

# Resenha: 802.11 with Multiple Antennas for Dummies

Jessica de Souza

Engenharia de Telecomunicações, Instituto Federal de Santa Catarina  
<jessica.souzajds@gmail.com>

## 1 Bibliografia

Halperin, D. , et. al. **802.11 with Multiple Antennas for Dummies**. University of Washington. 2010.

## 2 Introdução

Sabe-se que múltiplas antenas no receptor podem melhorar a recepção através da escolha do sinal mais forte recebido, ou através da combinação de sinais individuais no receptor. Isso fez com que se pensasse que se houvesse uma replicação deste conceito para ambos transmissor e receptor, poderiam ser obtidos grandes ganhos de performance. E isto foi feito em um sistema chamado MIMO, que significa Multiple-Input Multiple-Output.

No sistema MIMO, para ambientes dispersos sem fio com frequências de 2.4 ou 5 GHz, os pares com múltiplas antenas podem fornecer caminhos independentes entre transmissor e receptor, o que é caracterizado como grau de liberdade espacial. Este grau de liberdade muda a relação entre potência e capacidade/segundo/Hz. Por exemplo, utilizando o teorema de Shanon, a cada vez que a potência do sinal é dobrada, isso aumenta um bit/segundo/Hz. Porém, com N antenas em cada ponta (Tx e Rx), a capacidade aumenta em N bits/segundo/Hz para cada vez que a potência é dobrada, aumentando de forma linear.

Hoje em dia, os sistemas MIMO são usados pela maioria dos sistemas sem fio de alta taxa, como por exemplo: 802.11n, sistemas móveis 4G (WiMAX e LTE). Sendo que a tecnologia 802.11n é uma extensão da 802.11a/g, porém com a técnica de uso de múltiplas antenas na camada física.

Podemos diferenciar ambos 802.11a/g e 802.11n da seguinte maneira: o modo de uso das antenas. No primeiro, são usados como Access Points, sendo que estes escolhem a melhor antena para enviar e receber um pacote (ainda assim usando apenas uma antena). Em termos de processamento de sinal, ainda são considerados sistemas SISO (Single-input Single-output). Já no segundo caso, são usadas múltiplas antenas no transmissor e receptor e elas enviam dados ao mesmo tempo. O que é permitido através do uso de cadeias múltiplas de processamento RF e o processamento dos sinais é realizado na camada física.

Podem-se citar duas classes básicas de técnicas de antenas usadas em 802.11n: diversidade

espacial e multiplexação espacial. A diversidade espacial aumenta a confiabilidade e alcance através da transmissão ou recepção de streams redundantes em paralelo, através das diversas antenas usadas. Afinal, é pouco provável que todos os canais apresentarão problemas ao mesmo tempo. Já a multiplexação espacial aumenta a performance através do envio de streams independentes em paralelo, através das diversas antenas usadas. Isso causa uma melhora na performance pois não interfere nos outros dados que são enviados entre cada antena.

Realizando um comparativo de performance entre 802.11a/g e 802.11n, a maior taxa de dados do primeiro é de 54 Mbps, já o segundo é 600 Mbps. Isso é uma diferença de 11 vezes mais. Deste fator 11, 4 se deve ao uso de 4 antenas, 2 se devem ao uso do dobro da largura dos canais que são de 40Mhz e o restante vem de ajustes no OFDM. Porém na prática nem todos os dispositivos clientes usam 4 antenas devido à espaço e potência. Já APs tendem a ter mais antenas por causa de performance.

## 3 Conceitos de Canais Sem Fio

### 3.1 Tipos de interferência

Em comunicações sem fio, a performance de um canal é determinada pela relação sinal-ruído, que mede a força de uma transmissão em relação ao ruído térmico no receptor. Um sinal atenuado pode ter este efeito através de diversas causas: perda de percurso (o sinal é espalhado em uma área maior, sendo esférica ou outra forma geométrica dependendo se a antena for direcional ou omnidirecional) que pode causar a redução do sinal rapidamente pelo quadrado da distância percorrida; outro efeito é o desvanecimento (enfraquecimento do sinal durante o seu percurso), onde o sinal percorrido passa por obstáculos como água, metais e vidros e isso pode refletir ou refratar o sinal em seu caminho, também chamado de sombreamento.

O pior tipo de desvanecimento em 802.11 é por multi-percurso, principalmente por superfícies de vidros e metais que são algo comum em ambientes internos. O desvanecimento de multi-percurso pode causar mudanças rápidas no sinal, ou desvanecimento rápido de acordo com a localização do receptor, sendo que o sinal recebido pode variar devido ao tempo, frequência e espaço. São realizados cálculos de probabilidade de desvane-

cimentos rápidos acontecerem em uma transmissão.

