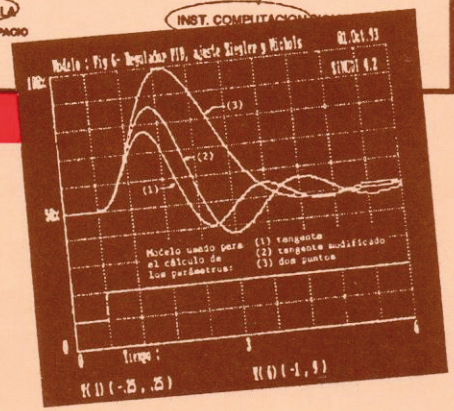
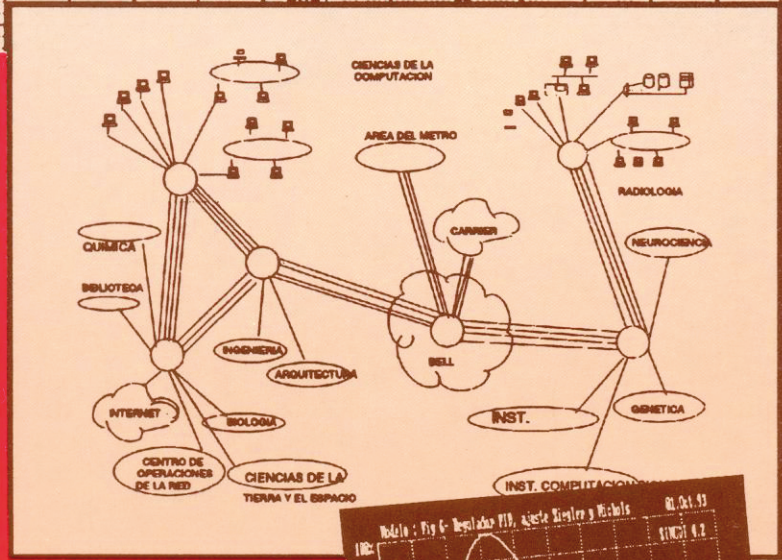
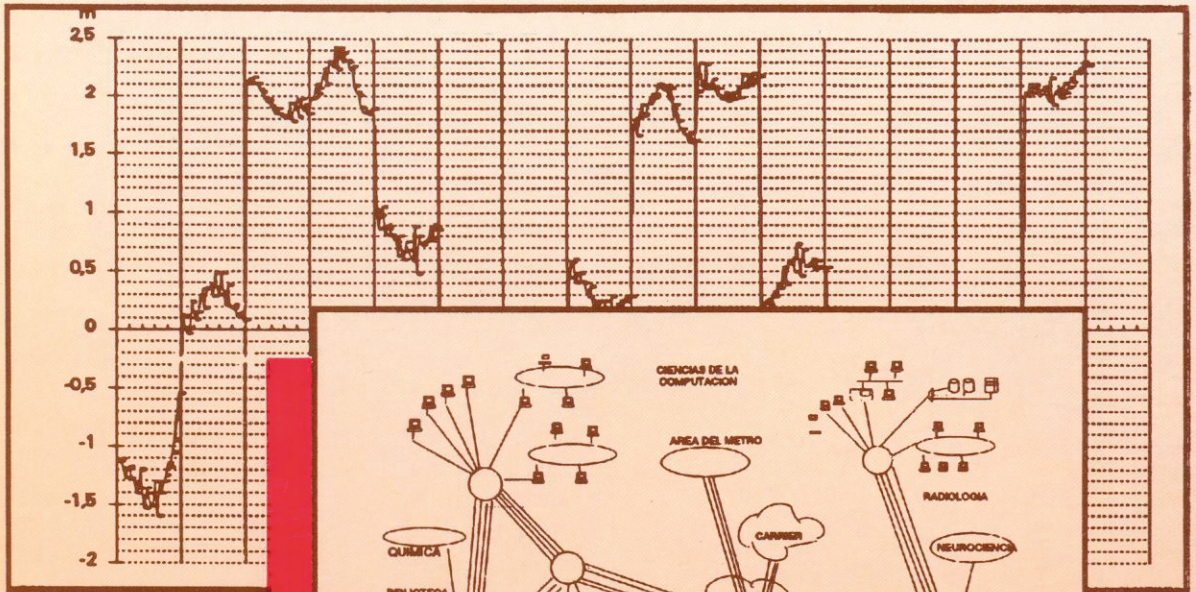


