

# Emulación de Entornos Complejos de Propagación en una MSC Mediante Algoritmos de Selección de Muestras

J. D. Sánchez Heredia, M. A. García Fernández, D. A. Sánchez Hernández, A. M. Martínez González  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena.  
Antiguo Cuartel de Antigones. Plaza del Hospital, 1. 30202 Cartagena (Murcia)  
Teléfono: 968325376  
E-mail: jd.sanchez@upct.es

**Resumen.** *Las cámaras de agitación de modos (MSC) son una de las técnicas de medida más usadas actualmente para la caracterización de dispositivos móviles debido a su precisión y velocidad de medida, así como su reducido coste. Sin embargo, esta técnica presenta una serie de limitaciones relacionadas con la capacidad de emulación de entornos de propagación complejos, como los que se pueden encontrar en situaciones reales de uso. En este artículo se presenta una novedosa técnica de post-procesado que aplicada a las medidas realizadas en una MSC, permiten la correcta emulación de entornos de propagación con una distribución de desvanecimiento arbitraria.*

## 1. Introducción

La tecnología multiantenna (MIMO por sus siglas en inglés), es una realidad que ya forma parte de los nuevos estándares de comunicación móvil, como es el caso de HSPA+ y LTE. Los sistemas MIMO constan de más de una antena en alguno o ambos extremos del enlace de comunicación, de tal forma que son capaces de mantener varios flujos de datos activos en paralelo. Para conseguir esto, la tecnología MIMO se aprovecha de la diversidad espacial que el receptor experimenta debido a las reflexiones de la señal que se producen en los entornos reales de uso de los dispositivos. La diversidad espacial puede ser cuantificada en términos de correlación de la señal recibida entre las antenas receptoras, ya que ésta es una función tanto del entorno de propagación como de la correlación entre antenas.

En condiciones ideales, un sistema MIMO  $M \times N$  (con  $M$  antenas transmisoras y  $N$  receptoras) tiene un incremento ideal de la tasa de transmisión de datos de  $\min\{M, N\}$  veces la tasa de transmisión de datos que tendría un sistema convencional [1]. Las condiciones ideales en este caso serían un entorno de propagación donde la correlación entre las señales recibidas por cada una de las antenas receptoras fuera igual a cero, así como que el entorno fuera estático, de tal forma que el receptor pudiera tener la información correcta sobre el entorno de propagación para adaptarse a éste. Sin embargo, los entornos de propagación típicamente encontrados en situaciones reales de uso, no están cerca de ser considerados ideales. De hecho, los sistemas MIMO son especialmente sensibles a las condiciones de propagación del entorno, lo que requiere la correcta caracterización de estos sistemas en entornos no ideales.

## 2. La Cámara de Agitación de Modos (MSC)

Una MSC típica consiste en una cavidad metálica cerrada equipada con paletas metálicas móviles que actúan como agitadores de campo (comúnmente llamados stirrers) y un soporte giratorio que mueve el dispositivo en pruebas. El movimiento independiente de los stirrers así como la rotación de la muestra, permiten cambiar dinámicamente las condiciones de contorno del campo electromagnético generado en el interior de la cavidad. De esta forma, se consigue agitar el entorno electromagnético multimodal generado de forma natural en la cavidad. Mediante esta agitación continua en el tiempo se consigue una independencia entre la distribución de los campos medidos y la posición de la muestra en el interior de la cavidad, siempre y cuando se respete una distancia mínima de  $\lambda/2$  con respecto a las paredes metálicas. Para una completa uniformidad del campo generado también se requiere que la polarización de los modos excitados sea uniforme, lo que se consigue mediante la utilización de varias antenas transmisoras con distintas polarizaciones [2].

La desviación típica del campo medida en el interior de la cavidad se usa típicamente como la figura de mérito que distingue las prestaciones de una buena MSC. En una MSC perfectamente agitada, las partes real e imaginaria de las componentes rectangulares de los campos eléctrico y magnético siguen sendas distribuciones gaussianas con idéntica varianza. De esta forma, la amplitud de los campos eléctrico y magnético medidos dentro de una MSC perfectamente agitada sigue una función densidad de probabilidad tipo Rayleigh, mientras que la fase está uniformemente distribuida. Este tipo de distribución es muy similar a la distribución de campo multicamino que encontramos en entornos urbanos para sistemas de comunicaciones móviles.

