

2 Aspectos Teóricos

2.1. Introdução:

A obtenção de dados experimentais para a análise da propagação de sinais transmitidos por sistemas de comunicações móveis e de rádio-determinação que utilizam satélites não geo-estacionários e recebidos por observadores situados em ambientes complexos é uma tarefa essencial, porém muito laboriosa. As medidas correspondentes se baseiam em campanhas que utilizam sinais irradiados de plataformas transmissoras, aeronaves e satélites, geo-estacionários ou não. Conseqüentemente, se faz necessária a alocação de grande quantidade de tempo e de recursos para utilização de equipamentos apropriados a estas medições e à análise e interpretação dos dados obtidos.

Para contornar este tipo de dificuldade, Akturan e Vogel [1] desenvolveram uma técnica para estimação de margens de desvanecimento do sinal recebido. Esta técnica apresenta as vantagens de minimizar a necessidade de campanhas de medidas de sinal e de poder ser utilizada para a previsão do desempenho de sistemas baseados em diferentes constelações. Pode servir, ainda, na otimização de medidas de desempenho específicas.

Tal metodologia será apresentada no presente capítulo.

2.2. A metodologia de Akturan e Vogel:

A metodologia desenvolvida por Akturan e Vogel [1], aqui referenciada como **metodologia óptica de avaliação de margens de desvanecimento** pode ser resumida nas seguintes etapas:

1. obtenção de um grande número de fotografias do ambiente de interesse, por intermédio de uma câmera fotográfica equipada com uma lente tipo grande angular sempre apontada para o zênite do observador;
2. digitalização e processamento de cada fotografia, de modo a extrair uma informação sobre o estado de um percurso arbitrário originado no observador correspondente (espaço livre, sombreado por árvores e bloqueado pelo terreno ou por uma edificação), como função do azimute e da elevação;
3. combinação dos estados obtidos na etapa anterior com modelos estatísticos para a intensidade do sinal na faixa de frequência apropriada, de forma a prever a dependência do desvanecimento com a direção de observação e a existência de possíveis ganhos de diversidade.

2.3.

Obtenção e Tratamento de Imagens:

As imagens utilizadas na metodologia em questão são obtidas utilizando-se câmaras fotográficas digitais de 35 mm, equipadas com lentes do tipo grande angular. Estas lentes possuem um campo de visão completo de 90° de elevação e 360° de azimute. As câmaras são sempre direcionadas para o zênite e podem ser posicionadas sobre veículos, carregadas por uma pessoa, ou fixadas sobre tripés. Utiliza-se, então, uma bússola para alinhar o topo de cada fotografia com o norte magnético. As fotografias resultantes são transferidas para um computador pessoal e processadas em seguida. A figura 2-1 mostra um exemplo deste tipo de fotografia.



Figura 2-1 – Fotografia obtida por câmara fotográfica dotada de lente grande angular para processamento posterior (reproduzida da referência [1]).

Já de posse da imagem digitalizada em formato colorido de 24 bits, é feita uma redução para um padrão de imagem de 8 bits em 256 tons de cinza. Feito isso, a imagem é então convertida de uma forma circular, com o zênite no centro, para uma forma retangular com o zênite no topo da imagem, conforme indicado na figura 2-2.



Figura 2-2 – Etapas de conversão e classificação de imagens na metodologia original (reproduzida da referência [1]).

Após esta etapa, é feita uma série de tratamentos na imagem obtida. Tais tratamentos não fazem parte do escopo desta dissertação e, portanto, não serão aqui abordados. Detalhes adicionais podem ser encontrados em [2].

O resultado de todos os tratamentos em uma das imagens obtidas pode ser observado no quadro à direita da figura 2-2. Este quadro é subdividido em células de $1^\circ \times 1^\circ$ de resolução em azimute e elevação, sendo cada célula classificada em um dos três estados (livre, sombreado, bloqueado).

Várias fotografias como as apresentadas no quadro da direita da figura 2-2 foram obtidas de forma a se caracterizar o ambiente que se pretende analisar.

