

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 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, respectivamente, por Taxas de Erro de Bit $\{BER_j, j = 1, \dots, m\}$ e percentagens de tempo $\{p_j, j = 1, \dots, m\}$ que não poderão ser excedidas. Considerando-se uma modelagem probabilística, essas restrições podem ser expressas como:

$$P(b > BER_j) \leq p_j ; j = 1, \dots, m \quad (2-1)$$

onde b é a variável aleatória que caracteriza a taxa de erro de bit do enlace, $\{BER_j ; j = 1, \dots, m\}$ são os valores pré-estabelecidos de taxa de erro de bit e $\{p_j ; j = 1, \dots, m\}$ são probabilidades correspondentes 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

$$b = f(e) \quad (2-2)$$

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

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

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

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

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

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

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

Observe que, se as distribuições estatísticas da degradação devida à chuva e da interferência são conhecidas, é possível obter a caracterização estatística da razão $e = E_b/N_0$. 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, respectivamente, por duas variáveis aleatórias: x e y .

Surge, então, a questão relativa a quais restrições devem ser impostas às degradações x e y a fim de que a condição em (2-5) seja satisfeita, visto que e é função de x e de y . A resposta a esta questão pode ser examinada, analisando-se duas condições: na primeira condição, considera-se apenas a ocorrência de chuva e, na segunda, a presença simultânea de chuva e interferência.

2.1

Condição de ocorrência apenas de chuva

A Recomendação ITU-R S.1323 da International Telecommunication Union (ITU) [1], em seu Item 3.1, estabelece que para uma determinada rede de satélites, a interferência causada por emissões das demais redes de satélites que operem na mesma banda de frequências, deve ser responsável por, no máximo, 10% do tempo permitido para as Taxas de Erro de Bit (*BER*) especificadas nas metas de desempenho da rede considerada.

Em decorrência desta recomendação, como é impossível prever interferências futuras, a degradação x devida à chuva não pode utilizar, mesmo em ambientes sem interferência, mais que 90% das percentagens de tempo associadas a cada nível de E_b/N_0 . Portanto, numa condição onde a degradação de desempenho seja atribuída apenas à chuva, devemos ter

$$P\left(e < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) \leq 0,9p_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (2-6)$$

Considerando-se a degradação x imposta pela chuva, a razão $e = E_b/N_0$ pode ser expressa como

$$e = g(x) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - x \quad (2-7)$$

onde $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS}$ representa a razão Energia por bit/Nível espectral de ruído térmico em condições de céu claro ("clear-sky") e x representa a degradação da razão E_b/N_0 devida a chuvas, ou seja, a degradação do sinal desejado por efeito de chuvas. Em (2-7) todas as variáveis estão expressas em dB.

Observe que a função $g(x)$ é decrescente, uma vez que um aumento na degradação por chuva acarreta diminuição no valor da razão E_b/N_0 . Isto permite escrever

$$P\left(e < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) = P(x > X_j) \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (2-8)$$

e conseqüentemente, a partir de (2-6),

$$P(x > X_j) \leq 0,9p_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (2-9)$$

onde $\{X_j, j = 1, \dots, m\}$ são valores de degradação por chuva associados aos níveis $\{(E_b/N_0)_j ; j = 1, \dots, m\}$ considerados, ou seja,

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = g(X_j) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - X_j \quad (2-10)$$

ou ainda

$$X_j = g^{-1}\left(\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \quad (2-11)$$

Observe que a degradação da razão E_b/N_0 devida a chuvas é dada pela própria atenuação sofrida pelo sinal desejado quando sob o efeito de chuvas. Os modelos para a caracterização estatística desta atenuação por chuvas já são largamente conhecidos [7, 15], e, como consequência, não há maiores dificuldades para o estabelecimento das restrições a serem impostas à degradação causada somente pela presença de chuva.

Note que as restrições em (2-9) indicam que a Distribuição Cumulativa de Probabilidade (CDF) da degradação devida a chuvas, definida por

$$CDF_x(X) = P(x > X) = 1 - F_x(X) \quad (2-12)$$

deve ficar abaixo dos pontos de coordenadas $(X_j; 0,9p_j)$ conforme ilustrado na Figura 2.1.

2.2

Condição de ocorrência simultânea de chuva e interferência

Neste caso, a degradação imposta pela chuva e por interferências causadas por outros sistemas à razão $e = E_b/N_0$ pode ser expressa por:

$$e = h(x, y) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - x - y \quad (2-13)$$