### 3. Distribuciones Estadísticas del Desvanecimiento de la Señal

Uno de los factores del entorno que más limita el comportamiento de los sistemas inalámbricos, es el fenómeno del desvanecimiento de la señal y la distribución estadística que éste presenta. Como se muestra en [3], en un entorno electromagnético con ruido limitado, el comportamiento de un sistema depende directamente la amplitud de señal recibida. En entornos multicamino, la amplitud de la señal presenta un comportamiento estocástico que debe ser analizado en términos estadísticos. Por ello la función densidad de probabilidad (FDP) que sigue la señal, es la métrica usada para caracterizar el desvanecimiento provocado por las reflexiones en un entorno. Varias FDPs pueden encontrarse en la bibliografía, aunque en este artículo analizaremos solo dos: la distribución Rayleigh (propio de entornos donde no hay visión directa entre emisor y receptor), y la distribución Rician (propia de entornos donde sí existe visión directa entre antenas).

#### 3.1. Distribución Rayleigh

Uno de los comportamientos estadísticos más típicos que encontramos en entornos multicamino reales (especialmente en los casos urbanos), es aquél en que tanto la amplitud como la fase de la señal siguen una distribución normal. Por lo tanto, es posible demostrar matemáticamente que una variable con amplitud  $r$  y  $\gamma$  fase sigue una distribución [3]:

$$f_{dp_{r,\gamma}}(r, \gamma) = \begin{cases} \frac{r}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & 0 \leq \gamma \leq 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

*otro caso*

#### 3.2. Distribución Rician

Si introducimos un componente de visión directa en un entorno con distribución Rayleigh, se obtiene la distribución Rician [4]. En ese caso, la parte real de la señal sigue una distribución gaussiana de media distinta de cero, mientras que la fase sigue una distribución gaussiana de media cero. La FDP puede escribirse como,

$$f_{dp_{r,\gamma}}(r, \gamma) = \begin{cases} \frac{r}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + A^2 - 2rA \cos(\gamma)}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & 0 \leq \gamma \leq 2\pi \end{cases} \quad (2)$$

*otro caso*

siendo  $A$  la amplitud de la componente con visión directa.

Los entornos Rician se caracterizan normalmente en términos de la relación entre las componentes directa y reflejada. Esta relación se conoce como factor  $K$  del entorno, y se puede escribir como,

$$K = \frac{A^2}{2\sigma^2} \quad (3)$$

### 4. Emulación de Entornos de Desvanecimiento Arbitrarios en una MSC

#### 4.1. Selección de Muestras

La técnica de selección de muestras consiste en extraer un subconjunto de muestras del total de muestras medidas en una MSC, de tal forma que las muestras seleccionadas sigan una distribución de desvanecimiento arbitraria seleccionada como objetivo. Un algoritmo es el que decide si una muestra medida tiene que ser mantenida o desechada. En esta sección, un método evolutivo genético (GA) [5] se emplea para optimizar el grado de ajuste entre la función de densidad de un conjunto de muestras medidas en una MSC (con distribución Rayleigh) y una función objetivo Rician definida a priori. El algoritmo genético opera sobre una población de posibles soluciones que aplican el principio de la supervivencia del más apto, para producir aproximaciones sucesivas a una solución mejor. En cada generación del algoritmo, un nuevo conjunto de aproximaciones es creado mediante la selección de los individuos en función de su nivel de adaptación al problema y la reproducción de éstos con operadores tomados de la genética natural.

Partiendo de una distribución Rayleigh inicial, la función de error usada por el algoritmo genético es el error cuadrático medio entre las distribuciones actual y objetivo. Ya que en el problema de la selección de muestras, lo que se busca es ajustar dos FDP, la fórmula del error cuadrático medio se modifica dividiendo por el sumatorio de la FDP objetivo, de tal forma que el error esté siempre comprendido entre 0 y 1,

$$\varepsilon_d = \frac{\sum_{x=0}^Q (f(x) - f_{objetivo}(x))^2 dx}{\sum_{x=0}^Q (f_{objetivo}(x))^2 dx} \quad (4)$$

Siendo  $Q$  el número de puntos usado para calcular la FDP y  $d_x$  la distancia entre dos elementos de la FDP.  $f(x)$  la FDP calculada para una iteración  $i$ -ésima del algoritmo de selección de muestras, y  $f_{objetivo}(x)$  es la distribución establecida como objetivo.

#### 4.2. Resultados y Validación

En esta sección se evaluará la aplicación práctica de la técnica de selección de muestras. Para ellos se analizan la correlación y la diversidad de ganancia [6] [7] de dos prototipos 4G de referencia. Uno de los prototipos tiene un buen diseño, mientras que el otro presenta un mal comportamiento, de forma que pueda estudiarse el efecto de los entornos de propagación sobre dispositivos muy diferentes en prestaciones.

