2
Descrição do Problema

Em um sistema de comunicações, o sinal entre um transmissor e um receptor sofre degradação por influência do ambiente através do qual é transmitido. Em um enlace de comunicação, dois tipos de degradação são usualmente considerados importantes: a degradação provocada pela chuva e a causada por sinais interferentes gerados por outros sistemas. Tais fontes de degradação têm um comportamento aleatório e podem ser modeladas probabilisticamente.

Para garantir um desempenho adequado para o enlace, é usual estabelecer-se restrições para a taxa de erro de bit, limitando-se as percentagens de tempo durante as quais determinados níveis pré-estabelecidos de taxas de erro de bit podem ser excedidos. Estabelecem-se, portanto, pares formados por valores específicos das Taxas de Erro de Bit $\{BER_j\ ,\ j = 1, ..., m\}$ e pelos percentagens de tempo $\{p_j\ ,\ j = 1, ..., m\}$ em que estes valores não poderão ser excedidos. Considerando-se uma modelagem probabilística, essas restrições podem ser expressas como:

$$P(b > BER_j) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, ..., m \tag{2-1}$$

onde b é a variável aleatória que caracteriza a taxa de erro de bit do enlace, $\{BER_j\ ;\ j = 1, ..., m\}$ são os valores pré-estabelecidos da taxa de erro de bit e $\{p_j\ ;\ j = 1, ..., m\}$ são probabilidades associadas às percentagens de tempo pré-fixadas.

Note que a dependência da Taxa de Erro de Bit (BER) com a razão E_b/N_0 (Energia por bit/Nível espectral de ruído térmico) é usualmente conhecida e dada pela curva de desempenho do MODEM utilizado. Esta dependência é aqui representada pela função

$$b = f(e) \tag{2-2}$$

onde b é a taxa de erro de bit e e a razão E_b/N_0 (expressa em dB).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921405/CA

Observe que, como qualquer degradação na razão E_b/N_0 se reflete num aumento da BER, a função f é decrescente. Assim,

$$P(b > BER_j) = P\left(e < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, ..., m \tag{2-3}$$

onde os valores BER_j e $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j$ se relacionam através da função $b = f(e)$, ou seja,

$$BER_j = f\left(\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) \quad ; \quad j = 1, ..., m \tag{2-4}$$

Note que (2-3) permite estabelecer uma equivalência entre o conjunto de pares $\{(BER_j, p_j) \; ; \; j = 1, ..., m\}$ e um outro conjunto de pares $\{((E_b/N_0)_j, p_j) \; ; \; j = 1, ..., m\}$. Deste modo, as restrições de desempenho em (2-1) são equivalentes às restrições

$$P\left(e < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, ..., m \tag{2-5}$$

Observe que, se as distribuições estatísticas da degradação devida à chuva e à interferência são conhecidas, é possível obter a caracterização estatística da razão $e = E_b/N_0$, que pode ser calculada da seguinte maneira:

$$e = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - z \tag{2-6}$$

onde $(E_b/N_0)_{CS}$ denota a razão E_b/N_0 em céu claro (Clear Sky) e, z é a degradação total devida a chuvas e a interferências externas, ambos expressos em dB

É importante, então, garantir que as degradações de E_b/N_0 devidas a chuvas e a interferências externas sejam tais que as condições em (2-5) sejam satisfeitas. Estas degradações são aqui modeladas pelas variáveis aleatórias x e y, respectivamente, ou seja

$$z = x + y \tag{2-7}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921405/CA

Considerando que o comportamento estatístico da degradação x devida a chuvas é conhecido, surge a questão relativa a quais restrições devem ser impostas ao comportamento estatístico da degradação devida à interferências externas, de modo a garantir que as condições em (2-5) sejam satisfeitas. Neste trabalho a resposta a esta questão é examinada analisando-se a presença simultânea de chuva e interferência.

2.1 Condição de ocorrência simultânea de chuva e interferência

Neste caso, a razão E_b/N_0 é dada por (2-6) e (2-7), ou seja,

$$e = h(z) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - z \tag{2-8}$$

onde a degradação total z da razão E_b/N_0, devida à ocorrência simultânea dos dois fenômenos (chuva e interferência) é dada por $z = x + y$.

