

2

Descrição do Problema

O canal de comunicações é afetado por diversas fontes de degradação, muitas delas com comportamento aleatório, que devem ser tratadas sob um enfoque probabilístico.

O dimensionamento de um enlace por satélite é realizado com base em objetivos de desempenho, relacionados a restrições impostas a parâmetros tais como a Taxa de Erro de Bit (BER). Sistemas que operam em taxas de transmissão mais elevadas organizam a informação em blocos de bits, e utilizam como parâmetros de desempenho, além da BER, a Taxa de Segundo Errado, a Taxa de Segundo Severamente Errado e a Taxa de Bloco Errado de Fundo. Esses outros parâmetros serão considerados na modelagem matemática descrita no Capítulo 3.

Como exemplo, quando o parâmetro da Taxa de Erro de Bit é utilizado, limita-se a probabilidade de que determinados níveis de BER sejam excedidos. Para isso, são associadas probabilidades limites $\{p_j, j = 1, 2, \dots, n\}$ a valores específicos de Taxas de Erro de Bit $\{BER_j, j = 1, 2, \dots, n\}$. Essa limitação pode ser expressa por:

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

onde b é a taxa de erro de bit, $\{BER_j, j = 1, 2, \dots, n\}$ são os níveis de BER associados às probabilidades máximas $\{p_j, j = 1, 2, \dots, n\}$.

Considerando que a taxa de erro de bit é diretamente associada à razão E_b/N_0 (Energia de bit/Nível espectral de ruído), e que quanto menor E_b/N_0 maior a BER, temos que

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

sendo que BER_j e $(E_b/N_0)_j$ se relacionam de acordo com a curva de desempenho da modulação adotada, e e é a razão E_b/N_0 de operação.

A razão E_b/N_0 é afetada pelas fontes de degradação. Representando por z a degradação total, temos que

$$e = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - z \quad (2-3)$$

onde $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS}$ é a razão E_b/N_0 em céu claro e sem a presença de outras fontes de degradação. Em (2-3), todas as variáveis são expressas em dB.

O problema de limitação da probabilidade de que determinados valores de taxa de erro de bit sejam excedidos, descrito em (2-2), pode então ser convertido na limitação da probabilidade de que a degradação total z exceda determinados valores.

Em um sistema de comunicações móveis por satélite, duas das fontes de degradação mais significativas são a atenuação por chuvas e a degradação causada pelo erro de apontamento da antena provocado pelo movimento do veículo, e seu comportamento conjunto será o objeto de estudo deste trabalho.

Segundo a Recomendação ITU-R S.1323 da União Internacional de Telecomunicações (ITU) [4], a degradação provocada pela interferência causada por emissões de outras redes de satélite operando na mesma faixa de frequências deve ser responsável por, no máximo, 10% do tempo permitido para as Taxas de Erro de Bit especificadas nas metas de desempenho.

Como a interferência intersistemas não será tratada neste trabalho, será estipulado um limite, equivalente a 90% dos objetivos de desempenho, para a influência da degradação conjunta por chuvas e erro de apontamento no desempenho geral do sistema.

Nas seções a seguir, o problema de dimensionamento de enlaces será analisado em duas condições: na primeira quando apenas a degradação por chuvas é considerada, e na segunda considerando a degradação por chuvas em conjunto com a degradação por erro de apontamento.

2.1

Degradação causada pela atenuação por chuvas

Considerando que z seja composta apenas pela degradação causada por chuvas x , temos que a razão E_b/N_0 descrita em (2-3) pode ser expressa por

$$e = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - x \quad (2-4)$$

Observe que quanto maior a degradação representada por x menor a razão e . Assim,

$$P\left(e < \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j\right) = P(x > X_j) \leq 0,9p_j; j = 1, 2, \dots, n \quad (2-5)$$

onde $\{X_j; j = 1, 2, \dots, n\}$ são valores da degradação por chuva relacionados aos níveis $\{(E_b/N_0)_j; j = 1, 2, \dots, n\}$, dados por

$$X_j = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j \quad (2-6)$$

Na ausência de controle automático de potência, a degradação da razão E_b/N_0 causada por chuvas corresponde à atenuação do enlace provocada por precipitações atmosféricas, que tem comportamento aleatório. Existem diversos modelos para caracterizar estatisticamente a atenuação por chuvas, que buscam estimar com a maior fidelidade possível a atenuação verificada em enlaces reais.

2.2

Degradação conjunta causada por chuvas e erro de apontamento da antena

Quando consideradas simultaneamente as degradações por chuva x e por erro de apontamento da antena y , a razão E_b/N_0 será afetada pela degradação conjunta das duas fontes, que será a soma das degradações individuais (quando expressas em dB). Neste caso, (2-3) se escreve

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

Da mesma forma que no caso em que apenas a degradação por chuvas é considerada, quanto maior a degradação conjunta $z = x + y$, menor a razão e . Assim,

$$P \left(e < \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \right) = P(x + y > Z_j) \leq 0,9p_j; j = 1, 2, \dots, n \quad (2-8)$$

onde $\{Z_j; j = 1, 2, \dots, n\}$ são valores de degradação relacionados aos níveis $\{(E_b/N_0)_j; j = 1, 2, \dots, n\}$, dados por

$$Z_j = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{CS} - \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_j \quad (2-9)$$

Conhecidos os comportamentos estatísticos da degradação por chuva x e da degradação por erro de apontamento y , é possível caracterizar o comportamento da degradação conjunta $z = x + y$.

Conforme já comentado, o comportamento estatístico da atenuação por chuva é amplamente conhecido, e um dos modelos utilizados para caracterizá-lo será apenas descrito de forma resumida nesta dissertação. No que diz respeito ao comportamento estatístico da degradação causada pelo erro de apontamento, uma análise mais abrangente é apresentada na Seção 3.3.