

# 1

## Introdução

Os sistemas sem fio são o ramo do mercado de telecomunicações que mais cresce em importância ((Gol05), pg. 1). Ao redor do mundo, redes celulares, WMANs, WLANs, comunicações via satélite, RFID, radares, redes de sensores e muitos outros, ajudam a integrar negócios e pessoas e a encurtar as distâncias de forma talvez inédita. Redes sem fio unem praticidade, mobilidade e facilidade de instalação, e por isso são muitas vezes preferidas em detrimento de comunicações cabeadas, com certeza mais confiáveis porém de custo logístico bem mais elevado. A tecnologia avançou tanto nos últimos 20 anos que hoje em dia faz parte da vida de grande parte das pessoas nos países desenvolvidos e de uma parte considerável nos países em desenvolvimento. A rede celular, por exemplo, considerada a pioneira em sistemas móveis de larga escala, cresce exponencialmente e contava com mais de 4 bilhões de assinantes mundialmente no fim de 2008 – 600 milhões apenas na China e 140 milhões no Brasil (Itu08)<sup>i</sup>. Essas redes atraem não apenas cada vez maior número de usuários, mas mais funções também. Aparelhos que cabem no bolso têm aplicações multimídia de voz e imagem cada vez mais sofisticadas.

A massificação das redes celulares e dos serviços sem fio em geral tem como base avanços técnicos importantíssimos que foram fruto das contribuições de engenheiros ao longo das décadas passadas. Porém, o uso cada vez mais diverso das comunicações sem fio em aparelhos cada vez menores ainda traz desafios para os profissionais de hoje. Um deles provém do fato do meio aéreo dispor de recursos limitados de espectro. Diferentes usuários compartilhando a mesma faixa de frequência ao mesmo tempo geram interferência entre si, e por isso a utilização inteligente do espectro é parte importantíssima do projeto de sistemas sem fio. Entretanto, talvez o principal desafio à expansão das comunicações *wireless* sejam as flutuações do canal de rádio. Em contrapartida aos sistemas cabeados, onde o canal apresenta pouca ou nenhuma variação

<sup>i</sup>Assinantes, não usuários, como (Itu08) deixa claro. O número de assinantes não necessariamente reflete o número de pessoas utilizando o serviço, pois há gente com mais de uma assinatura. O documento também cita que nem sempre os métodos de contagem das operadoras é 100 % confiável, especialmente quando se trata de assinantes com serviço pré-pago. Em contrapartida, há casos, especialmente em regiões mais pobres, onde um aparelho é utilizados por mais de uma pessoa.

no tempo, sinais sem fio são distorcidos pelo canal de comunicação de forma aleatória e muitas vezes extremamente hostil. Eles também sofrem de efeitos multi-percurso, em que o sinal chega ao seu destino através de vários caminhos distintos em tempos diferentes, o que gera espalhamento e distorção.

As alternativas para o combate aos efeitos deletérios do canal rádio são várias. Algumas das mais faladas atualmente tanto na indústria como na academia são os sistemas de transmissão CDMA (*Code Division Multiple Access*), OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*). alguma dessas tecnologias (ou uma combinação entre elas) deve ser eleita como padrão para a próxima geração de sistemas móveis de altas taxas e confiabilidade. Apesar da decisão final ainda estar suspensa, o mais popular hoje em dia parece ser o OFDM (Bol06, Wan00, Muq02). Alguns movimentos da indústria mostram clara preferência por essa tecnologia. Como exemplos, podemos citar a adoção do OFDM para a transmissão digital de áudio e vídeo na Europa (*Digital Audio Broadcasting*, ou DAB, e *Digital Video Broadcasting*, ou DVB, respectivamente), e para WMANs e WLANs nos padrões IEEE 802.11n e 802.16, respectivamente. Esse trabalho foca justamente o OFDM. O Capítulo 2 cobre os principais aspectos dessa tecnologia, delineando suas vantagens e desvantagens mais fundamentais.

Uma parte fundamental de sistemas OFDM de alto desempenho é a identificação do canal no receptor. Essa identificação, se feita de forma precisa, pode reverter os efeitos nocivos do canal e gerar uma replicação sem erros da informação. A sistemas OFDM que necessitam da estimação do canal para a detecção dá-se o nome de *coerentes*. A alternativa são os sistemas de modulação *diferencial*. Essa técnica dispensa a estimação do canal, mas perde em desempenho. É resultado conhecido da literatura que sistemas de modulação diferencial desperdiçam de 3 a 4 dB em SNR e resultam geralmente em baixas taxas (Cim85, Li98). Para as aplicações mais exigentes em qualidade de serviço, isso é inaceitável. Logo, esse texto trata apenas de sistemas coerentes.

Parte fundamental desse trabalho visa discutir as alternativas para estimação e cancelamento dos efeitos do canal móvel nos sinais de comunicação em sistemas OFDM. Existem basicamente duas maneiras de estimar o comportamento do canal: por uma sequência de treinamento ou de forma cega. A última opção é inadequada para sistemas móveis. O canal rádio é dinâmico e pode variar rapidamente, e estimação cega requer um grande número de observações para obter resultados bons. A sequência de treinamento consiste no envio de símbolos conhecidos por ambos transmissor e receptor, os chamados *símbolos-piloto*. Os símbolos-piloto são multiplexados em meio à transmissão dos dados e fornecem amostras do comportamento do canal em determinado

instante. O receptor deve colher essas amostras e gerar a melhor estimativa possível do canal para utilizá-las na detecção.

Os sistemas a serem estudados serão divididos de forma geral em dois tipos, os de enlace aberto e os de enlace fechado. Nos primeiros, discutidos em detalhe no Capítulo 3, voltamos a atenção para como melhor processar as amostras obtidas nos pilotos para a estimação completa e sem erros do canal. Estaremos interessados em explorar a correlação tanto temporal quanto espacial do canal móvel para obtermos uma melhor estimação. Quanto melhor a estimação, obviamente, melhor será o desempenho do sistema como um todo.

Nos sistemas de enlace fechado, estudados no Capítulo 4, aproveita-se o enlace reverso para a transmissão de informações sobre o estado do canal. Em comunicações sem fio é comum que haja um desequilíbrio entre as duas partes envolvidas. Por exemplo, em comunicações móveis celulares, a estação de rádio-base (ERB) dispõe de muito mais recursos de processamento e potência do que a unidade móvel; em comunicações por satélite, a base terrestre possui muito mais opções de manobra do que o satélite em si. Em enlaces fechados, o usuário *forte* (ERB ou estação terrestre nos exemplos citados) pode ajudar o usuário *fraco* (o celular ou o satélite) a otimizar a transmissão na direção onde ela é mais delicada. Alguns métodos foram propostos na literatura sobre como melhor utilizar o enlace reverso, e as propostas incluem pré-equalização, alocação dinâmica de potência e alocação dinâmica de pilotos (Wan00, Gol02, Pan08). Essa última receberá atenção especial. Foi recentemente mostrado em artigo que a alocação de pilotos tem o potencial de melhorar a taxa de erro do sistema de forma impressionante, sobrepujando facilmente as alternativas para o uso do enlace reverso. No Capítulo 4 encontra-se a principal contribuição deste trabalho. Propõe-se o esquema ótimo e um sub-ótimo em relação à probabilidade de erro de bit para a alocação dos pilotos, assim como análise detalhada de por que o desempenho é melhor.

Encerramos com comentário finais e sugestões para futuros trabalhos no Capítulo 5.