### 3.2 Técnicas utilizadas

Uma técnica muito usada em sistemas sem fio é a de diversidade, que é o espalhamento da informação com algumas redundâncias em canais múltiplos. O que aumenta a confiabilidade do canal e o deixa imune a desvanecimentos profundos que podem ocorrer. A camada física do 802.11 é baseada em OFDM. O OFDM possui largura de banda de 20 Mhz e particiona essa banda em 64 subportadoras, sendo que cada uma dela pode ser pensada como um canal de banda estreita com 312,5 KHz. Sendo que os dados enviados usam as subportadoras com a mesma modulação, mesmo código e potência de transmissão e não há qualquer interferência entre eles pois o canal é diferente tanto de forma computacional quanto espectral. Já que o OFDM possui canais independentes, cada subcanal pode experimentar diferentes desvanecimentos. Além disso, essa divisão aumenta a taxa de símbolos por canal, já que estes estão sendo enviados ao mesmo tempo em paralelo. Uma porção dos dados enviados também usa redundância, que é importante para a correção de erros quando um desvanecimento ocorre.

## 4 Diversidade espacial

Com o uso de múltiplas antenas no transmissor e receptor promove novos canais independente e desvanecidos entre si, mesmo que as antenas estejam separadas por apenas alguns centímetros. Isso adiciona diversidade espacial em um sistema e melhora sua resistência a desvanecimentos, além de melhorar o ganho de potência nas antenas receptoras. Por exemplo: duas antenas receptoras neste caso recebem o sinal do brado.

Porém, este sinal recebido deve ser combinado de forma correta para que seja usado da melhor maneira. O melhor jeito é somar os sinais recebidos, porém não é tão simples assim. O desvanecimento de multi-percurso já faz isso, a cada sinal recebido é feito a soma. Para se diferenciar deste caso os sinais recebidos são atrasados cada um até que todos estejam na mesma fase, para que seja evitada a sobreposição destrutiva dos sinais (ex. quando estão totalmente opostos e ambos sinais somados resultam em zero). Causar estes atrasos aumenta a complexidade do hardware e requer mais consumo de energia, porém possui melhor performance. Além disso, cada sinal recebido possui um peso de acordo com cada relação sinal-ruído, assim evitando a amplificação do ruído. Isso é chamado de combinação de proporção máxima (MRC).

Uma outra técnica de diversidade é a combinação por seleção, que usa apenas a informação recebida da antena com o sinal mais forte. Ela evita as piores antenas, porém não melhora nada

em relação à sinais que já possuem boa SNR porém são desvanecidos em frequência.

O MRC é um tipo de técnica de diversidade que pode ser usada no transmissor e no receptor. Para o lado transmissor, pode ser usada com a técnica por formação de feixe, onde o sinal no transmissor é pré-codificado e atrasado para que sua fase seja alterada antes da transmissão. Assim, quando o sinal for recebido nas antenas, todas elas combinam de forma construtiva o sinal e ponderam estes pela sua SNR. Fazer este atraso e mudança no lado transmissor, reque que este conheça o canal antes de selecionar as antenas para fazer a pré-codificação, assim requisitando as antenas receptoras o fornecimento de um pacote de feedback, com informações como RSSI, seleção de antena ou de taxa e estado do canal. Estes pacotes precisam ser enviados com frequência pois as condições do canal podem mudar com frequência.

Uma outra técnica de diversidade aplicada ao transmissor se chama códigos de espaço-tempo, que não requerem feedback do receptor, mas ao contrário requerem uma mudança no processamento do receptor. São considerados mais simples que a técnica do parágrafo anterior porém sua performance é inferior para o cenário de mais de duas antenas transmissoras.

## 5 Multiplexação espacial

A multiplexação espacial possui um maior grau de liberdade devido ao uso de canais independentes para envio de streams independentes ao mesmo tempo e com a mesma frequência. As streams são combinadas na medida que elas passam pelo canal e na medida que o receptor vai recebendo essas streams, ele deve separar e decodificar estes. Existem diferentes maneiras de processar estes sinais no transmissor e receptor, aqui serão abordados os de forma mapeada-direta e pré-codificada.

A MIMO mapeada-direta é a maneira mais simples de obter multiplexação espacial, pois funciona através da divisão da potência de transmissão igualmente em cada antena transmissora. No receptor, cada stream é recuperada através da inversão da matriz do canal receptor, que ao ser invertida recupera cada stream no canal e anula as streams de canais que não são de seu interesse, sendo assim também chamada de receptor com zero-forcing (ZF). Porém este tipo de técnica pode acabar amplificando ruídos indesejados, podendo aumentar a BER do sinal. Para melhorar isto, foi implementado um detector de mínimo erro médio quadrático (MMSE) para que não haja este tipo de amplificação de ruídos. O MMSE, assim como o ZF possui baixa complexidade computacional.

Já para a MIMO pré-codificada, um canal consiste no uso de caminhos ortogonais, que podem ser acessados através da pré-codificação no transmissor e remodelações geométricas neste. Isso faz com que no receptor a potência do sinal, o sinal em si e ruídos permaneçam inaltera-

dos, semelhante ao que ocorre com o ZF e MMSE. Um algoritmo usado para auxiliar na MIMO pré-codificada é o water-filling, que maximiza a taxa de transferência de sistemas de multi-stream através da alocação de energia no transmissor para um canal particular. Este tipo de abordagem reajusta a potência de transmissão para os melhores caminhos, e enfraquece o com o pior sinal. Porém para que isso seja feito, deve ser escolhido o tipo de modulação e taxas de codificação separadamente para cada stream. Apesar do seu potencial para melhorar a performance de sistemas MIMO, não é usado nos sistemas 802.11n devido a sua complexidade.