Em [1] e [2], foram utilizadas mais de 280 fotografias obtidas em ambientes do tipo rural e urbano, nos distritos americanos de Austin e San Antonio, no estado do Texas, nos Estados Unidos da América.

Após os procedimentos citados acima, determinam-se as frações da imagem que apresentam estados livre, sombreado e bloqueado, formando os chamados vetores de composição de estados \vec{M} , que serão utilizados em associação com os modelos estatísticos de desvanecimento na etapa seguinte do método. No estudo descrito no presente capítulo, o vetor \vec{M} foi obtido levando-se em consideração todas as imagens disponíveis.

Para se caracterizar um ambiente em particular, pode-se definir o vetor de combinação de estados \vec{M} por:

$$\vec{M} = (C, S, B) \quad (2.1)$$

onde C, S e B são as probabilidades de se obter um dentre os três estados de percurso (livre, bloqueado e sombreado, respectivamente) em um determinado ambiente. Estas probabilidades também podem ser calculadas em função do ângulo de elevação.

Definindo-se vetores unitários de espaços de estado como:

$$\begin{aligned} \vec{c} &= (1, 0, 0) \\ \vec{s} &= (0, 1, 0) \\ \vec{b} &= (0, 0, 1) \end{aligned} \quad (2.2)$$

fica claro que:

$$\vec{M} \cdot \vec{c} + \vec{M} \cdot \vec{s} + \vec{M} \cdot \vec{b} = 1 \quad (2.3)$$

2.4.

Predição da Distribuição Cumulativa de Desvanecimento para Satélite Único:

A amplitude do sinal recebido ao longo de percursos classificados em cada um dos três possíveis estados foi associada a uma distribuição estatística de desvanecimento específica [3]. O estado livre foi caracterizado por uma distribuição Rician, resultante da superposição de uma componente direta de sinal com contribuições de componentes de multipercurso, sem se contabilizarem componentes especulares. O estado sombreado foi modelado por Loo [4] como uma combinação de uma componente direta atenuada, seguindo uma distribuição log-normal, e de uma componente de potência espalhada difusamente, com distribuição de Rayleigh. O estado bloqueado foi modelado apresentando apenas a componente de potência espalhada seguindo uma distribuição de Rayleigh. As três distribuições citadas são apresentadas no conjunto de equações (2.4),(2.5) e (2.6)

$$f_{Rice}(v) = 2K_{Rice} v \exp[-K_{Rice}(v^2 + 1)] I_0(2K_{Rice} v) \quad (2.4)$$

$$f_{Loo}(v) = 8,686 \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{K_{Loo} v}{\sigma} \int_0^{\infty} \frac{1}{z} e^{\left[-\frac{(20 \log(z) - m)^2}{2\sigma^2} - K_{Loo}(v^2 - z^2) \right]} \cdot I_0(2K_{Loo} v) \cdot dz \quad (2.5)$$

$$f_{Rayleigh}(v) = 2K_{Ray} v \exp(-K_{Ray} v^2) \quad (2.6)$$

onde v é a tensão recebida relativa à de espaço livre (visada direta), K é a razão entre a potência recebida em visada direta e a potência de multipercurso, $I_0(v)$ é a função de Bessel modificada de primeiro tipo de ordem 0 e argumento v , m é a média de $\log(v)$ e σ é o desvio-padrão de $\log(v)$.

Karasawa et al. [5] ajustaram uma combinação linear das três funções densidade de probabilidade citadas anteriormente à função densidade de probabilidade resultante de dados de medidas de propagação em um enlace via satélite na banda L, obtidos em ambiente urbano no Japão com elevação de 32°, gerando uma distribuição composta. Os coeficientes da combinação linear das três funções densidade de probabilidade citadas anteriormente foram as três componentes do vetor de composição de estados \overline{M} . Esta combinação linear pode ser expressa por:

$$f_v(v) = C \cdot f_{Rice}(v) + S \cdot f_{Loo}(v) + B \cdot f_{Rayleigh}(v) \quad (2.7)$$

