

Modelo para Simulación de Desvanecimiento Correlado en Sistemas de Comunicaciones Móviles

Luis Mendo

ETSIT UPM. Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

Resumen *En este artículo se presenta un modelo de desvanecimiento correlado, que generaliza otros previamente propuestos. Este modelo puede utilizarse para la simulación de sistemas de comunicaciones móviles.*

Introducción De acuerdo con consideraciones teóricas (teorema del límite central) y mediciones, el desvanecimiento por sombra en dB se caracteriza mediante una distribución gaussiana de media nula, con una cierta varianza σ^2 . Sin embargo, esta distribución (de primer orden) no describe la relación estadística entre los desvanecimientos en dos trayectos de propagación próximos.

De acuerdo con los resultados experimentales de Gudmundson [1], la correlación entre los desvanecimientos (en dB) para trayectos diferentes desde una misma estación base puede describirse mediante una función de la forma $\sigma^2 e^{-r/d_c}$, siendo r el desplazamiento del móvil y d_c una distancia de correlación característica del entorno. El modelo de Viterbi [2], por otro lado, descompone el desvanecimiento en dos partes independientes, siendo la primera función de la posición de la base y la segunda de la posición del móvil. El modelo describe la correlación entre trayectos con un extremo común, y suponen correlación nula para el resto. Viterbi propone un coeficiente de correlación 1/2.

En el presente artículo proponemos un modelo para caracterizar la correlación entre trayectos de propagación cualesquiera. Este modelo tiene aplicación en la simulación de sistemas de comunicaciones móviles, donde dicha correlación puede tener un efecto importante sobre la capacidad.

Modelo de desvanecimiento El desvanecimiento (dB) entre una base situada en (x, y) y un móvil en (x', y') se expresa como

$$M(x_{bs}, y_{bs}; x_{ms}, y_{ms}) = \frac{M_{bs}(x, y) + M_{ms}(x', y')}{\sqrt{2}},$$

siendo $M_{bs}(x, y)$ y $M_{ms}(x', y')$ procesos estocásticos bidimensionales independientes gaussianos con media nula y función de autocorrelación

$$\begin{aligned} E[M_{bs}(x, y)M_{bs}(x', y')] &= E[M_{ms}(x, y)M_{ms}(x', y')] \\ &= \sigma^2 \psi(x - x', y - y'), \end{aligned}$$

con $\psi(\delta_x, \delta_y) = e^{-\sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}/d_c}$. Este modelo descompone el desvanecimiento en dos términos independientes, como el de Viterbi, y aplica a cada uno la caracterización de Gudmundson. De este modo se mantiene la propiedad de correlación 1/2 entre trayectos con un extremo común, pero la correlación entre trayectos no se supone nula, sino que es función de la separación entre las bases y de la separación entre los móviles.

Caracterización continua $M_{bs}(x, y)$ y $M_{ms}(x', y')$ pueden obtenerse mediante sendos ruidos blancos gaussianos independientes sobre los que se aplica un filtro con respuesta en frecuencia $H(\omega_x, \omega_y)$ tal que $|H(\omega_x, \omega_y)|^2 = \Psi(\omega_x, \omega_y)$, siendo $\Psi(\omega_x, \omega_y)$ la transformada de Fourier de $\psi(\delta_x, \delta_y)$. Imponiendo además la condición de fase nula se obtiene un filtro circularmente simétrico, dado por

$$h(x, y) = \frac{\sigma}{\Gamma(\frac{3}{4}) \sqrt[4]{2\pi^2 d_c^3} \sqrt{x^2 + y^2}} K_{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{d_c} \right)$$

donde $K_{1/4}(r)$ denota la función modificada de Bessel de segunda clase y orden 1/4 y $\Gamma(p)$ la función gamma de Euler.

Modelo discreto En una simulación no es posible utilizar directamente funciones definidas en dominios continuos. Para pasar a un modelo discreto emplearemos el método de invarianza (muestreo) de la función de autocorrelación.¹

Consideraremos dos procesos discretos $\tilde{M}_{bs}[k, l]$ y $\tilde{M}_{ms}[k', l']$ definidos en un retículo de paso Δ , a partir de los cuales se calcularán $M_{bs}(x, y)$ y $M_{ms}(x', y')$ mediante interpolación paso bajo:

$$M_{bs,ms}(x, y) = \sum_{k,l} \tilde{M}_{bs,ms}[k, l] \frac{\text{sen}(\frac{\pi}{\Delta}(x-k))}{\pi(\frac{x}{\Delta}-k)} \frac{\text{sen}(\frac{\pi}{\Delta}(y-l))}{\pi(\frac{y}{\Delta}-l)}$$

La función de autocorrelación de $\tilde{M}_{bs}[k, l]$ y de $\tilde{M}_{ms}[k', l']$, $\tilde{\psi}[k - k', l - l']$, se especifica como una versión muestreada de $\psi[\delta_x, \delta_y]$ con paso Δ . Puede demostrarse que la autocorrelación de un proceso continuo generado por interpolación de uno discreto se obtiene interpolando la autocorrelación del proceso discreto. Por tanto, para aproximar $\psi(\delta_x, \delta_y)$ debe elegirse Δ/d_c suficientemente baja.

¹El método de respuesta al impulso invariante no es útil debido a que $h(x, y)$ presenta una singularidad en el origen.

