

1

Introdução

O ramo de sistemas celulares é um dos que apresentam maior crescimento no mercado das telecomunicações, sendo foco de um crescente número de pesquisas que levaram a tecnologia celular, a ser, hoje em dia, parte da vida das pessoas nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. No seu início, na segunda metade dos anos 70, a telefonia celular foi concebida somente para transmissão de voz. Atualmente, este sistema é capaz de fornecer serviços como transmissão de dados, áudio, vídeo etc. o que por sua vez demanda a transmissão de dados em taxas cada vez mais altas. Os sistemas além da terceira geração 3G possuem requerimentos de transmissão de dados, capacidade, eficiência e mobilidade cada vez mais exigentes. Um dos desafios é imposto pelos recursos limitados de espectro do meio aéreo, com diferentes usuários compartilhando a mesma faixa de frequência [1], dando origem a interferência de múltiplo acesso, IMA. Outros efeitos indesejáveis dizem respeito ao multipercurso, em que o sinal chega ao destino através de vários caminhos em tempos diferentes. A presença de canais com multipercurso em um sistema celular, limita severamente o seu desempenho. Um dos efeitos deletérios deste tipo de canal, quando sistemas convencionais de transmissão serial dos símbolos de informação são utilizados, é o surgimento da interferência entre símbolos (ISI). Uma alternativa para lidar com este problema é a adoção de transmissão por blocos (de símbolos), que dá lugar à presença de interferência entre blocos (IBI), mas que pode ser evitada por meio da inserção de um intervalo de guarda. A inserção de um intervalo de guarda apropriado permite também a significativa simplificação do processo de estimação de canal/equalização na recepção, com este procedimento sendo realizado no domínio da frequência [2, 3, 4, 5, 6]. Após a inserção do intervalo de guarda, os blocos de símbolos resultantes podem ser transmitidos em forma de portadora única (SC- Single Carrier Block Transmission) ou multiportadora (MC - Multi Carrier Block Transmission). Um esquema eficiente de transmissão multiportadora por blocos que permite a redução da faixa de frequência requerida para a transmissão utiliza sub-portadoras ortogonais entre si (OFDM-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [7, 8, 9].

Para satisfazer os crescentes requerimentos de capacidade e eficiência, novas tecnologias foram investigadas. Combinações da técnica de múltiplo acesso CDMA (Code Division Multiple Access) [10], com a técnica de transmissão multiportadora OFDM originaram diferentes esquemas de múltiplo acesso: CDMA multiportadora (MC CDMA) [11, 12, 1, 13], e DS-CDMA multiportadora (MC DS-CDMA) [14]. Esquemas de múltiplo acesso têm sido propostos também em modulação de portadora única. O sistema de transmissão por blocos CDMA de portadora única (SC CDMA) é o conhecido DS-CDMA com intervalos de guarda entre os símbolos [15, 16]. Os esquemas de transmissão em blocos com portadora única não apresentam alguns dos problemas que afetam os sistemas multiportadoras, tais como alto PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*) e sensibilidade ao ruído de fase e ao desvio de frequência da portadora [17].

Esta dissertação propõe e examina uma nova possível combinação da transmissão em blocos com a técnica de múltiplo acesso CDMA (*Code Division Multiple Access*), aqui referida como CS-CDMA (*Chip-Spread CDMA*). Nesta técnica considera-se uma inversão entre os chips e os símbolos de informação do bloco no sistema CDMA tradicional. Dentro dessa nova combinação considera-se o sistema CS-CDMA com transmissão em portadora única, aqui referido como SC CS-CDMA (*Single Carrier Chip-Spread CDMA*) e o sistema CS-CDMA multiportadora referido como MC CS-CDMA (*Multi Carrier Chip-Spread CDMA*). Comparações de desempenho, em presença de ruído e múltiplos usuários, dos esquemas SC CDMA, MC CDMA, SC CS-CDMA e MC CS-CDMA são apresentadas. Uma característica marcante da técnica de transmissão CS-CDMA enfocada, é que, diferentemente do que ocorre nos sistemas CDMA, a ortogonalidade entre os códigos dos diferentes usuários é mantida mesmo quando a transmissão é feita através de um canal multipercurso seletivo na frequência, permitindo assim que os usuários possam ser idealmente desacoplados na recepção. Os sistemas enfocados adotam equalização no domínio da frequência utilizando equalizadores do tipo ZF (*Zero Forcing*) e MMSE (*Minimum Mean Squared Error*) [18, 19]. As análises consideram ainda o uso de faixas de guarda do tipo CP (*Cyclic Prefix*) e do tipo ZP (*Zero Padding*) [20, 21]

