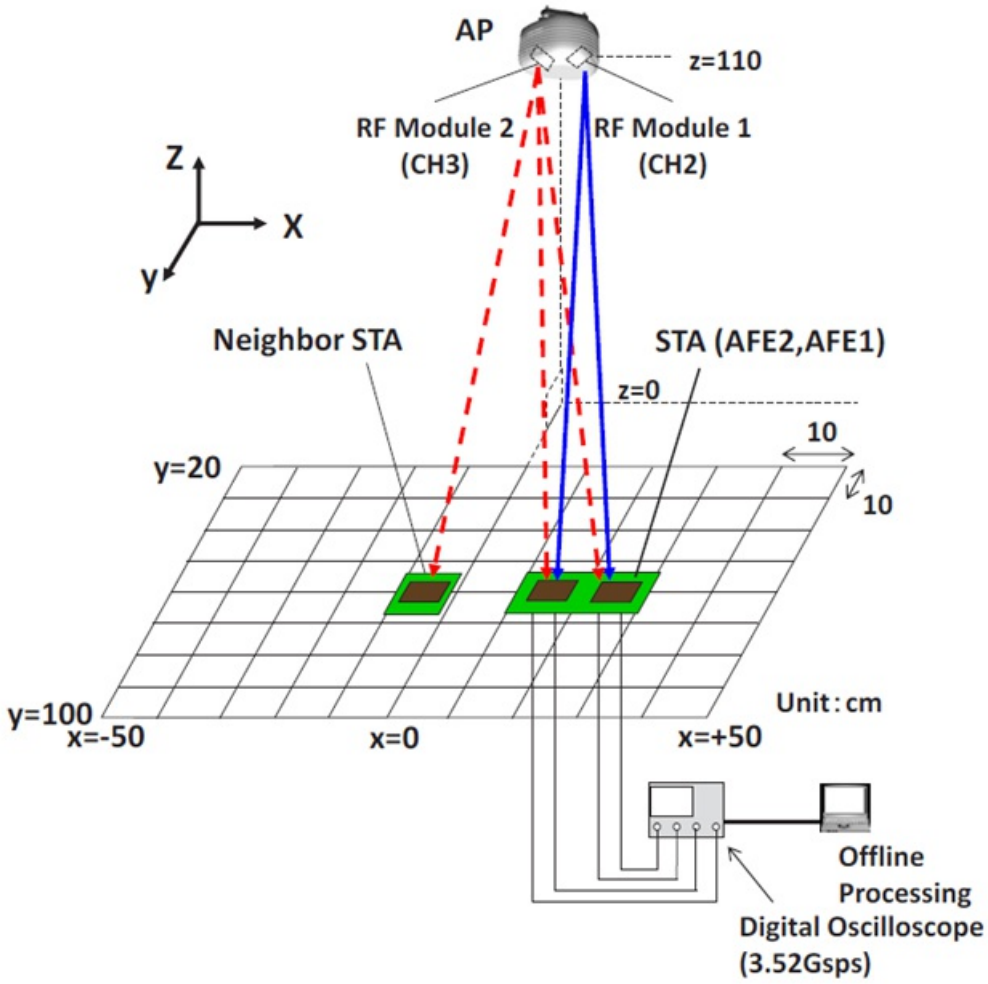



*Рисунок 8*

Точка доступа находится на высоте 110 см, расстояние между AFE1 и AFE2 (управляемые модулями RF 1 и RF 2 в STA1) составляет 10 см. Расположение STA изменяется в области 100x80 см в диапазоне -50≤x≤50 – в горизонтальной плоскости, и 20≤y≤100 в вертикальной плоскости с шагом в 10 см и составляет, таким образом, 99 точек измерения. В каждой точек измерется уровень сигнала от AFE с помощью цифрового осциллографа, а затем с помощью цифровой обработки сигналов (средствами Matlab) измеряется величина вектора ошибок EVM. Относительная величина контролируемых пакетов соответствует рисунку 4. Результаты измерений опубликованы здесь.

