

1

Introdução

As comunicações sem fio, particularmente as comunicações móveis pessoais, apresentaram nestas últimas décadas um espetacular desenvolvimento. Um dos grandes impulsionadores deste crescimento foi o aumento da demanda por serviços de comunicações pessoais, que oferecem a cada dia que passa, novas aplicações e serviços cada vez mais elaborados e específicos.

Essas novas aplicações e serviços, definidos por alguns autores como aplicações multimídia em sistemas de banda larga, requerem sistemas que apresentem uma maior qualidade de serviço (menor taxa de erro de bit – BER) e uma taxa de transmissão cada vez mais alta.

O grande problema é que, com base nos requisitos impostos pelas novas gerações de sistemas sem fio, esta melhora na qualidade de serviço e da capacidade do sistema não pode ser obtida simplesmente pelo aumento efetivo da potência de transmissão ou da obtenção de uma banda de transmissão adicional.

A dificuldade de implementar uma melhoria é grande. Para um ambiente sujeito apenas ao efeito do ruído Gaussiano branco, é possível obter uma diminuição de BER de 10^{-2} para 10^{-3} , utilizando-se apenas uma técnica de modulação ou codificação apropriada, e aumentando-se a relação sinal ruído (SNR) em torno de 2 dB. De forma muito diferente, para um ambiente sujeito ao fenômeno de multipercurso, esta mesma diminuição de BER só é obtida com um aumento de SNR superior a 10 dB.

Assim, as tecnologias de transmissão nos enlaces via rádio em sistema de comunicações móveis têm procurado utilizar todos os recursos possíveis para aumentar a capacidade e a confiabilidade destes enlaces. O conjunto de técnicas disponíveis, ou em desenvolvimento, são um retrato impressionante de implementações de conceitos altamente elaborados da teoria de comunicações.

Ao lado das técnicas mais comuns de modulação, codificação e transmissão em diversidade, encontramos hoje antenas adaptativas, adaptação de enlace e os sistemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) [1, 2, 3]. Estes consistem na utilização de múltiplos transmissores e múltiplos receptores no enlace de rádio. A estrutura, ilustrada na Figura 1, com M antenas transmissoras e N antenas receptoras, pode ser vista como um sistema de múltiplos canais, $\{G_{ij}, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N\}$, cujas características condicionam a escolha dos sinais transmitidos, de forma a se obter a maior transferência de informação.

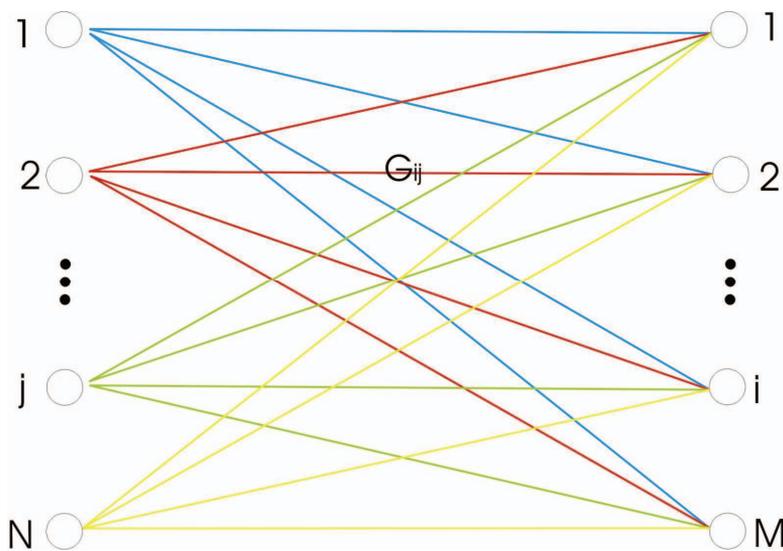


Figura 1 - Sistema MIMO

Neste modelo de múltiplos canais, podemos identificar algumas situações particulares típicas. Se todos os canais forem aleatórios e estatisticamente independentes, tem-se uma situação ideal para a transmissão em diversidade, cuja eficácia depende exatamente da obtenção de réplicas independentes do mesmo sinal. Combinando-se adequadamente estas réplicas, tem-se o ganho de diversidade que aumenta com o número de canais.

