

Alberth Ronal Tamo Calla

**Cálculo de Interferências entre Redes de
Comunicação por Satélite: Efeito Conjunto da
Modelagem Probabilística das Posições
Geográficas e dos Ganhos nos Lóbulos Laterais
das Antenas das Estações Terrenas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. José Mauro Pedro Fortes

Rio de Janeiro
Março de 2013



Alberth Ronal Tamo Calla

**Cálculo de Interferências entre Redes de
Comunicação por Satélite: Efeito Conjunto da
Modelagem Probabilística das Posições
Geográficas e dos Ganhos nos Lóbulos Laterais
das Antenas das Estações Terrenas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Mauro Pedro Fortes

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações — PUC-Rio

Prof. Paulo Roberto Rosa Lopes Nunes

IME

Prof. Raimundo Sampaio Neto

Centro de Estudos em Telecomunicações — PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 22 de Março de 2013

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Alberth Ronal Tamo Calla

Graduou-se em Engenharia Eletrônica na Universidad Nacional de San Agustin.

Ficha Catalográfica

Tamo Calla, Alberth Ronal

Cálculo de Interferências entre Redes de Comunicação por Satélite: Efeito Conjunto da Modelagem Probabilística das Posições Geográficas e dos Ganhos nos Lóbulos Laterais das Antenas das Estações Terrenas/ Alberth Ronal Tamo Calla; orientador: José Mauro Pedro Fortes. — Rio de Janeiro : PUC–Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

71 f: il.(color.) ; 30 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Tese. 2. Sistemas Via Satélite. 3. Interferência 4. Localização Das Estações Terrenas. 5. Ganhos De Antena. 7. Modelagem Probabilística. I. Fortes, José Mauro Pedro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

A aquellas personas que se cruzaron en mi camino, me apoyaron, aconsejaron
y guiaron. Cuyos nombres nunca olvidare Elar, Andrea, Magaly, Helen,
Laura, Manuel, Zoila.

Agradecimentos

É nesta seção que toma-se conta de quão importante são as pessoas que se tem por perto, aquelas que ajudam para o dia a dia valer a pena, no caminho que recorro nesta parte da minha vida, neste belo país ao que agradeço grandemente por me permitir viver e crescer com inúmeras novas experiências... Brasil.

Gostaria de agradecer também ao Governo Brasileiro, à Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio) e as instituições de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) por acreditar em meu trabalho e o apoio financeiro provido.

Ao professor José Mauro pela orientação, ajuda e confiança ao longo do desenvolvimento deste trabalho e na minha formação acadêmica, estarei eternamente grato.

Não posso deixar de mencionar o apoio e ânimos de meus colegas e amigos Alex, Americo, Harry, amigos que conheci no Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC) e a todas aquelas pessoas que não mencionei e no por tanto estou menos grato como eles.

Finalmente aos meus pais e irmãs, aos meus tios e primos que mesmo sem estar ao meu lado, estiveram sempre presentes para poder continuar, à minha família.

Resumo

Tamo Calla, Alberth Ronal; Fortes, José Mauro Pedro. **Cálculo de Interferências entre Redes de Comunicação por Satélite: Efeito Conjunto da Modelagem Probabilística das Posições Geográficas e dos Ganhos nos Lóbulos Laterais das Antenas das Estações Terrenas**. Rio de Janeiro, 2013. 71p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Num ambiente onde diversos sistemas de comunicação compartilham uma determinada faixa de frequências, cada um dos sistemas envolvidos opera sujeito às interferências geradas pelos demais sistemas. Neste ambiente, cresce a importância de uma avaliação precisa dos efeitos de interferência. Dada a complexidade do problema, o cálculo de interferências é usualmente feito considerando-se diversas situações de pior caso e hipóteses simplificadoras. Estas situações incluem, por exemplo, a hipótese de que a degradação devida a chuvas está presente apenas no enlace vítima, não afetando os enlaces interferentes, a hipótese de que as estações terrenas envolvidas estão localizadas nos pontos mais desfavoráveis (em termos de interferência) de suas área de serviço e a consideração de um diagrama de referência para os diagramas de radiação das antenas. Estas hipóteses implicam num cálculo de interferências conservador, no qual os níveis de interferência obtidos são maiores do que os níveis reais. No presente trabalho, como alternativa à consideração de que as estações terrenas envolvidas estão localizadas nos pontos mais desfavoráveis das áreas de serviço, as posições geográficas das estações terrenas são modeladas probabilisticamente, sendo caracterizadas por vetores aleatórios. Neste caso, a razão portadora interferência resultante é também uma variável aleatória cujo comportamento estatístico é avaliado no trabalho. Resultados numéricos são obtidos para situações envolvendo sistemas multi-feixes de comunicações por satélite operando na Banda Ka. Estes resultados são comparados àqueles obtidos sob a hipótese de que as estações terrenas envolvidas estão localizadas nos pontos mais desfavoráveis das áreas de serviço. Finalmente, o efeito conjunto da modelagem probabilística tanto das posições geográficas das estações terrenas quanto dos ganhos nos lóbulos laterais de suas antenas, foi avaliado.