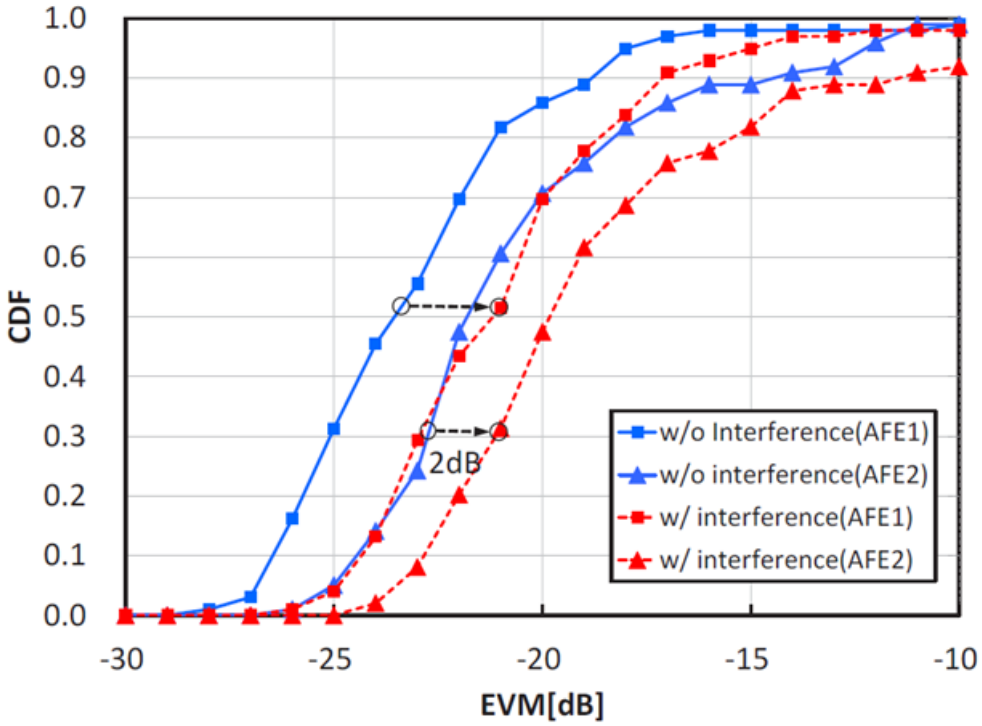


*Рисунок 9а*

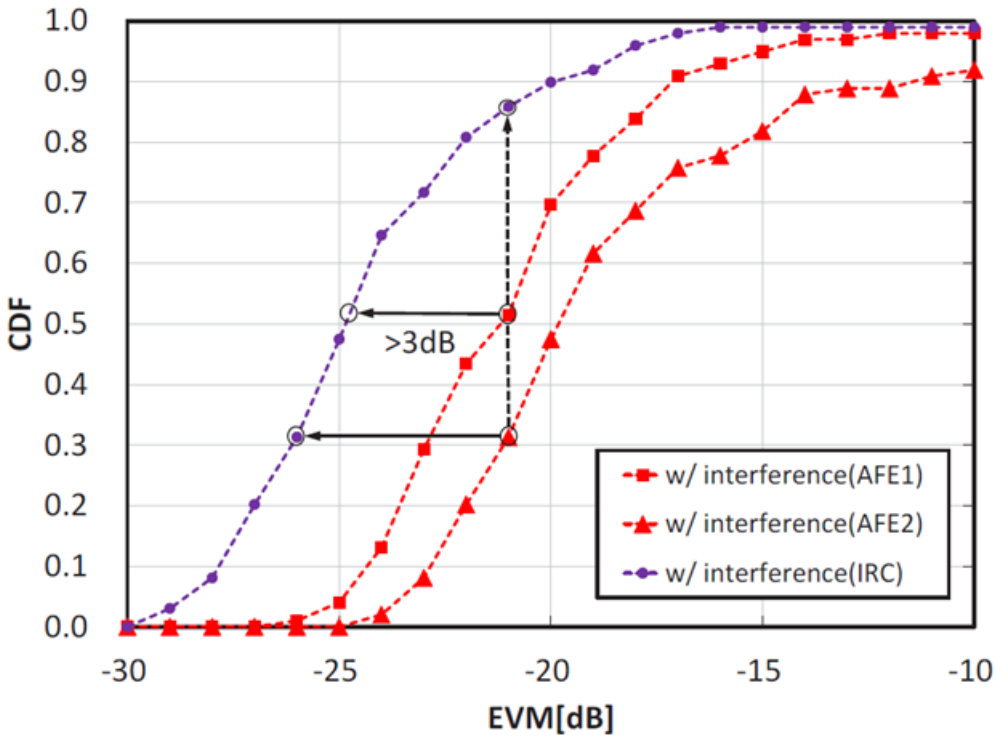



*Рисунок 9б*

На рисунке 8а изображена функция распределения (CDF) измеренного EVM для одного потока Rx от каждого из AFE. На рисунке 8б изображена та же функция распределения двух потоков IRC Rx. В однопоточном случае вследствие воздействия помех наблюдается ухудшение качества сигнала на 2 дБ. Как показано на рисунке 8б, IRC Rx показывает на 3 дБ лучшие результаты в сравнении с однопоточным AFE Rx. Чувствительность Rx составляла -21 дБ для 16-QAM, а зона покрытия одного потока Rx составляла 30-52% исследуемой области измерения, тогда как для двух потоков IRC Rx она составляла 86%. Таким образом, применение IRC обеспечивает не только улучшение EVM, но и увеличивает в ~1.5 раза зону радиопокрытия.

Также проводилась оценка EVM для обычного метода MMSE Rx, а затем это значение сравнивалось с IRC Rx. Результаты измерений показаны в таблице 2. Отрицательные значения указывают на то, что IRC Rx превосходит MMSE Rx. Значения со знаком плюс означают, что в этом случае применение MMSE лучше в сравнении с IRC Rx.

| y \ x | −50 | −40 | −30 | −20 | −10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | −0.8 | +0.2 | −0.6 | −0.2 | −0.7 | −0.8 | +0.3 | +0.1 | −0.1 | −0.2 | −0.6 |
| 30 | −0.6 | −0.3 | −0.1 | −0.7 | −0.1 | −0.4 | −0.1 | +0.0 | 0.0 | −0.1 | −0.8 |
| 40 | +0.1 | −0.2 | −1.3 | −0.1 | −0.6 | −0.1 | +0.1 | −0.1 | −0.3 | −0.2 | −0.4 |
| 50 | −0.4 | −0.2 | −0.3 | +0.2 | −0.3 | −0.2 | −1.1 | −1.4 | +0.4 | +0.4 | −0.1 |
| 60 | −0.0 | −0.4 | −0.1 | +0.2 | −0.4 | −0.1 | +0.4 | +0.1 | +0.4 | −0.1 | +0.2 |
| 70 | −1.3 | −0.3 | −0.4 | +0.0 | −0.2 | +0.3 | −0.2 | +0.0 | −0.1 | +0.3 | +0.0 |
| 80 | −0.7 | −0.5 | −0.5 | −0.4 | −0.2 | −0.4 | −0.1 | +0.2 | +0.2 | −0.2 | −0.5 |