Observe que a função $h(z)$ em (2-8) é decrescente, uma vez que um aumento na degradação total causada por chuva e interferência acarreta diminuição no valor da razão E_b/N_0. Isto permite escrever

$$P\left(e < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) = P(z > Z_j) \quad ; \quad j = 1, ..., m \tag{2-9}$$

onde $\{Z_j \ , \ j = 1, ..., m\}$ são valores de degradação total devida à ocorrência de chuva e interferência, associados aos níveis $\{(E_b/N_0)_j \ ; \ j = 1, ..., m\}$ considerados, dados por:

$$Z_j = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \tag{2-10}$$

As restrições em (2-5) são então equivalentes a

$$P(z > Z_j) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, ..., m \tag{2-11}$$

Vale lembrar que, conhecendo-se o comportamento estatístico conjunto das degradações x e y, pode-se obter o comportamento estatístico da degradação total z, que, expresso em termos de sua função distribuição de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921405/CA

probabilidade se escreve:

$$F_z(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{Z-Y} p_{xy}(XY) dX dY \qquad (2\text{-}12)$$

no caso particular em que as variáveis aleatórias x e y são estatisticamente independentes, o resultado em (2-12) se torna:

$$F_z(Z) = p_y(Z) * F_x(Z) \qquad (2\text{-}13)$$

Observe que as restrições em (2-11) indicam que a função de distribuição cumulativa de probabilidade da degradação z devida a chuvas e interferências, definida por:

$$CDF_z(Z) = P(z > Z) = 1 - F_z(Z) \qquad (2\text{-}14)$$

deve ficar abaixo dos pontos de coordenadas (Z_j, p_j),ou seja,

$$CDF_z(Z) = 1 - F_z(Z) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, ..., m \qquad (2\text{-}15)$$

esta restrição é ilustrada na Figura 2.1.

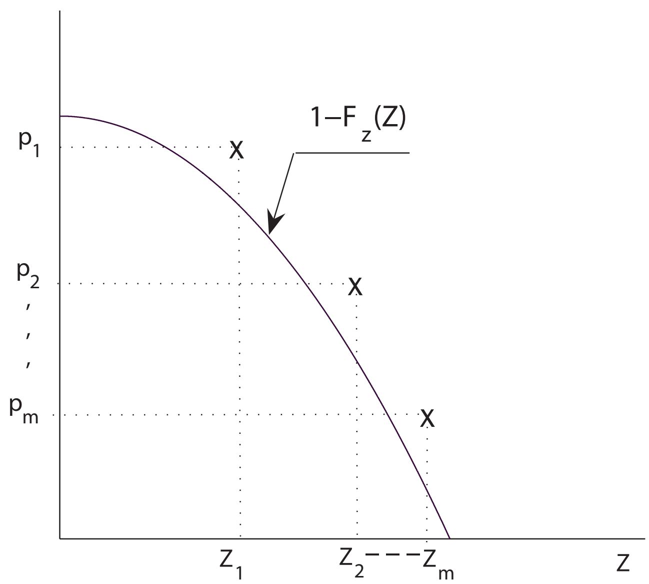

Figura 2.1: Distribuição cumulativa de probabilidade da degradação devida a chuvas e interferências externas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921405/CA

Conforme mencionado anteriormente, modelos para a caracterização estatística da atenuação por chuvas são amplamente conhecidos, o que não ocorre com a interferência, cuja caracterização estatística (que está relacionada ao comportamento estatístico da variável aleatória y) depende das características específicas dos sistemas interferentes considerados. O trabalho desenvolvido nesta dissertação se concentra exatamente no estabelecimento de restrições ao comportamento estatístico das interferências presentes, de modo a garantir que, independentemente das características específicas do sistema interferente considerado, as condições de desempenho em (2-1) sejam satisfeitas. Este problema foi resolvido parcialmente em [12] e o método proposto permitiu definir uma máscara a ser satisfeita pelo comportamento estatístico da interferência agregada presente no receptor vitima. Obviamente, uma máscara muito mais útil seria uma a ser aplicada a cada parcela individual de interferência, uma vez que ela possibilita que cada um dos sistemas interferentes conheça as restrições que lhe são impostas, independentemente das demais transmissões interferentes. Obter este tipo de máscara é uma tarefa bem mais complexa do que a definição de máscaras para a interferência agregada, feita em [12], esta complexidade se deve ao fato de que a interferência agregada é a soma das parcelas individuais de interferência, onde estas parcelas não estão expressas em dB. Neste trabalho é proposto um método que permite definir este tipo de máscaras.

A exemplo do que foi feito em [12], no capítulo que se segue é definido um problema de otimização com restrições que pode ser utilizado para estabelecer as condições a serem impostas ao comportamento estatístico das parcelas individuais de interferências presentes num enlace.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0921405/CA