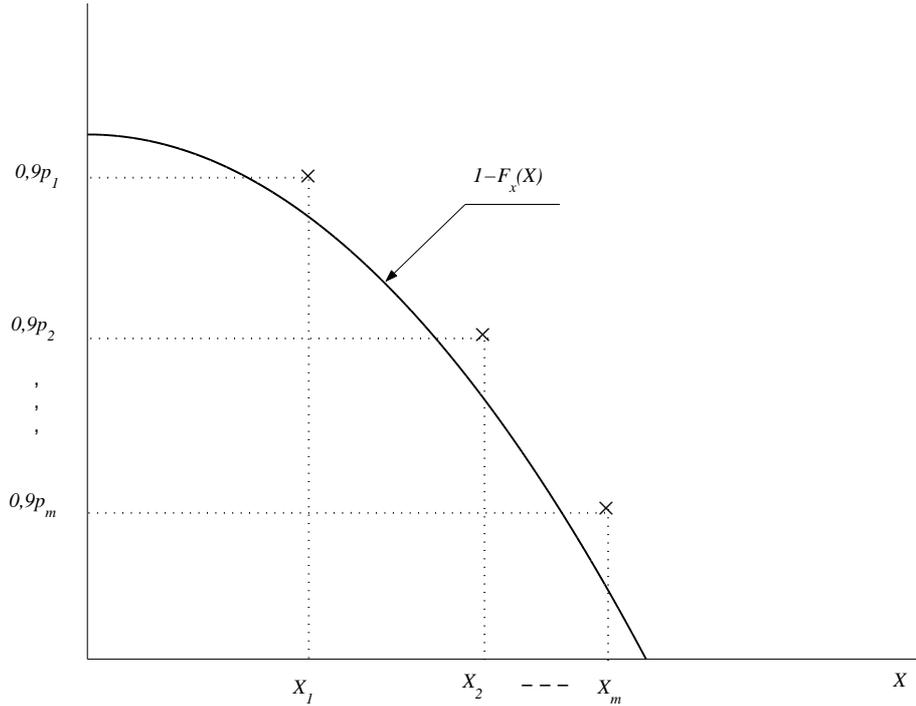


Figura 2.1: Distribuição cumulativa de probabilidade da degradação devida a chuvas

onde $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS}$ representa a razão Energia por bit/Nível espectral de ruído térmico em condições de céu claro, x representa a degradação da razão E_b/N_0 devida à chuva e y representa a degradação da razão E_b/N_0 devida à interferência. Em (2-13) todas as quantidades estão expressas em dB.

A degradação total z da razão $e = E_b/N_0$, devida à ocorrência simultânea dos dois fenômenos (chuva e interferência) é, então, dada por $z = x + y$. Isto permite reescrever (2-13) como

$$e = h(z) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - z \tag{2-14}$$

Observe-se que a função $h(z)$ 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

$$P\left(e < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) = P(z > Z_j) \ ; \ j = 1, \dots, m \tag{2-15}$$

e conseqüentemente, considerando-se (2-5),

$$P(z > Z_j) \leq p_j \quad ; \quad j = 1, \dots, m \quad (2-16)$$

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

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j = h(Z_j) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - Z_j \quad (2-17)$$

ou ainda

$$Z_j = h^{-1}\left(\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \quad (2-18)$$

Vale lembrar que, conhecendo-se o comportamento estatístico conjunto das degradações x e y , pode-se obter o comportamento estatístico da degradação total z .

Observe que as restrições em (2-16) indicam que a Distribuição Cumulativa de Probabilidade da degradação z devida a chuvas e interferências, definida por

$$CDF_z(Z) = P(z > Z) = 1 - F_z(Z) \quad (2-19)$$

deve ficar abaixo dos pontos de coordenadas (Z_j, p_j) conforme ilustrado na Figura 2.2.

Conforme mencionado anteriormente, modelos para a caracterização estatística da atenuação por chuvas já 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.

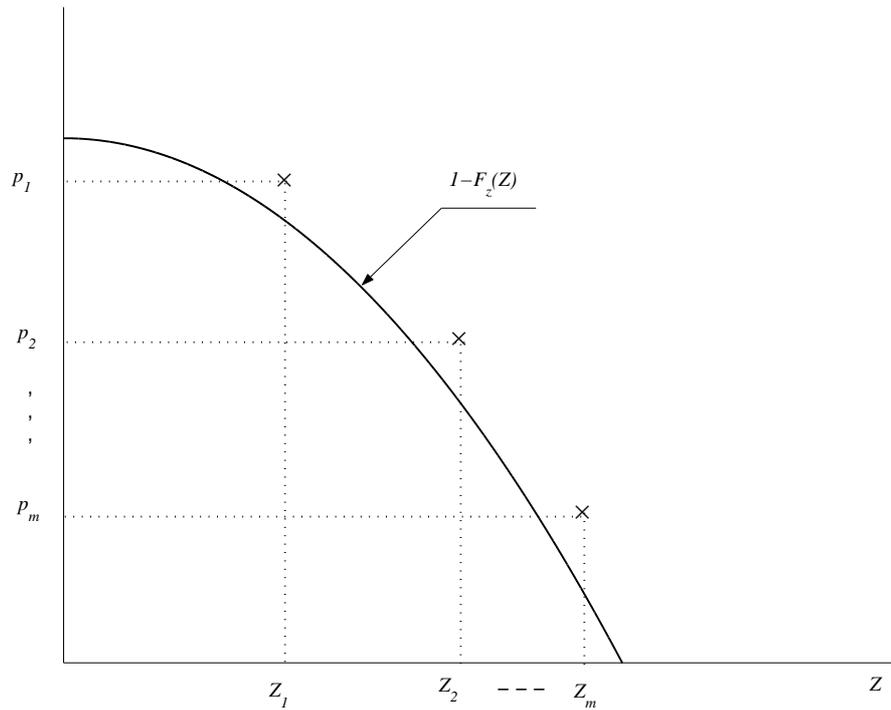


Figura 2.2: Distribuição cumulativa de probabilidade da degradação devida a chuvas e interferências externas

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 interferências presentes em um enlace.