

CAPÍTULO 4

4.1 - Introdução

Uma grande variedade de modelos empíricos de propagação, com fundamentos teóricos e experimentais, têm sido desenvolvidos para aplicações em cálculo de cobertura para sistemas de comunicações móveis. Sendo que cada um deles caracteriza o ambiente com diferentes perspectivas. Desta forma não existe um modelo adequado para todas as situações.

Nesse contexto esse trabalho propõe uma técnica (algoritmo) para adaptação dos modelos empíricos de propagação existentes. Essa adaptação consiste na abstração do maior número possível de parâmetros que descrevem características urbanas utilizados nos modelos de propagação tradicionais. Dessa forma os modelos propostos serão basicamente uma função da distância entre transmissor e receptor.

Os modelos adaptados serão implementados utilizando-se a técnica do mínimo erro médio quadrático [15] a partir dos dados obtidos em uma das rotas (rota 1) da base de dados da campanha de medições, e posteriormente testados em uma outra rota (rota 2) da mesma base de dados da região de interesse.

Os modelos híbridos de predição (MHP) serão implementados a partir do processamento paralelo entre um determinado modelo adaptado e uma rede neural, sendo que a rede neural de cada modelo híbrido terá seu par de treinamento

constituído pela distância entre transmissor e receptor (entrada) e o erro absoluto do respectivo modelo adaptado em relação a base de dados obtida na campanha de medições (rota 1).

4.2 - Modelos de Predição Adaptados

A intensidade de sinal recebida no receptor móvel prevista por cada modelo empírico é dada pelo seguinte balanço de potência

$$P_R = P_t + G_b + G_m - L \text{ (dB)} \quad (4.1)$$

sendo P_t a potência de transmissão em dBm, G_b e G_m são os ganhos em dB das antenas base e móvel respectivamente e L (dB) é a perda estimada por um determinado modelo empírico de predição.

Os modelos adaptados foram implementados a partir dos modelos empíricos dados por (3.3), (3.12), (3.18), (3.19), (3.26), (3.27), (3.31) e (3.40) para área urbana, substituindo qualquer uma destas equações na equação (4.1), esta pode ser representada pela seguinte expressão

$$P_R = C_0 + [C_1 f_1(d) + C_2 f_2(d) + \dots + C_z f_z(d)] \quad (4.2)$$

sendo $C_0, C_1, C_2, \dots, C_m$ os $z+1$ coeficientes adaptativos e $f_1(d), f_2(d), \dots, f_m(d)$ as z funções da distância, sendo d a distância entre transmissor e receptor.

Usando o método do mínimo erro médio quadrático pode-se determinar esses coeficientes

$$E = \sum_{i=1}^M (P_R - medida_i)^2 \quad (4.3)$$

sendo M o número das amostras obtidas na campanha de medição.

Substituindo a equação (4.2) em (4.3) tem-se

$$E = \sum_{i=1}^M [C_0 + C_1 f_1(d_i) + C_2 f_2(d_i) + \dots + C_z f_z(d_i) - medida_i]^2 = 0 \quad (4.4)$$

Para minimizar o erro E e determinar os $z+1$ coeficientes adaptativos faz-se as derivadas parciais em relação a cada um dos coeficientes em (4.4) e iguala-se a zero, logo tem-se $z+1$ equações, as quais formam um sistema de equações lineares não homogêneo, cuja solução são os $z+1$ coeficientes adaptativos.

Assim tem-se

$$\frac{\partial E}{\partial C_0} = 2 \sum_{i=1}^M [C_0 + C_1 f_1(d_i) + C_2 f_2(d_i) + \dots + C_z f_z(d_i) - medida_i] = 0 \quad (4.5)$$

$$f_1(d_i) \cdot [C_0 + C_1 f_1(d_i) + C_2 f_2(d_i) + \dots + \frac{\partial E}{\partial C_1} = 2 \sum_{i=1}^M \{C_z f_z(d_i) - medida_i\} = 0 \quad (4.6)$$

\dot{C}

$$f_2(d_i) \cdot [C_0 + C_1 f_1(d_i) + C_2 f_2(d_i) + \dots +$$

$$\frac{\partial E}{\partial C_2} = 2 \sum_{i=1}^M \{ \underset{\text{!}}{C_z} f_z(d_i) - medida_i \} = 0 \quad (4.7)$$

!

