

# Análisis de la dependencia de la ganancia por diversidad de antenas respecto de la dispersión del retardo en cámara de reverberación

M. A. García Fernández, J. D. Sánchez Heredia, D. Sánchez Hernández  
Grupo de Ingeniería de Microondas, Radiocomunicaciones y Electromagnetismo.  
Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Cartagena.  
Antiguo Cuartel de Antigones. Plaza del Hospital, 1. 30202 Cartagena (Murcia)  
Teléfono: 968 32 5376 Fax: 968 32 5973  
E-mail: garciafernandez.ma@upct.es

**Resumen.** Las cámaras de reverberación son herramientas de bajo coste para la evaluación de las prestaciones de sistemas de comunicaciones inalámbricas multi-antena. Para evaluar sus prestaciones se utilizan varias figuras de mérito, como la ganancia por diversidad, que normalmente se utiliza para presentar la efectividad de un sistema con diversidad de antenas. Sin embargo, se pueden encontrar pocas publicaciones sobre el efecto de la dispersión de retardo de canal en esta figura de mérito. En esta contribución presentamos un análisis de la dependencia de la ganancia efectiva por diversidad de antenas respecto de la dispersión del retardo de canal mediante un sistema de comunicaciones inalámbrico con modulación QPSK en cámara de reverberación. Para ello se han conseguido diferentes dispersiones de retardo en la cámara de reverberación variando la cantidad de material absorbente colocado en su interior.

## 1. Introducción

Las cámaras de reverberación (RC, por sus siglas en inglés) son herramientas de bajo coste para la evaluación de las prestaciones de sistemas de comunicaciones inalámbricas multi-antena. Uno de los mayores problemas a resolver en un sistema de comunicaciones móviles es el profundo desvanecimiento causado por el entorno de propagación multicamino. Para resolver este problema, una solución consiste en utilizar alguna técnica de diversidad en el lado del terminal del enlace inalámbrico, juntando varias antenas [1]. Para evaluar la correspondiente mejora de prestaciones, se utiliza normalmente como figura de mérito la ganancia efectiva por diversidad (EDG, por sus siglas en inglés), que presenta la efectividad del sistema con diversidad de antenas. La EDG se puede definir como la mejora en relación señal a ruido promediada en el tiempo (SNR, por sus siglas en inglés) de las señales combinadas de todos los receptores del sistema multi-antena, respecto a la SNR de una única antena de referencia en el sistema. Esta definición está condicionada por la probabilidad de que la SNR esté por encima de un nivel de referencia. El valor de probabilidad es opcional, pero normalmente se establece a un nivel de fiabilidad del 1% o del 10% [2], [3]. A pesar de la importancia de la ganancia por diversidad como figura de mérito en los sistemas de comunicaciones inalámbricas, se pueden encontrar pocas publicaciones en la literatura científica sobre cómo ésta se ve afectada por la dispersión del retardo del canal de comunicaciones. Por tanto, se debe analizar dicha dependencia para una mejor comprensión de las medidas activas inalámbricas multi-antena realizadas para la caracterización de

dispositivos. Aunque los canales inalámbricos multi-antena se caracterizan normalmente por su distancia, tiempo y ancho de banda de coherencia, o equivalentemente por sus homólogos recíprocos, dispersión angular, Doppler y del retardo, respectivamente [4]-[7], para simplificar el análisis, esta contribución se centra en el estudio de la dependencia de la EDG respecto de la dispersión del retardo de un canal selectivo en frecuencia, con una señal modulada de ancho de banda fijo, mediante medidas en una RC. La ganancia por diversidad ha resultado ser inversamente proporcional a la dispersión del retardo del canal cuando ésta se varía mediante la introducción de material absorbente en la cavidad interna de la RC.

## 2. Plataforma de Medidas

Una RC es una cavidad metálica cerrada con dimensiones de unas cuantas longitudes de onda sobre un amplio rango de frecuencias. La RC utilizada en este estudio tiene unas dimensiones de 1 m x 0.66 m x 0.56 m, como se muestra en la Fig. 1. Rotando sus dos agitadores mecánicos por pasos, el campo electromagnético en su interior (a una distancia razonable de las paredes, del orden de la longitud de onda) tiene una uniformidad estadística



Fig. 1. Cámara de reverberación (RC).