1.1 Objetivo

Além de apresentar uma abordagem unificada para o estudo de vários sistemas de transmissão em blocos e suas combinações com a técnica de

múltiplo acesso CDMA, o objetivo desta dissertação é também o de propor e investigar a técnica de múltiplo acesso CS-CDMA, combinada com as técnicas de transmissão em blocos SC e OFDM e comparar o desempenho desses sistemas com o sistema tradicional de múltiplo acesso CDMA quando combinado com os esquemas SC e OFDM. Os sistemas são investigados para o enlace de subida *Up-link* (transmissão dos Terminais Móveis para a estação Radio-Base), sendo considerados dois tipos de faixa de guarda em cada sistema, CP e ZP. Uma característica marcante da técnica de transmissão CS-CDMA, é que, diferentemente do que ocorre no sistema CDMA, a ortogonalidade entre os códigos dos diferentes usuários é mantida, permitindo assim que os usuários possam ser idealmente desacoplados na recepção.

1.2

Contribuições da Pesquisa

A principal contribuição desta dissertação é apresentar de uma forma unificada vários sistemas de transmissão em blocos e propor uma nova técnica de múltiplo acesso para a nova geração das comunicações moveis, e mostrar que os usuários neste novo sistema, mantem ortogonalidade nos códigos e podem assim ser separados idealmente na recepção eliminando a IMA (*interferência multi usuário*).

1.3

Organização do Texto

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

1. No capítulo 2 são apresentados os modelos matemáticos para as técnicas de transmissão em blocos SC e OFDM e do canal de propagação considerado. Estes modelos serão utilizados nos capítulos subseqüentes.
2. O capítulo 3 é descrito o modelo matemático do sistema de múltiplo acesso CDMA e as combinações com as técnicas de transmissão SC e OFDM, gerando as técnicas SC CDMA e MC CDMA.
3. O capítulo 4 é apresentado o modelo matemático para uma variação da técnica de múltiplo acesso CDMA, chamada aqui, CS-CDMA, e a combinação com as técnicas SC e OFDM, gerando assim os esquemas SC CS-CDMA e MC CS-CDMA, respetivamente.

4. No capítulo 5 são comparados os resultados numéricos dos sistemas CDMA e CS-CDMA, com as respectivas combinações com os esquemas SC e OFDM.
5. No capítulo 6 são descritas as conclusões e os trabalhos futuros propostos.

1.4

Notação Adotada

Caracteres maiúsculos em negrito representam matrizes; caracteres minúsculos em negrito denotam vetores. Os operadores $(.)^T$, $(.)^H$ denotam transposta e hermitiana, respectivamente, $(.)^{-1}$ representa inversão de matriz e o operador $\mathbb{E}[\cdot]$ denota valor esperado. A matriz $\mathbf{H} = \text{diag}[\mathbf{h}]$ representa uma matriz diagonal, com os componentes do vetor \mathbf{h} na diagonal principal e \mathbf{I}_N denota uma matriz identidade de dimensões $N \times N$.

1.5

Lista de Abreviações

1. BER - *Bit Error Rate*
2. CDMA - *Code Division Multiple Access*
3. CS-CDMA - *Chip Spread Code Division Multiple Access*
4. CP - *Cyclic Prefix*
5. DISC - *Operador Discreto*
6. DFT - *Discrete Fourier Transform*
7. ERB - *Estação Radio Base*
8. ES - *Estação Móvel*
9. FIR - *Finite Impulse Response*
10. IDFT - *Inverse Discrete Fourier Transform*
11. IEB - *Interferência entre Blocos*
12. IES - *Interferência entre Símbolos*
13. IMA - *Interferência Multi Usuário*
14. MC CDMA - *Multi Carrier Code Division Multiple Access*

15. MC CS-CDMA - *Multi Carrier Chip-Spread Code Division Multiple Access*
16. MMSE - *Minimum Mean Squared Error*
17. OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*
18. PAPR - *Peak to Average Power Ratio*
19. **Re** - Operador que retira a Parte Real
20. SC - *Single Carrier*
21. SC CDMA - *Single Carrier Code Division Multiple Access*
22. SC CS-CDMA - *Single Carrier Chip-Spread Code Division Multiple Access*
23. sgn - Operador Função Sinal
24. ZF - *Zero Forcing*
25. ZP - *Zero Padding*