onde C, S e B são as probabilidades de se obter estados livre, sombreado e bloqueados, respectivamente. Nesta expressão, f_v denota a função densidade de probabilidade para a amplitude do sinal recebido. O modelo apresentado em (2.7) é conhecido como o modelo rural de três estados. Em [1] e [2], faz-se referência a uma expressão semelhante à equação (2.7), em que a distribuição de Rayleigh é substituída pela distribuição de Loo, apresentando uma melhor aderência aos resultados obtidos em um ambiente urbano. Este novo modelo é também conhecido como o modelo urbano de três estados. A explicação apresentada em [2] para a existência de dois modelos reside no fato de que em regiões rurais e em auto-estradas a linha-de-visada e as fontes de multipercurso mais intensas são bloqueadas simultaneamente por viadutos ao longo de uma fração do percurso, sendo mais apropriada a utilização da distribuição de Rayleigh para descrever-se o estado bloqueado (B). Por outro lado, em ambientes urbanos, mesmo quando o horizonte do observador está bloqueado existe a possibilidade de recepção de sinais difratados e refletidos nas laterais iluminadas das edificações no entorno, vindo daí a necessidade de se substituir a distribuição que representa o estado bloqueado para a distribuição Loo. Representações gráficas das expressões acima podem ser encontradas em [1], [2], [6] e [7]. Nesta dissertação, utilizou-se o modelo urbano de três estados com os seguintes valores de parâmetros:

$$\begin{aligned}
 C &\rightarrow K_{Rice} = -7,7 \text{ dB} \\
 S &\rightarrow K_{Loo2} = -13,0 \text{ dB} ; m = -10,0 \text{ dB} ; \sigma = 3,0 \text{ dB} \\
 B &\rightarrow K_{Loo1} = -27,0 \text{ dB} ; m = -20,0 \text{ dB} ; \sigma = 3,0 \text{ dB}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Os parâmetros acima foram obtidos durante um experimento conduzido pela KDD usando um satélite INMARSAT com uma elevação de 32° , no Japão, conforme citado em [5]. Embora haja a necessidade de obterem-se parâmetros de distribuições próprios para uma avaliação quantitativa dos casos apresentados nesta dissertação, os parâmetros apresentados em (2.8) são considerados adequados para uma avaliação qualitativa na investigação da dependência dos esquemas de diversidade, com os parâmetros orbitais, conforme tendência apresentada em [1], [2] e [5].

De posse dos parâmetros em (2.8), utiliza-se um algoritmo para geração de números aleatórios, uniformemente distribuídos, com valores entre 0 e 1. Estes valores são utilizados como valores de probabilidades para determinação

do parâmetro v em (2.4), (2.5) e (2.6), através da utilização de uma tabela contendo a correspondência dos valores de probabilidade e deste parâmetro, calculados sobre as respectivas distribuições cumulativas. Estas distribuições cumulativas são obtidas integrando-se numericamente as distribuições em (2.4), (2.5) e (2.6), utilizando os valores em (2.8).

2.5.

Combinação de Estados de Percursos:

Um dos parâmetros de extrema importância nesta metodologia é a probabilidade de se encontrar um dado número de satélites com elevações superiores a um limiar pré-definido e que tenham determinadas combinações de estados. Na presente dissertação, foi adotado o limiar de 10° para a elevação. A importância deste parâmetro está no fato de o mesmo ser um dos itens a serem levados em consideração no modelamento da recepção em diversidade.

Um exemplo de combinações de estados para diversidade de satélites usando-se até quatro satélites pode ser visto na tabela 2-1 a seguir.

Ordem da Combinação	Exatamente 1 satélite	Exatamente 2 satélites	Exatamente 3 satélites	4 Melhores Satélites
1	C	CC	CCC	CCCC
2				CCCS
3				CCCB
4			CCS	CCSS
5				CCSB
6			CCB	CCBB
7		CS	CSS	CSSS
8				CSSB
9			CSB	CSBB
10		CB	CBB	CBBB
11	S	SS	SSS	SSSS
12				SSSB
13			SSB	SSBB
14		SB	SBB	SBBB
15	B	BB	BBB	BBBB

Tabela 2-1 - Combinações de estado de percurso para esquemas de diversidade de satélite usando até 4 satélites simultaneamente.