en todos los puntos de medida, en todas las direcciones, y para todas las posiciones de la fuente de radiación, y la dispersión Doppler del canal es insignificante. La plataforma de medidas es un chasis PXI, como se muestra en la Fig. 2 (ver [8] para más detalles). Las antenas bajo prueba son antenas tribanda de banda ancha compactas para terminales móviles [9], basadas en antenas planas en F invertida (PIFA, por sus siglas en inglés), como se muestra en la Fig. 3. Se han implementado técnicas de combinación de diversidad como la combinación por igual ganancia (del inglés *Equal-Gain Combining*, EGC) y la combinación por relación óptima (del inglés *Maximal-Ratio Combining*, MRC), basadas en un algoritmo de estimación de canal, utilizando una secuencia piloto insertada en las tramas transmitidas. Para las medidas presentadas aquí, se ha seleccionado un ancho de banda de 1 MHz, con un esquema de modulación QPSK, sobre una frecuencia portadora de 5.5 GHz. Para cada punto de medida, se capturan  $2 \cdot 10^5$  símbolos para estimar la tasa de error de trama y la SNR (basándose en el cálculo de la magnitud del vector de error, como en [8]). No se han utilizado a lo largo de este estudio ni ecualización ni códigos de corrección de error para presentar las prestaciones naturales del sistema bajo prueba. Para estudiar la dependencia de las prestaciones del sistema con diversidad de antenas en la dispersión del retardo del canal multicamino en la RC, se han introducido diferentes cantidades de material absorbente en su cavidad interna, modificando el perfil potencia-retardo del canal, y consiguiendo escenarios con valores diferentes de dispersión del retardo. La introducción de materiales absorbentes disminuye considerablemente la dispersión del retardo [10]-[12]. Esto a su vez incrementa las pérdidas de potencia, por lo que se ha escogido una potencia transmitida diferente para cada escenario que compense dichas pérdidas, obteniendo así la misma potencia media en las antenas con diversidad para cada escenario, haciendo los resultados de EDG directamente comparables.

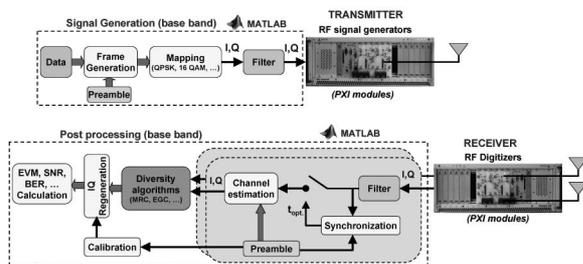


Fig. 2. Plataforma de medida.



Fig. 3. Antena de referencia (izquierda) y antenas con diversidad (derecha) bajo prueba.

### 3. Resultados medidos

Se ha estudiado la función de distribución acumulada (CDF, por sus siglas en inglés) de la SNR de la antena de referencia junto con las obtenidas de las antenas con diversidad del sistema de 1x2 antenas presentado anteriormente utilizando técnicas de combinación de diversidad EGC y MRC, tras normalizarlas respecto de la SNR media de la antena de referencia. Así se muestra en la Fig. 4 para uno de los tres escenarios bajo estudio.

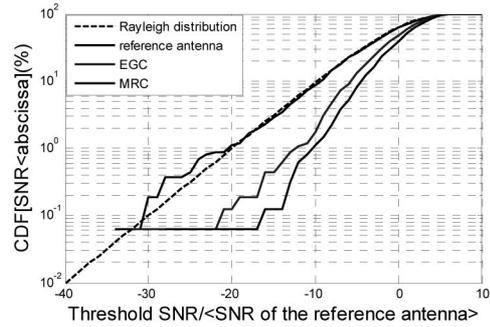


Fig. 4. CDF medida en la RC con 270 ns de dispersión del retardo.

Como puede observarse, la SNR de la antena de referencia sigue una distribución Rayleigh incluso tras la adición de los materiales absorbentes, lo que permite comparar los resultados de EDG, dado que el entorno se mantiene como un canal Rayleigh. La Tabla I ilustra las prestaciones de transmisión de los escenarios bajo estudio. De sus resultados puede deducirse que cuanto más material absorbente se introduce en la RC, menos componentes multicamino llegan a las antenas receptoras, y por tanto no sólo se reduce la dispersión del retardo, sino que también se incrementa la SNR. Por último, se evalúa la EDG del sistema de 1x2 antenas utilizando técnicas de combinación de diversidad EGC y MRC para niveles de fiabilidad del 1% y 10%. Los resultados se presentan en la Tabla I y se muestran en las Fig. 5 y 6, observándose que un incremento en la dispersión del retardo del canal en la RC no sólo reduce la SNR media tanto para la antena de referencia como para

Tabla I. Prestaciones en transmisión de los escenarios.

Dispersión del retardo del escenario (ns)	Sistema de antenas	SNR media (dB)	EDG al 1%	EDG al 10%
55	Ant. de Ref.	15.7		
	1x2 (EGC)	19.1	10.4	6.3
	1x2 (MRC)	19.8	12.7	7.4
88	Ant. de Ref.	14.9		
	1x2 (EGC)	17.4	9.7	4.7
	1x2 (MRC)	18.5	11.8	6.5
270	Ant. de Ref.	13.7		
	1x2 (EGC)	14.8	8.2	3.6
	1x2 (MRC)	15.4	10.1	4.8

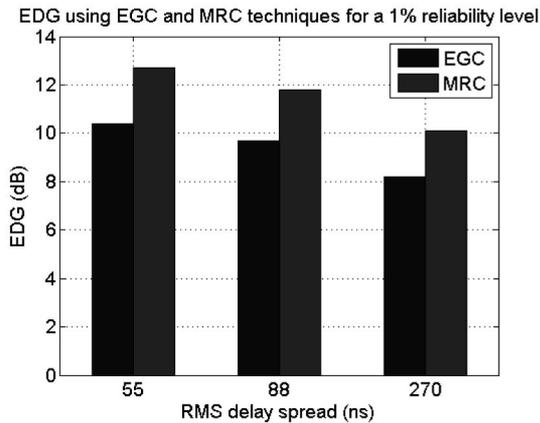


Fig. 5. EDG usando técnicas EGC y MRC para un nivel de fiabilidad del 1% y diferentes valores de dispersión del retardo.