Por outro lado, considere-se o caso de um sistema de antenas adaptativas no receptor. Neste caso, a situação ideal é a perfeita correlação entre os sinais coletados nas diversas antenas, os quais são combinados com diferentes pesos, de forma a modificar o diagrama de irradiação, apontar na direção de interesse e, conseqüentemente, melhorar a razão sinal-ruído de um determinado sinal transmitido. Além do ganho de diversidade e do aumento da qualidade do enlace MIMO, nesta condição de canal ideal pode ainda proporcionar a transmissão de

diferentes sinais nos canais paralelos e, assim, aumentar a capacidade do sistema, capacidade esta que irá crescer linearmente com o número de elementos no arranjo [1, 2, 3]. Esse ganho de capacidade é definido como ganho de multiplexação espacial.

Situações mais complexas têm sido bastante investigadas nos últimos anos, procurando-se explorar ao máximo a dimensão espacial intrínseca nos arranjos de antenas e a dimensão temporal intrínseca dos sistemas de modulação e codificação. O exemplo mais conhecido atualmente é o sistema V-BLAST desenvolvido no Bell Labs. [2].

O sistema MIMO apresenta-se como uma das tecnologias capazes de resolver o problema de gargalo do tráfego nas futuras redes de Internet sem fio, e já é apresentado como uma solução para redes WIMAX, para redes 3G, 3,5G e 4G da telefonia celular.

1.1

Motivação

Conforme anteriormente comentado, os sistemas com múltiplas antenas transmissoras e receptoras têm sido apontados como uma solução para aumentar a capacidade de enlaces sem fio, permitindo aos usuários utilizar aplicações com altas taxas de dados. Esses sistemas podem alcançar alta eficiência espectral, porque eles decompõem o canal em vários canais paralelos. Porém, a eficiência desses sistemas depende do ambiente de propagação entre o transmissor e o receptor, já que esses canais necessitam ser independentes. Assim, um alto grau de espalhamento no ambiente é necessário. Contudo, não está claro em termos dos parâmetros do canal o que é um ambiente rico em espalhadores.

O primeiro objetivo da tese é caracterizar o canal espaço-temporal através de medições do canal. A dispersão temporal e espacial dos multipercursos será analisada e os principais parâmetros dos domínios dos retardos e angular serão estimados.

O segundo objetivo da tese é calcular a capacidade do canal MIMO para um canal faixa-estreita e para um canal seletivo em frequência com diferentes larguras de banda. A obtenção dos canais paralelos e das capacidades associadas a eles

será realizada. A capacidade para um sistema MIMO 2x2 com diferentes espaçamentos entre os elementos dos arranjos também será realizada. Por fim, um estudo das relações entre os parâmetros do canal espaço-temporal e a capacidade do canal MIMO será realizado.

1.2

Organização da Tese

O Capítulo 2 apresenta os conceitos de teoria da informação nos sistemas MIMO, ou seja, os ganhos absolutos oferecidos pelos sistemas MIMO em termos dos limites da capacidade.

O Capítulo 3 aborda os modelos de canais MIMO propostos.

O Capítulo 4 apresenta a teoria do canal espaço-temporal e os parâmetros espaço-temporal do canal.

O Capítulo 5 descreve o algoritmo desenvolvido para a estimação dos parâmetros do canal.

O Capítulo 6 apresenta o sistema de medidas desenvolvido para a caracterização do canal.

O Capítulo 7 descreve os resultados obtidos da medida. Por fim, o Capítulo 8 apresenta as conclusões e as propostas para trabalhos futuros.