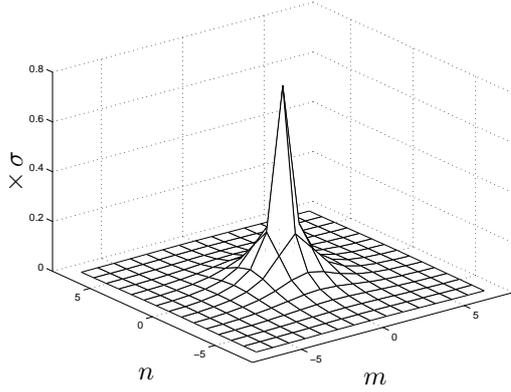


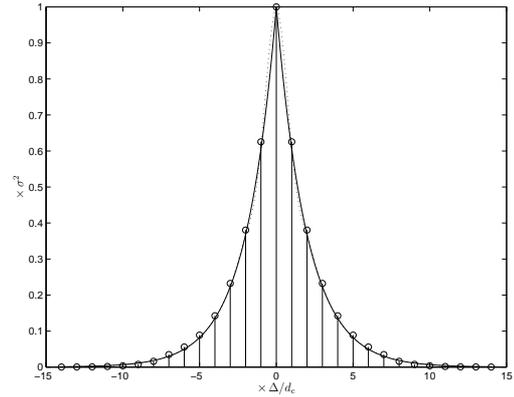
Figura 1: Filtro de desvanecimiento

La generación de un proceso discreto gaussiano con función de autocorrelación dada $\tilde{\psi}[m, n]$ puede llevarse a cabo, como en el caso continuo, aplicando a un ruido blanco un filtro con respuesta al impulso $\hat{h}[m, n]$ y función de transferencia $\hat{H}(\Omega_m, \Omega_n)$, tal que $|\hat{H}(\Omega_m, \Omega_n)|^2 = \sigma^2 \tilde{\Psi}[\Omega_m, \Omega_n]$, siendo $\tilde{\Psi}[\Omega_m, \Omega_n]$ la transformada de Fourier de $\tilde{\psi}[m, n]$. Con objeto de obtener un filtro FIR, modificamos la igualdad anterior tomando en el segundo miembro muestras cada $2\pi/N$ en ambas dimensiones, y sustituyendo en el primero $\hat{H}(\Omega_m, \Omega_n)$ por la DFT de un filtro FIR $\hat{h}[m, n]$ de N^2 coeficientes. Este filtro aproxima a $\hat{h}[m, n]$, siendo el error más pequeño cuanto mayor sea $N\Delta/d_c$.

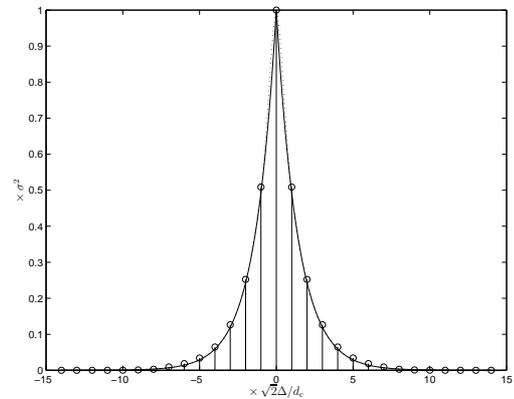
Resultados Los dos tipos de errores que se introducen al pasar de $h(x, y)$ a $\hat{h}[m, n]$ deben ser bajos, manteniendo además N reducido. Como solución de compromiso puede tomarse $\Delta/d_c = 0.5$ y $N = 15$, obteniéndose el filtro $\hat{h}[m, n]$ de la figura 1. En la figura 2 se representan las autocorrelaciones discreta y continua (interpolada) resultantes, así como la ideal (exponencial), en direcciones paralelas a los ejes ($m = 0$ ó $n = 0$) y a lo largo de las bisectrices ($m = \pm n$). Se observa que la desviación es muy pequeña.

El filtro $\hat{h}[m, n]$ permite simular entornos con distancias de correlación arbitrarias, manteniendo la proporción $\Delta/d_c = 0.5$. De acuerdo con [1], $d_c \approx 10$ m para entornos urbanos microcelulares a 1700 MHz, mientras que interiores a 1800 MHz d_c baja a 1 m [3].

La simulación del desvanecimiento correlado es eficiente debido al reducido número de coeficientes de $\hat{h}[m, n]$. Una vez generados $\tilde{M}_{bs}[k, l]$ y $\tilde{M}_{ms}[k, l]$, la interpolación necesaria para obtener $M(x, y; x', y')$ en cada trayecto de interés puede hacerse utilizando las 8×8 muestras más próximas, debido a la rápida disminución de los coeficientes de la interpolación con la distancia.



(a) Direcciones paralelas a los ejes



(b) Direcciones de las bisectrices

— $\psi(\delta_x, \delta_y)$ ideal \circ $\tilde{\psi}[m, n]$ generada
 $\psi(\delta_x, \delta_y)$ generada

Figura 2: Autocorrelación obtenida

Conclusión Se ha presentado un modelo que extiende los de Gudmundson y Viterbi para la caracterización de la correlación del desvanecimiento por sombra, y se ha obtenido una aproximación discreta aplicable a la simulación de sistemas de comunicaciones móviles.

Referencias

- [1] M. Gudmundson, "Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio Systems," *Elec. Letters*, vol. 27, Sept. 1991.
- [2] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi y E. Zehavi, "Other-Cell Interference in Cellular Power-Controlled CDMA," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 42, Feb./Mar./Abr. 1994.
- [3] K. S. Butterworth, K. W. Sowerby y A. G. Williamson, "Correlated Shadowing in an In-Building Propagation Environment," *Elec. Letters*, vol. 33, Feb. 1997.