

CAPÍTULO 1 – CONCEITOS DE AMBIENTE *INDOOR*

1.1 - Introdução

O avanço dos sistemas móveis é resultado da necessidade que as pessoas têm em comunicar-se, onde quer que estejam. Como hoje em dia, a maioria das pessoas mora ou trabalha em edifícios, o estudo da propagação dentro dos mesmos torna-se importantíssimo.

Quando uma antena de um sistema móvel celular está localizada dentro de um edifício, considera-se o ambiente como picocelular ou também chamado de *indoor*. Os sistemas de comunicação de rádio *indoor* (interno) estão se tornando muito importantes por estenderem os serviços de comunicação de voz e dado para dentro do local de trabalho. Os sistemas *indoor* podem ser divididos dentro de três classes principais: sistemas telefônicos sem fios; sistemas celulares dentro de prédios; e redes de áreas locais (LANs). Cada um destes tipos de sistemas de comunicação emergentes deve ser projetado com o canal *indoor* em mente.

Para sistemas de comunicação *indoor*, muitos problemas de projeto tais como distância entre transmissor e receptor, tempo de vida da bateria do aparelho móvel esperada, expectativas de desempenho, e o balanceamento de potência do enlace de rádio apropriado estão diretamente ligados ao meio de propagação. A quantidade de interferência de RF – Rádio Frequência que pode ser esperada de usuários co-canal é um parâmetro igualmente importante, que é uma função direta das características de propagação dentro de prédios [1].

Uma das características mais importantes do meio de propagação é a perda de percurso. Uma estimativa precisa das perdas de propagação fornece uma boa base para uma seleção adequada do local da estação base e uma determinação adequada do plano de frequência. Conhecendo-se as perdas de propagação, pode-se determinar eficientemente a intensidade de sinal de campo, relação sinal-ruído (SNR – *Signal Noise Ratio*), relação portadora-interferência (C/I – *Carrier Interference*), etc.

Uma predição exata no nível de intensidade de campo é uma tarefa muito complexa e difícil. Até agora, vários métodos de predição de intensidade de campo foram propostos na literatura. Na maioria dos casos deve ser notado que os modelos apresentados predizem um valor médio local (mediana, média, desvanecimento

lento) que é de grande interesse para engenheiros de sistema que estão instalando sistemas de rádio.

Neste capítulo serão descritos os principais mecanismos de propagação do sinal de rádio, assim como uma abordagem geral sobre os modelos de propagação *indoor*.

1.2 – Mecanismos de propagação do sinal de rádio

Os mecanismos de propagação são muito complexos e diversos. Em razão da separação entre o receptor e o transmissor ocorre a atenuação da intensidade do sinal. Além disso, o sinal se propaga por meio de difração, espalhamento, reflexão, transmissão, refração, etc.

Um projeto ótimo de redes de comunicação celulares requer, entre outras coisas, um conhecimento das condições de propagação e perdas dentro de prédios. Há portanto, a necessidade de se estabelecer um modelo de predição de perdas de propagação que leve em conta a variabilidade de configurações arquiteturais, materiais de construção, e o efeito da frequência.[2]

O estudo de um dado enlace de comunicação requer o conhecimento detalhado da configuração do ambiente e desta forma associa o mesmo a três situações de propagação, que são denotadas por transmissão, difração e reflexão. A transmissão refere-se, por exemplo, às perdas de propagação devido aos obstáculos; a difração refere-se à propagação em torno de cantos ou corredores adjacentes; e a reflexão ao ganho de sinal que pode ser experimentado quando a transmissão e recepção estão presentes na mesma sala ou corredor.

1.3 - Modelos de Propagação *Indoor*

Um modelo de propagação é um conjunto de expressões matemáticas, diagramas e algoritmos usado para representar as características de rádio de um dado ambiente. Geralmente, os modelos de predição podem ser tanto empíricos (também chamados estatísticos) ou teóricos (também chamados determinísticos), ou uma combinação dos dois. Enquanto os modelos empíricos são baseados em medidas, os modelos teóricos lidam com os princípios fundamentais de fenômenos de propagação de ondas de rádio.

Nos modelos empíricos, todas as influências do meio são implicitamente levadas em conta, embora elas possam ser reconhecidas separadamente. Essa é a principal vantagem desses modelos. Por outro lado, a precisão desses modelos depende não somente da precisão das medidas, mas também das similaridades entre o meio a ser analisado e o meio de onde as medidas são coletadas. A eficiência computacional desses modelos é normalmente satisfatória.