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/JUNIO 1994 VOLUMEN 4 N° 1



DESVANECIMIENTO POR MULTITRAYECTORIAS EN ENLACES DE MICROONDAS

Jorge Arce U, MSc. *

RESUMEN

Los desvanecimientos debido a trayectorias múltiples en enlaces largos de microondas analógicas y digitales en la mayoría de los casos son la condición que afecta más significativamente el desempeño del enlace.

En este artículo se discutirá los fundamentos estadísticos del desvanecimiento plano tipo Rayleigh, que ha sido usado en el diseño de radioenlaces en nuestro ambiente.

SUMMARY

Multipath fading in long digital and analog microwave link is in most cases, the major condition that affects overall system performance.

In this paper it will be discussed the probabilistic fundamentals of the flat Rayleigh fading that has been used for designing radio links in our environment.

1. INTRODUCCIÓN

El modelo de multitrayectorias de la señal recibida presupone que ésta se compone de la suma de varias señales que llegan al receptor por diferentes trayectos, exhibiendo una fase aleatoria y una magnitud Gaussiana. La composición vectorial de estas señales dan como resultado una señal de amplitud aleatoria con distribución Rayleigh.

Las causas que provocan esta dispersión de la señal, se deben a la estratificación de los índices de refracción de la atmósfera, los cuales son cambiantes durante todo el año.

Se sabe que este fenómeno no es estacionario. En algunas épocas del año la atmósfera se presenta altamente heterogénea; es decir, muy estratificada, en cuanto al índice de refracción se refiere y aunque el enlace sea "línea vista" y sin obstrucciones, aparecen en el receptor múltiples señales de las cuales no hay ninguna que presente una preponderancia sobre las otras.

Durante el proceso de análisis se denotará como I la probabilidad de ocurrencia del desvanecimiento, siendo su duración más larga que la de un símbolo. Esta situación especial de la duración relativa del evento de desvanecimiento con respecto a la del símbolo se denomina desvanecimiento plano o lento.

2. EL MODELO

El receptor recibirá una señal que es el resultado de la composición de múltiples señales cuya amplitud es Gaussiana y la fase uniformemente distribuida en el intervalo de 0 a 2π .

$$R_j(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(\omega t + \theta_j + \phi_j) + n(t)$$

donde:

$n(t)$ es ruido blanco Gaussiano adicionado por el receptor.

θ_j es uniformemente distribuida en $(0, 2\pi)$

ϕ_j es la fase del j -ésimo símbolo enviado en un sistema de modulación DQPSK.

a_i es la amplitud de la i -ésima señal recibida.

La señal recibida puede representarse también de la siguiente forma:

$$R_j(t) \sim \left(\sum_{i=1}^N a_i \cos(\omega_i t + \theta_i) \right) \cos(\omega_c t + \theta_c) + n(t) \quad (2)$$

Para N suficientemente grande (ambiente dispersivo), cada una de las sumatorias puede considerarse como una variable aleatoria Gaussiana (Teorema del Límite Central), pudiéndose simplificar la expresión de la señal recibida así:

$$R_j(t) = \sqrt{V} \cos(\omega_c t + \theta_c) + n(t) \quad (3)$$

3. FUNCIÓN DE DENSIDAD PROBABILÍSTICA DE LA SEÑAL RECIBIDA

La presentación anterior se denomina comúnmente como representación en fase y cuadratura de la señal recibida.