⋮

$$f_z(d_i) \cdot [C_0 + C_1 f_1(d_i) + C_2 f_2(d_i) +$$

$$\frac{\partial E}{\partial C_z} = 2 \sum_{i=1}^M \{ \underset{\text{!}}{C_z} \dots + C_z f_z(d_i) - medida_i \} = 0 \quad (4.8)$$

!

A partir da base de dados (rota 1) contendo as medidas da intensidade do sinal recebida no receptor móvel, pode-se usar (4.5)-(4.8) que formam um sistema de equações com $z+1$ equações e $z+1$ incógnitas, e determinar os $z+1$ coeficientes adaptativos

Usando o algoritmo descrito anteriormente pode-se adaptar os modelos empíricos de propagação para área urbana, dessa forma obtém-se os seguintes modelos adaptados:

4.2.1 - Modelos Adaptados Para a Faixa de 800MHZ

4.2.1.1 - Modelo Adaptado de Okumura Hata

Substituindo a expressão (3.3) do modelo de Okumura-Hata em (4.1), obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) \quad (4.9)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 e C_1 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de Okumura-Hata após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 e C_1 .

4.2.1.2 - Modelo Adaptado de Walfisch-Bertoni

Substituindo a expressão (3.12) do modelo de Walfisch-Bertoni em (4.1), obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) + C_2 \cdot \log[17 \cdot (h_b - h) - d^2] \quad (4.10)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 , C_1 e C_2 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de Walfisch-Bertoni após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 , C_1 e C_2 .

4.2.1.3 - Modelo Adaptado de Maciel-Bertoni-Xia

Substituindo a expressão (3.18) do modelo de Maciel-Bertoni-Xia em (4.1) obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) + C_2 \cdot \log(17 \cdot h_b + d^2) + C_3 \cdot \log(Q_e) \quad (4.11)$$

sendo

$$Q_e = \tan^{-1} \left(\frac{1}{d} \right)^2 \quad (4.12)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 , C_1 , C_2 e C_3 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de Maciel-Bertoni-Xia após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 , C_1 , C_2 e C_3 .

4.2.1.4 - Modelo Adaptado de Ibrahim-Parsons

Substituindo a expressão (3.19) do modelo de Ibrahim-Parsons em (4.1) obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) + C_2 \cdot d + C_3 \cdot d \quad (4.13)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 , C_1 , C_2 e C_3 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de Ibrahim-Parsons após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 , C_1 , C_2 e C_3 .

4.2.2 - Modelos Adaptados Para a Faixa de 1,8GHZ

4.2.2.1 - Modelo Adaptado de Okumura-Hata Modificado

Substituindo a expressão (3.26) do modelo de Okumura-Hata Modificado em (4.1) obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) + C_2 \cdot \log[17 \cdot (h_B + 20) + d^2] \quad (4.14)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 , C_1 e C_2 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de Okumura-Hata Modificado após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 , C_1 e C_2 .

4.2.2.2 - Modelo Adaptado de COST231-Hata

Substituindo a expressão (3.27) do modelo de COST231-Hata em (4.1) obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) \quad (4.15)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 e C_1 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de COST231-Hata após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 e C_1 .

4.2.2.3 - Modelo Adaptado de Walfisch-Ikegami

Substituindo a expressão (3.31) do modelo de Walfisch-Ikegami em (4.1) obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) \quad (4.16)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 e C_1 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de Walfisch-Ikegami após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 e C_1 .

4.2.2.4 - Modelo Adaptado de Ericsson-Hata

Substituindo a expressão (3.40) do modelo de Ericsson-Hata em (4.1) obtém-se uma expressão que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_R = C_0 + C_1 \cdot \log(d) \quad (4.17)$$

Aplicando-se o método do mínimo erro médio quadrático os coeficientes C_0 e C_1 podem ser determinados, e dessa forma adaptar o modelo de Ericsson-Hata após a determinação dos coeficientes adaptativos C_0 e C_1 .