Os modelos determinísticos são baseados nos princípios da física e, devido a isso, eles podem ser aplicados a diferentes meios sem afetar a precisão. Na prática, sua implementação geralmente requer um enorme banco de dados de características do meio, o qual é muitas vezes impraticável ou impossível de obter. Os algoritmos usados pelos modelos determinísticos são geralmente muito complexos e necessitam de eficiência computacional. Por esta razão, a implementação dos modelos determinísticos é comumente restrita a áreas menores de ambientes microcelulares e *indoor*. Contudo, se os modelos determinísticos são implementados corretamente, maior precisão da predição pode ser esperada que no caso dos modelos empíricos.

Por causa do meio de rádio, os modelos de predição podem ser classificados dentro de duas categorias principais, modelos de propagação *outdoor* e *indoor*. Além disso, com relação ao tamanho da área de cobertura, os modelos de propagação *outdoor* podem ser subdivididos em duas classes adicionais, modelos de predição macrocelular e microcelular.

Como o presente trabalho trata de ambiente *indoor*, será dada uma maior abordagem nos modelos para tratamento *indoor*. A predição de intensidade de campo em ambientes *indoor* parece ser mais fácil que a predição *outdoor*. Porém, medidas [3] mostram que a variação da intensidade de campo pode ser muito alta (acima de 80 dB). Essa diferença pode ser explicada pelo fato que em um local específico, o campo elétrico do ambiente *indoor* é formado por um número muito maior de componentes indiretas que no caso do *outdoor*. Portanto, o nível de sinal *indoor* é mais flutuante que o sinal *outdoor*, e desta forma é mais difícil prever.

O problema do nível de predição *indoor* pode ser considerado estatisticamente ou teoricamente. Enquanto quase todos os modelos estatísticos (empíricos) são baseados no mesmo modelo geral, há vários modelos distintos de modelos teóricos dos quais os modelos de traçados de raios e modelos de Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD) são os mais conhecidos. Algumas

desvantagens importantes de ambos os modelos empíricos e teóricos podem ser superadas por um modelo apropriado de rede neural artificial (ANN). [4]

A idéia geral de cada um dos modelos apresentados pode ser facilmente aplicada a qualquer faixa de frequência específica. Portanto, a faixa de frequência de 1,8-2 GHz é de importância particular porque os maiores sistemas de rádio *indoor* operam hoje nesta banda (DECT, PACS, PHS, etc.)

1.3.1 - Modelos Empíricos

O modelo empírico geral pode ser expresso como:

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log(d/d_0) + X\sigma \quad (1.1)$$

sendo $P_L(d)$ a perda de percurso em dB na distância d , $P_L(d_0)$ a perda de percurso conhecida na distância de referência (normalmente $d_0 = 1$ m), n denota o expoente dependendo do meio de propagação, e $X\sigma$ a variável representando a incerteza do modelo. Muitos modelos empíricos têm sido baseados nessa formulação.

Esses modelos são simples, eficientes, e adequados para implementação computacional. Durante a implementação, o banco de dados do meio é desnecessário. Portanto, não há disponibilidade para investir tempo e recursos no estudo de *layouts* dos prédios. Devido à simplicidade do modelo, uma grande precisão não é esperada. O parâmetro principal é muito sensível ao meio de propagação, isto é, o tipo de material de construção, tipo de interior, local dentro do prédio etc. Os valores variam de 1,2 (efeito de guia de onda) a 6. Além disso, o valor de n depende da maneira com que se realiza as análises estatísticas dos dados de medições.[4]

1.3.2 - Modelos de Traçado de Raios

O algoritmo de traçado de raios calcula todos os possíveis percursos do transmissor ao receptor. Em modelos de traçado de raios básicos, a predição é baseada no cálculo de transmissões e reflexões no espaço livre das paredes. Muitos algoritmos complexos de traçados de raios incluem os mecanismos de difração, espalhamento de parede, e transmissão através de vários materiais. No fim, o nível

de sinal em qualquer local específico é obtido como a soma das componentes de todos os percursos entre o transmissor e o receptor. Além disso, perdas de propagação, o tempo de variação do sinal pode ser predito com sucesso pelos modelos de traçado de raios.

Hoje, os modelos de traçado de raios pertencem a um grupo dos mais precisos modelos de predição de intensidade de sinal. Porém, eles requerem um *layout* muito detalhado da área a ser analisada. A precisão do modelo depende da precisão e complexidade do banco de dados do *layout* da área. Por outro lado, a implementação desses modelos requer maiores recursos computacionais. O tempo computacional depende exponencialmente dos detalhes incluídos no *layout* da área. Portanto, o tempo computacional de uma pequena área com muitos detalhes pode ser maior que aquele de uma grande área que é relativamente pobre em detalhes.

