

1

Introdução

O CDMA (*Code Division Multiple Access*), assim como o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) e o TDMA (*Time Division Multiple Access*) é uma das várias técnicas de multiplexar usuários em sistemas de comunicações sem-fio [1, 2]. Existem vários tipos de CDMA, dentre os quais podem ser destacados o FH-CDMA (*Frequency Hopping CDMA*) [1, 2], o DS-SS-CDMA (*Direct Sequence CDMA*), além dos sistemas CDMA com múltiplas portadoras (*Multicarrier CDMA*) [3]. Este trabalho concentra-se apenas no DS-SS-CDMA, visto que as técnicas de múltiplo acesso mais cogitadas nas propostas para os padrões da 3a. geração de sistemas de comunicações móveis envolvem alguma forma de DS-SS-CDMA [4]. Os usuários são diferenciados por códigos distintos e todos eles transmitem ao mesmo tempo e utilizando todo o espectro de frequências disponível para transmissão. Este código é na realidade uma forma de onda, chamada seqüência de assinatura ou espalhamento, que modula e espalha o sinal de informação. Os usuários são então separados no receptor devido a ortogonalidade, ou quase ortogonalidade, entre as seqüências utilizadas pelos diferentes usuários para transmissão de informação.

Os receptores CDMA convencionais, que utilizam um banco de filtros casados às seqüências de espalhamento de cada usuário, tratam cada usuário separadamente como sinal enquanto que os outros usuários são considerados como ruído. Um dos fatores limitantes da capacidade de um sistema DS-SS-CDMA convencional é a chamada interferência de múltiplo acesso (IMA) decorrente da impossibilidade de manter perfeita ortogonalidade entre as seqüências de espalhamento [5, 6]. Outro fator limitante é o efeito *near-far* que diz respeito ao fato de que o nível da interferência provocada pelos demais usuários depende da distância destes usuários ao receptor do sinal desejado na estação rádio-base (ERB), o que exige, nos sistemas convencionais, rígido controle da potência do sinal transmitido por cada estação móvel.

O uso de seqüências de espalhamento com boas propriedades de correlação cruzada bem como o uso de controle de potência melhoram o desempenho do receptor convencional. Porém, essas técnicas são tomadas do lado do transmissor. O emprego de técnicas de processamento de sinais no lado do

receptor visando uma melhora ainda maior no desempenho do sistema motivou o aparecimento da técnica de detecção multiusuário.

Na detecção multiusuário a informação dos usuários presentes no sistema é usada de forma conjunta a fim de melhorar o desempenho de cada usuário individualmente. O trabalho pioneiro de Verdú [7] propôs e analisou o detector multiusuário ótimo (de máxima verossimilhança). Este receptor porém, apresenta alta complexidade, exponencial com o número de usuários ativos. Devido a este problema uma gama de receptores sub-ótimos começaram a ser propostos. Os receptores multiusuário sub-ótimos podem ser classificados em lineares, onde uma transformação linear adequada é aplicada à saída do banco de filtros casados (Decorrelator [8] e MMSE [9]) ou não lineares (canceladores de interferência serial e paralelo [10, 11]).

A detecção multiusuário é, portanto, uma técnica mais adequada para ser usada na estação rádio-base, onde há o conhecimento dos parâmetros de todos os usuários presentes no sistema. Nos últimos anos houve um grande aumento de pesquisa no sentido de desenvolver receptores multiusuário para o enlace direto (da estação rádio base para os terminais móveis). Como há restrições de peso e espaço nas unidades móveis, os esforços de pesquisa nesta área têm se concentrado no desenvolvimento de soluções de baixa complexidade e que apresentem rápida convergência e boa capacidade para rastreamento de mudanças no canal de comunicações. Como cada terminal conhece apenas o código de espalhamento designado para ele, estas técnicas de detecção multiusuário no enlace direto são mais apropriadamente chamadas de técnicas de supressão de interferência.

1.1

Organização da Tese

No capítulo 2 é apresentado o modelo de sistema adotado neste trabalho. São considerados o enlace direto (da estação rádio base ao terminal móvel) e o enlace reverso (dos terminais móveis à estação rádio base) de um sistema de comunicações DS-CDMA. O capítulo termina com uma breve revisão do receptor convencional e das principais técnicas de detecção multiusuário em sistemas DS-CDMA.

O capítulo 3 dedica-se a receptores lineares não supervisionados para o enlace direto. São abordados projetos de receptores baseados no critério de mínima variância (MV) e módulo constante (CM) para canais planos e seletivos em frequência. Um receptor CDMA cego de mínima variância com estimação conjunta de canal para canais seletivos em frequência é proposto. A solução é desenvolvida utilizando uma estimativa melhorada da matriz de correlação do

sinal observado e um método de estimação de canal de baixa complexidade, baseado nas potências da matriz de correlação das observações, ambos os métodos propostos recentemente na literatura. O desempenho do receptor é investigado e resultados de simulações mostram melhoras significativas para o receptor proposto. Esta contribuição gerou a publicação de um artigo na Vehicular Technology Conference em 2004 (VTC-Fall 2004) [12].

No capítulo 4 são apresentadas implementações adaptativas para os receptores desenvolvidos no capítulo 3. São apresentadas as soluções adaptativas baseadas no gradiente estocástico (SG) e na técnica *Recursive Least Squares* (RLS) existentes na literatura. Algoritmos adaptativos às cegas do tipo *Affine-Projection* (AP) baseados nos critérios de mínima variância com restrições (CMV) e módulo constante com restrições (CCM) são propostos. Um artigo resultante desta parte do trabalho foi publicado na International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) de 2006 [13]. Para encerrar o capítulo é apresentada uma análise de erro médio quadrático em estado estacionário para alguns dos algoritmos descritos.

No capítulo 5, são propostas estruturas canceladoras de interferência. Inicialmente é proposto um esquema de cancelamento de interferência paralelo (PIC) linear adaptativo para canais multipercurso. Esta parte do trabalho publicada no International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA) de 2006 [14]. A seguir, uma estrutura de cancelamento de interferência serial iterativa (IT-SIC), um cancelador de interferência híbrido (HIC) e sua versão iterativa (IT-HIC) são propostos e seus desempenhos são avaliados através de simulações por computador. Este conjunto de receptores gerou publicação no International Telecommunications Symposium (ITS) de 2006 [15]. Uma versão estendida do trabalho foi submetida para publicação na IET Communications [16]. Todos os projetos de receptores deste capítulo são baseados no critério de módulo constante (CM).

Finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões da tese e sugestões para a continuidade deste trabalho.

Vale a pena destacar também, que algumas das idéias desta tese já foram estendidas para sistemas CDMA com múltiplas portadoras [17, 18] e para sistemas OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* [19] com algum sucesso