Dependendo da constelação, é possível que mais de quatro satélites tenham elevações superiores ao limiar pré-definido ao mesmo tempo. Deve-se observar que a última coluna da tabela 2-1 apresenta não só as situações em que exatamente quatro satélites, mas também aquelas em que mais de quatro satélites têm a propriedade citada, considerando apenas os quatro melhores no segundo caso. Entretanto, deve-se ressaltar que, na presente dissertação, não se observou a existência de mais de quatro satélites com elevações simultaneamente superiores ao limiar.

Cada combinação de estados tem uma certa probabilidade de ocorrência, que é função do ambiente em que se encontra o observador e da constelação satélite adotada. A soma de todas as probabilidades referenciadas acima com a probabilidade de que não haja qualquer satélite com elevação superior ao limiar pré-definido deve ser igual a um.

O cálculo das probabilidades de ocorrência de combinações de estados foi realizado contando-se todas as ocorrências de cada combinação de estados ao longo de todas as imagens e de todos os instantes de tempo.

2.6. Operação em Diversidade:

Um dos principais focos da metodologia adotada é a avaliação de esquemas de diversidade de satélites com o intuito de mitigar os efeitos de desvanecimento causado pelo sombreamento e bloqueio do percurso do sinal. A intenção é permitir que um mesmo usuário tenha acesso a mais de um satélite visível simultaneamente. Associado a estes esquemas de diversidade, está um ganho de diversidade. Os esquemas de recepção em diversidade a serem avaliados são a combinação coerente e a comutação.

2.6.1. Combinação Coerente:

No esquema de diversidade por combinação coerente, as envoltórias dos sinais oriundos dos satélites envolvidos são somadas coerentemente em tensão. Isto pode ser representado matematicamente por:

$$v = \sum_{i=1}^k v_i \quad (2.9)$$

Os sinais utilizados são todos os transmitidos pelos satélites cujas elevações são superiores à mínima pré-definida. Na equação(2.9), k representa o número de satélites envolvidos no esquema de diversidade.

Para o caso da diversidade por combinação coerente a função densidade de probabilidade conjunta para a recepção utilizando-se k satélites é a convolução das k funções densidade de probabilidade, correspondentes a cada um dos estados da combinação. A função distribuição cumulativa para este esquema de diversidade fica:

$$F_{v,k}(v | P_1 \dots P_k) = \int_0^v f_{x,k}(x | P_1 \dots P_k) \cdot dx \quad (2.10)$$

onde P_i é o estado do percurso (C, S ou B) para o satélite de ordem i do estado combinado.

2.6.2. Diversidade por Comutação:

Na diversidade por comutação, o terminal do usuário seleciona o satélite com o sinal de maior amplitude:

$$v = \max(v_1, \dots, v_k) \quad (2.11)$$

entre aqueles de elevação superior à mínima pré-definida. Na equação(2.11), k representa o número de satélites envolvidos no esquema de diversidade.

Para o caso da diversidade por comutação, a função distribuição cumulativa conjunta para a recepção utilizando-se k satélites é o produto das funções distribuições cumulativas correspondentes aos estados de cada um dos k satélites envolvidos. Logo:

$$F_{v,k}(v | P_1 \dots P_k) = F_v(v | P_1) \cdot F_v(v | P_2) \cdot \dots \cdot F_v(v | P_k) \quad (2.12)$$

onde P_i é o estado do percurso (C, S ou B) para o satélite de ordem i do estado combinado.

Em ambos esquemas de recepção em diversidade, a amplitude de cada sinal v_i , em cada instante de tempo, é obtida considerando o estado do percurso ao satélite correspondente, determinado a partir das imagens digitalizadas, assim como a função densidade de probabilidade apropriada. Exemplo de distribuições de probabilidades para a predição de desvanecimento, considerando-se, ou não, a utilização de esquemas de diversidade, podem ser observados em [1], [2], [6] e [7].