| 90 | −0.4 | −0.9 | −0.7 | −0.3 | +0.3 | 0.0 | −0.1 | −0.1 | −0.0 | −0.4 | +0.1 |
| 100 | −1.7 | −0.2 | −1.1 | +0.3 | −0.4 | +0.0 | −0.7 | −0.2 | +0.0 | +0.3 | −0.1 |

—: IRC is better than MMSE, +: MMSE is better than IRC  Unit:dB

*Таблица 2 – сравнение MMSE и IRC*

Можно отметить, что IRC Rx показывает лучшую производительность в большинстве точек измерения. Также можно заметить, что левая боковая область (x<0) имеет лучшие значения по сравнению с правой (x>0). Это связано с тем, что помехи из соседнего канала (рисунок 7) в левой части больше, так что IRC Rx может достичь большего подавления помех, чем помеха обычного MMSE Rx. В таблице 2 приведены результаты с точки зрения зоны покрытия, в целом IRC Rx показывает лучшие результаты измерения EVM до 73% от общей площади.

## Заключение

В данной статье приведены результаты оценки влияния помех от соседних каналов в среде с малыми

ячейками 60 ГГц. Согласно измерениям, PER ухудшается из-за помех в соседнем канале, которые в основном создаются несколькими радиочастотными модулями в точке доступа. Чтобы уменьшить это негативное влияние, используется метод подавление помех с помощью IRC (Interference Rejection Combining) с двумя потоками. Измерения показали улучшение в EVM, а также расширение зоны покрытия ячейки, демонстрируя эффективность применяемого метода для небольших систем с использованием IEEE 802.11ad / WiGig. Таим образом можно сделать вывод, что в миллиметровом диапазоне длин волн с интерференцией можно эффективно бороться с помощью данного метода IRC, который постепенно придет на замену частоиспользуемому MMSE. Релиз беспроводного оборудования 802.11ad в 2016 году пока не включает поддержку IRC, но как только такие устройства появятся их можно будет смело брать на вооружение и интегрировать в работающие Wi-Fi сети надеясь на стабильную работу устройств с гигабитными скоростями.