Palavras-chave

Sistemas Via Satélite; Interferência; Localização Das Estações Terrenas; Ganhos De Antena; Modelagem Probabilística

Abstract

Tamo Calla, Alberth Ronal; Fortes, José Mauro Pedro(Advisor). **Evaluation of Interference among Satellite Communications Networks: Joint Effect of the Probabilistic Modeling of Earth Station Antenna Locations and Antenna Sidelobe Gains.** . Rio de Janeiro, 2013. 71p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

When multiple communication systems share a particular frequency band, each system operates subject to interference generated by the others. In this environment, an accurate assessment of the effects of interference is very important. Given the complexity of the problem, interference calculations is usually done considering a number of worst case conditions and simplifying assumptions. They include, for example, the hypothesis that the degradation due to rain is only present in the victim link and do not affect any of the interfering links, the hypothesis that earth stations involved are located at the most unfavorable sites (in terms of interference) within their service areas, and the use of a reference diagram for radiation antenna patterns. These hypotheses imply a conservative calculation of interference in which obtained interference levels are higher than their actual levels. In this work, as an alternative to the assumption that the earth stations are located at the most unfavorable sites of their service areas, a probabilistic model is used. In the proposed model the geographic locations of the ground stations are characterized by random vectors. As a consequence, the resulting carrier interference ratio is also a random variable and its statistical behavior is also evaluated in this work. Numerical results are obtained for particular situations involving multiple multi-beam satellite communication networks operating in the Ka band. The results are compared to those obtained under the assumption that the earth stations are located at the most unfavorable sites of their service areas. Finally, the joint effect of modeling both, the ground station locations and their antenna sidelobe gains, as random quantities was evaluated.

Keywords

Satellite Systems; Interference; Earth Station Locations; Antenna Gains; Probabilistic Models.

Sumário

1	Introdução	12
2	Descrição do Problema	15
3	Modelagem Matemática	17
3.1	Calculo da Razão Portadora-Interferência	17
3.2	Modelagem Probabilística das Posições geográficas das Estações Terrenas e dos ganhos de suas Antenas	25
3.3	Função Densidade de Probabilidade da Razão Interferência-Portadora	29
4	Resultados Numéricos	36
4.1	Resultados correspondentes à situação quando somente os ganhos das antenas das estações terrenas são considerados aleatórios	49
4.2	Resultados correspondentes à situação onde somente as posições geográficas das estações terrenas são consideradas como aleatórias	52
4.3	Resultados correspondentes à situação onde a posição geográfica e os ganhos das antenas, das estações terrenas são considerados aleatórios	55
5	Conclusões	60
A	Geração de pontos uniformemente distribuídos na região da superfície terrestre limitada pelo contorno de 3 dB de uma antena de satélite com feixe circular	66

Lista de figuras

2.1	Feixe de 3 dB e a area irregular formada na superfície da terra.	16
3.1	Geometria utilizada no cálculo de interferência de entrada única numa rede de comunicações via Satélite	18
3.2	Cálculo de fator Gamma γ	21
3.3	Geometria utilizada no calculo de interferência agregada causada por multiples redes interferentes.	22
3.4	Geometria no caso particular de vários enlaces em um único satélite.	23
4.1	Enlace Direto e Enlace Reverso	36
4.2	Diagrama de cobertura de feixes com código de quatro cores.	37
4.3	Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_1 .	38
4.4	Localização das estações terrenas dos feixes do sistema vítima S_V .	38
4.5	Percurso de interferência no lance de subida.	39
4.6	Percurso de interferência no lance de descida (Cenário I).	39
4.7	Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_2 .	40
4.8	Percurso de interferência no lance de descida (Cenário II).	41
4.9	Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_3 .	43
4.10	Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_4 .	43
4.11	Percurso de interferência no lance de descida (Cenário II).	44
4.12	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> para o Cenário I, enlace direto (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).	49
4.13	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> para o Cenário I, enlace reverso (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).	50
4.14	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> para o Cenário II, enlace direto (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).	50
4.15	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> para o Cenário II, enlace reverso (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).	51
4.16	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> para o Cenário III, enlace direto (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).	51
4.17	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> para o Cenário III, enlace reverso (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).	52

4.18	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> do enlace direto para os Cenários I, II, III, quando só as posições geográficas das estações terrenas são consideradas aleatórias.	53
4.19	Função distribuição de probabilidade da razão <i>portadora - interferência agregada</i> do enlace reverso para os Cenários I, II, III, quando só as posições geográficas das estações terrenas são consideradas aleatórias.	54
4.20	Cenário I, enlace direto e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.	56
4.21	Cenário I, enlace reverso e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.	56
4.22	Cenário II, enlace direto e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.	57
4.23	Cenário II, enlace reverso e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.	57
4.24	Cenário III, enlace direto e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.	58
4.25	Cenário III, enlace reverso e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.	58
A.1	Projeção cônica do plano D na superfície da Terra.	66
A.2	Projeção cilíndrica do plano D na superfície da Terra.	67
A.3	Aproximação de área de cobertura	67
A.4	Comparação dos feixes 1,2 e 3 e a geração dos pontos aleatórios.	71

Lista de tabelas

4.1	Parâmetros do Enlace Direto.	45
4.2	Parâmetros de Enlace Reverso.	45
A.1	Especificações técnicas dos feixes utilizados	71