Os algoritmos de traçado de raios podem também ser usados para predição de nível de sinal em meio *outdoor*, mas para áreas relativamente pequenas. [4]

1.3.3 - Modelos das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD)

As características de propagação de rádio podem ser obtidas resolvendo diretamente as equações de Maxwell de propagação de ondas eletromagnéticas. O método FDTD é provavelmente um método bem conhecido para solução numérica dessas equações. Nesse método, as equações de Maxwell são aproximadas por uma série de equações de diferenças finitas. A priori para cálculos, é necessário definir um *grid* (regular ou irregular) sobre a área de interesse. Depois das condições iniciais apropriadas serem definidas, o algoritmo FDTD emprega as diferenças centrais a derivadas aproximadas ambas espaciais e temporais. Nos nós do *grid*, as soluções são determinadas iterativamente. Desta forma, as equações de Maxwell são resolvidas diretamente.

Similarmente, ao modelo de traçados de raios, os modelos FDTD demandam muito processamento computacional. O tempo computacional depende proporcionalmente do tamanho da área a ser analisada, mas não significativamente dos detalhes envolvidos (tamanho da área e a frequência de operação). A precisão do modelo FDTD é comparável àquela dos modelos de traçado de raios. A predição é tão precisa quanto o banco de dados do *layout* de área.

Devido à complexidade computacional, os modelos FDTD são adequados somente para tarefas de predição de campo em áreas pequenas. Para grandes áreas, os modelos de traçados de raios são mais adequados. [4]

1.3.4 - Modelo de Rede Neural Artificial (ANN) ETF - *Indoor*

O principal problema apresentado por modelos empíricos é sua precisão insatisfatória. Por outro lado, os modelos teóricos necessitam de eficiência computacional. Um compromisso pode ser feito pelo modelo de rede neural artificial ETF-*indoor* [3].

Esse modelo pode ser baseado nas redes neurais realimentadas perceptron de multicamadas. A implementação de um modelo ANN requer um banco de dados com a intensidade de campo do ambiente e um banco de dados do plano do piso no qual todos os locais particulares são classificados dentro de várias categorias, por exemplo, parede, corredor, sal de aula, janela, etc.

Determinar os parâmetros do modelo ANN é muito simples. A análise estatística é desnecessária. A rede neural deve apenas ser treinada com os dados medidos. Computacionalmente o processo de treinamento é muito demorado, mas ele é feito somente uma vez. Em implementação, tem-se mostrado que a precisão do modelo ANN é comparável com a precisão dos modelos FDTD e traçado de raios.

1.3.5 - Efeitos Adicionais na Propagação *Indoor*

Embora os modelos previamente descritos não tenham levado em conta desvanecimento temporal e os efeitos do corpo humano, estes fenômenos devem ser cuidadosamente considerados em um projeto particular de um sistema de comunicação de rádio *indoor*.

Medidas obtidas na Escola de Engenharia Elétrica em Belgrado [4] têm mostrado que um terminal portátil se movendo lentamente através de um meio *indoor* experimenta desvanecimento de Ricean e Rayleigh dependendo se condições de visada direta (LoS – *Line of Sight*) existam ou não.

A influência de uma recepção do sinal no corpo humano pode ser vista através de dois aspectos principais [4]. O primeiro é a influência do corpo do próprio

usuário e o segundo é o efeito dos corpos das pessoas que estão na vizinhança do usuário. Na média, efeitos dos corpos causam uma queda no nível de sinal recebido para flutuar mais irregularmente. Estas irregularidades são muito difíceis de prever devido a sua dependência maior com a presença de pessoas perto de usuários.

Para posições de transmissor e receptor fixos, o movimento no ambiente causa desvanecimento temporal. Neste caso, variações típicas do nível de sinal são menores que 15 dB para 99,9% do tempo, o qual é aproximadamente maior que as variações tipicamente obtidas em um meio *outdoor* [4].

1.4 – Estrutura do trabalho

Este trabalho tem como objetivo analisar os principais modelos associados à radiopropagação em sistemas móveis celulares e especificamente objetivando a determinação de um modelo que melhor qualifique um ambiente *indoor* selecionado comparando-se com medições realizadas no mesmo. O trabalho está dividido da seguinte maneira: Capítulo 2, que tratará da descrição das medições em ambientes *indoor*, Capítulo 3 com a análise e adequação dos modelos às medições *indoor* e por fim o Capítulo 4 com a conclusão.