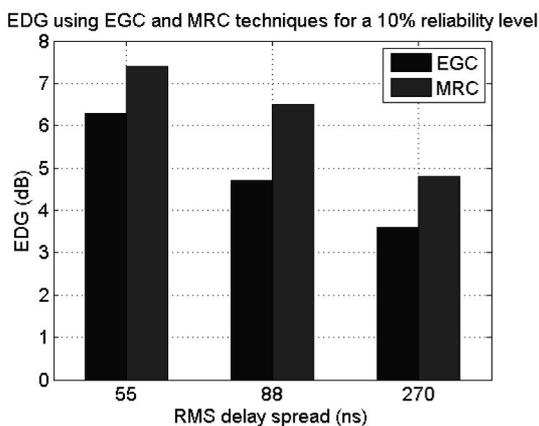


Fig. 6. EDG usando técnicas EGC y MRC para un nivel de fiabilidad del 10% y diferentes valores de dispersión del retardo.

la antena de referencia como para las antenas con diversidad, sino también la diferencia entre ellas, reduciendo por tanto la EDG. Este fenómeno puede explicarse dado que el uso de técnicas de diversidad puede corregir los efectos del desvanecimiento en el canal sobre las prestaciones del sistema, pero no las relacionadas con la selectividad en frecuencia del canal, que se incrementa con la dispersión del retardo, disminuyendo la EDG.

## 4. Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado la dependencia de un sistema con diversidad de antenas (1x2) respecto de la dispersión del retardo de un canal multicamino en cámara de reverberación (RC). Los resultados presentados en esta contribución demuestran que la ganancia efectiva por diversidad (EDG) es inversamente proporcional a la dispersión del retardo del canal en la RC cuando dicha dispersión del retardo se varía mediante la introducción de diferentes cantidades de material absorbente en su cavidad interna y no se realiza ecualización alguna. Este trabajo es de especial interés para la caracterización inalámbrica de terminales multi-antena en RC, ya que ayuda a entender las características del canal en la RC en el que se han realizado las medidas activas multi-antena.

## Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por la Fundación Séneca, Agencia Regional de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.

## Referencias

- [1] K. Kagoshima, W. C. Y. Lee, K. Fujimoto, and T. Taga, "Essential Techniques in Mobile Antenna Systems Design," in *Mobile Antenna Systems Handbook*, 2nd ed., K. Fujimoto and J. R. James, Eds., Norwood, MA: Artech House, 2001, pp. 55-61.
- [2] 3GPP TR 37.976, "Measurement of radiated performance for MIMO and multi-antenna reception for HSPA and LTE terminals (Release 10)," version 1.1.0, May 2010.
- [3] V. Plicanic, "Antenna diversity studies and evaluation," M.S. thesis, Lund University, Lund, Sweden, May 2004.
- [5] X. Chen, "Spatial Correlation and Ergodic Capacity of MIMO Channel in Reverberation Chamber," *International Journal on Antennas and Propagation*, 2011.
- [6] O. Delangre, P. De Doncker, M. Lienard, and P. Degauque, "Delay spread and coherence bandwidth in reverberation chamber," *Electronics Letters*, vol. 44, no.5, pp. 328-329, Feb. 28 2008.
- [7] X. Chen, P.S. Kildal, C. Orlenius, J. Carlsson, "Channel sounding of loaded reverberation chamber for the over the air testing of wireless devices: coherence bandwidth versus average mode bandwidth and delay spread," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 8, pp. 678-681, 2009.
- [8] M. Mouhamadou, C. A. Tounou, C. Decroze, D. Carsenat, and T. Monediere, "Active Measurements of Antenna Diversity Performances Using a Specific Test-Bed, in Several Environments," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, pp. 264-271, Nov. 23 2009.
- [9] M. Koubeissi, M. Mouhamadou, C. Decroze, D. Carsenat, and T. Monédière, "Tri-band Compact Antenna for Multistandard Terminals and User's Hand Effect," *International Journal of Antennas and Propagation*, pp. 1-7, Dec. 7 2009.
- [10] E. Genender, C.L. Holloway, K.A. Rembey, J.M. Ladbury, G. Koepke, H. Garbe, "Simulating the multipath channel with a reverberation chamber: application to bit error rate measurements," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 52, pp. 766-777, 2010.
- [11] F. Y. Luan, Y. Zhang, X.W. Hu, S. D. Zhou, L. M. Xiao, X. B. Xu, "Measurement-based delay spread analysis of indoor distributed antenna systems," *Proceedings of the 5th European Conference on Antenna and Propagation (EuCAP 2011)*, pp. 2556-2559, 2011.
- [12] H. Arslan, T. Yucek, "Delay spread estimation for wireless communication systems," *The 8th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'2003)*, pp. 282-287, vol. 1, 2003.