Igualmente se puede representar en magnitud y fase de la siguiente forma:

$$R_j(t) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \cos(\omega_c t + \theta) + n(t) \quad (4)$$

Es fácil demostrar que si u_1 y u_2 son Gaussianas e independientes, entonces las nuevas variables aleatorias:

$$R = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} (u_2 / u_1) \quad (6)$$

son, la primera Rayleigh y la segunda uniforme en el intervalo [0, 2π]. Y estadísticamente independientes, esto es:

$$f(R, \theta) = (R / 2\pi \sigma^2) \exp\{-R^2 / 2\sigma^2\} \quad (7)$$

Se puede observar inmediatamente que:

$$f(R, \theta) = (R / \sigma^2) \exp\{-R^2 / 2\sigma^2\} \cdot (1/2\pi) = f(R) \cdot f(\theta) \quad (8)$$

Así que son independientes, y la función de densidad probabilística de la amplitud de la señal distribuida es Rayleigh y está dado por:

$$f(R) = (R / \sigma^2) \exp\{-R^2 / 2\sigma^2\} \quad 0 < R < \infty \quad (9)$$

4. CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE DESVANECIMIENTO

El desvanecimiento de la señal se da cuando, la señal recibida disminuye su nivel de recepción nominal de "espacio libre" a valores menores que este, durante un período de tiempo.

Así, la probabilidad de que la señal recibida sea menor que X, por debajo del nivel de señal en ausencia de desvanecimiento es:

$$P[R < X] = \int_0^X (R / \sigma^2) \exp\{-R^2 / 2\sigma^2\} dR = 1 - \exp\{-X^2 / 2\sigma^2\} \quad (10)$$

Para valores grandes de X, el valor asintótico de la expresión anterior es:

$$P[R < X] \cong (1 / 2\sigma^2) X^2 \quad (11)$$

Expresando este valor en decibels con respecto a la condición de no desvanecimiento:

$$F = -10 \log_{10} x^2 \quad (12)$$

Obtenemos la expresión conocida:

$$P[R < X] = (1 / 2\sigma^2) 10^{-F/10} \quad (13)$$

donde F es desvanecimiento en dB que sufriría la señal, por debajo del valor de referencia de espacio libre.

Sea μ el nivel para el cual la probabilidad de que la señal desvanecida este por encima o por debajo de ese valor sea 1/2.

Esto implica que:

$$P[R < \mu] = 1 - \exp\left\{-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (14)$$

de donde podemos concluir que el término $(1/2\sigma^2)$ se puede representar como:

$$(1/2\sigma^2) = \frac{f n^2}{\mu^2} \quad (15)$$

En decibeles:

$$L^2 = -10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (16)$$

Así:

$$P[R < \mu] = \frac{f n^2}{\mu^2} 10^{-L/10} \quad (17)$$

Finalmente, si P es la probabilidad de que el desvanecimiento ocurra, entonces la probabilidad de tener desvanecimientos por múltiples trayectorias sería:

$$Pr(F) = 1 - P[R < X] = 1 - \frac{f n^2}{\mu^2} 10^{-L/10} \quad (18)$$

$$Pr(F) = 0.693 \frac{f n^2}{\mu^2} 10^{-L/10} \quad (19)$$

La expresión para el desvanecimiento por trayectorias múltiples que aparece comúnmente en la literatura es:

$$Pr = P_0 10^{-F/10} \quad (20)$$

Por comparación se obtiene que:

$$P_0 = 0.693 \frac{f n^2}{\mu^2} 10^{-L/10} \quad (21)$$

Empíricamente se le ha dado a P_0 una relación funcional con el tipo de terreno, el clima, la frecuencia y la distancia del enlace:

$$P_0 = 0.3 a b (f/4)^d (d/50)^r \quad (22)$$

- a: coeficiente del clima, oscila entre 1/4 y 4.
- b: coeficiente del terreno, oscila entre 1/4 y 4.
- f: frecuencia en GHz.
- d: longitud del enlace en Km.

CONCLUSIÓN

Se ha hecho una deducción de la expresión de la probabilidad de desvanecimiento debido a multitrayectorias desde sus fundamentos.

Al final del artículo se presenta una relación teórica en comparación con una empírica en la cual se relaciona la probabilidad de que ocurra un desvanecimiento, con condiciones geográficas y climatológicas del trayecto sobre el cual se esta realizando el enlace.

BIBLIOGRAFÍA

- Breipow, Arthur; Probabilistic System Analysis (John Wiley & Sons, Inc., 1970)
- Van Trees, Harry; Detection, Estimation and Modulation Theory, Part I (John Wiley & Sons, Inc., 1968)
- Lee, William C.; Mobile Communications Engineering (Mc Graw Hill, Inc., 1982)
- Giger, Adolf J.; Low-Angle Microwave Propagation (Artech House, 1991)