Esses modelos possuem uma vantagem, pois evitam o problema de classificações erradas ou de parâmetros mal definidos do local, que podem levar a erros consideráveis de predição.

Assim como os modelos empíricos convencionais; eles possuem uma vantagem em relação ao tempo de computação e não requerem informações detalhadas da base de dados. E também não podem caracterizar precisamente a propagação em ambiente urbano devido à fatores não-lineares encontrados no meio e no próprio sistema de transmissão.

4.3 - Modelos Híbridos de Predição

A partir de 1986 por ocasião da proposição do algoritmo de retropropagação de erro para treinamento de *perceptrons* de múltiplas camadas, as redes neurais artificiais passaram a ser utilizadas na síntese de mapeamentos complexos, ou seja, para problemas que não podem ser tratados apropriadamente por métodos analíticos. Geralmente sistemas físicos e outros sistemas não-lineares são descritos por funções complexas, e no caso da propagação de ondas eletromagnéticas em

ambiente urbano esta função é desconhecida. Nesse contexto uma rede neural pode ser utilizada para aproximar essas funções a partir de medidas reais obtidas no meio de interesse.

Uma nova classe de modelos de predição é implementada através do processamento paralelo dos modelos empíricos adaptados e as redes neurais artificiais. Tanto os modelos empíricos adaptados quanto as redes neurais artificiais são modelos adaptativos, por isso nesse trabalho os modelos híbridos serão implementados a partir das medidas de campo de uma das rotas (rota 1) da base de dados da campanha de medições e posteriormente testados com as medidas de uma outra rota (rota 2) da mesma base de dados da região de interesse. Um esquema representativo do modelo híbrido de predição é mostrado na Figura 4.1.

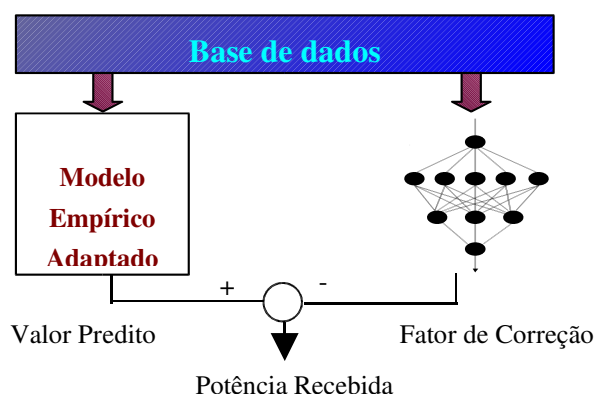


Figura 4.1 – Estrutura do modelo híbrido de predição

De acordo com o modelo da Figura 4.1 a potência recebida no receptor móvel prevista pelo modelo híbrido será dada pela seguinte expressão

$$P_R = \text{Modelo Adaptado} - \text{RNA} \quad (4.18)$$

Os modelos de predição adaptados e as redes neurais artificiais quando operando isoladamente podem não apresentar um bom desempenho, estas por ficarem “viciadas” nos pontos de treinamento, aqueles pela incapacidade de realizarem o mapeamento não-linear que descrevem os sinais de rádio [16].

Através do processamento paralelo dessas duas técnicas pode-se obter uma melhora de desempenho e tempo de processamento, unindo-se as vantagens de ambas as técnicas [17].

As redes neurais dos modelos híbridos de predição de Predição serão simuladas no “*Neural Network Toolbox*” do Matlab 5.3. O conjunto de treinamento é formado pelos 19 valores dos erros absolutos da predição prevista por cada modelo adaptado em relação aos valores da intensidade média do sinal obtidos em uma das rotas (rota 1) da campanha de medições, e terá a função de compensar o erro do modelo adaptado. Desta forma o modelo híbrido terá a capacidade de prever as não linearidades descritas pelos sinais de rádio, que são intrínsecas do meio e do próprio sistema de comunicação. Essa metodologia será adotada para as duas faixas de frequência consideradas nesse trabalho.

Nesse trabalho as redes neurais serão usadas para realizar o mapeamento não-linear dos erros de predição dos modelos adaptados em função da distância entre transmissor e receptor móvel.