Partiendo de una medida en espacio libre con distribución de desvanecimiento Rayleigh, 10 distribuciones Rician distintas se establecen como objetivo con valores  $K$  desde 1 hasta 10. Fig. 1 muestra la correlación medida en los distintos entornos Rician, para los dos prototipos bajo estudio.

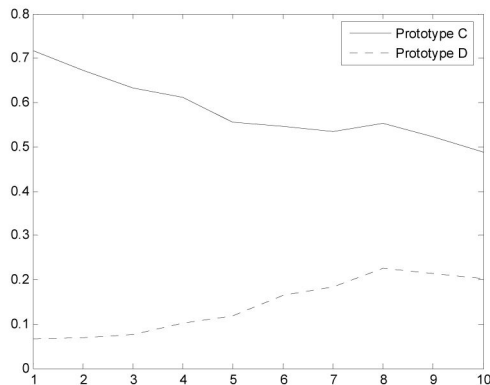


Figura 1. Correlación en función del factor  $K$  del entorno Rician.

Se puede apreciar claramente como los prototipos se comportan de forma diferente cuando la isotropía se reduce (y el factor  $K$  aumenta). El Prototipo C disminuye la correlación, mientras que el caso del Prototipo D aumenta ligeramente.

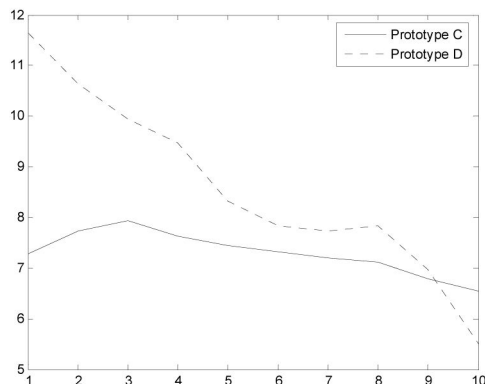


Figura 2. Diversidad de ganancia en función del factor  $K$  del entorno Rician.

Fig. 2 muestra la diversidad de ganancia calculada para los distintos valores de factor  $K$  Rician. Los resultados muestran como el dispositivo con antenas poco correladas (Prototipo D) presenta una reducción importante de diversidad de ganancia, mientras que el otro prototipo también reduce sus prestaciones, aunque muy ligeramente.

Los datos obtenidos concuerdan con otros estudios similares encontrados en la bibliografía [1], donde el efecto de introducir un factor de visión directa en el entorno provoca una disminución de la diversidad de ganancia, más pronunciada en dispositivos que presentan baja correlación. Estos resultados muestran la habilidad de esta técnica para emular los efectos que la no isotropía del entorno de propagación tiene sobre las prestaciones de los sistemas MIMO.

## 5. Conclusiones

Con la técnica de selección de muestras propuesta en este artículo, se ha demostrado la capacidad de las MSC para emular con precisión distribuciones de desvanecimiento del entorno de propagación arbitrarias. Esto se ha hecho sin ninguna alteración del hardware de la MSC por primera vez. El subconjunto de datos obtenidos tras el proceso de selección de muestras, se compone de las muestras medidas (no modificadas) que siguen un determinado patrón estadístico. Esta técnica, puede por tanto aumentar las capacidades de medida de las MSC, reduciendo la brecha existente entre esta metodología y otras técnicas de emulación espacio-temporal mucho más costosas.

## Referencias

- [1] Valenzuela Valdés, J. F. (2008) "Emulación de entornos multicamino y estudio de parámetros que limitan los sistemas MIMO empleando cámara de reverberación". Tesis-Univ. Politécnica de Cartagena, Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
- [2] IEC Standard 61000-4-21 (2003) "Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4-21: Testing and Measurement Techniques Reverberation Chamber"
- [3] Molisch, Andreas F., (2011) "Wireless communications" 2nd ed.: John Wiley and Sons. ISBN: 978-0-470-74186-3
- [4] Rice, S.O. (1948) "Statistical properties of a sine wave plus random noise" Bell Syst. Tech. J., vol.27, pp.109-157.
- [5] Duda, R. O.; Hart, P. E. (2001) "Pattern classification" 2nd ed.: John Wiley and Sons. ISBN: 978-0-471-05669-0
- [6] Hill, D. A.; Ladbury, J. M. (2002) "Spatial correlation functions of fields and energy density in a reverberation chamber" IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 44, pp. 95–101.
- [7] Brennan, D. G. (2003) "Linear diversity combining techniques" Proc. IRE, vol. 47, pp. 1075–1102, June 1959, Reprint: Proc. IEEE, vol. 91, no. 2, pp. 331-356.