

Estudio de la presencia del usuario en cámara de reverberación

Juan Diego Sánchez-Heredia⁽¹⁾, Miguel Ángel García Fernández⁽¹⁾, Juan F. Valenzuela-Valdés⁽²⁾, Antonio M. Martínez-González⁽¹⁾, David A. Sánchez Hernández⁽¹⁾

jd.sanchez@upct.es, garciafernandez.ma@upct.es, juan.valenzuela@emite-ingenieria.es,
toni.martinez@upct.es, david.sanchez@upct.es

- (1) Dpto. de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Universidad Politécnica de Cartagena. Plaza del Hospital, 1. E-30202 Cartagena (Murcia).
(2) EMITE INGENIERIA S.L.N.E. Edificio CEEIM. Campus Espinardo. E-30100 Espinardo (Murcia)

Resumen. Los efectos de la presencia del usuario sobre las prestaciones MIMO de los sistemas de comunicación inalámbricos serán analizados mediante la realización de medidas en una cámara de reverberación. Los resultados medidos han demostrado que además del decremento de los coeficientes de correlación, es de esperar una degradación de la ganancia de diversidad así como de la capacidad MIMO. La validez de los coeficientes de correlación como indicadores del comportamiento MIMO es muy limitada en presencia del usuario, pero además estos efectos se han demostrado también muy importantes en la frecuencia, la topología de las antenas y las características del usuario. Esto ha demostrado que la potencia absorbida en el usuario juega un papel muy importante en la capacidad MIMO, no limitándose solo al cambio de los coeficientes de correlación.

1. Introducción

Mientras que la dosimetría electromagnética ha sido y es estudiada en profundidad en la literatura científica en términos de Tasa de Absorción Específica (TAE) o Specific Absorption Rate (SAR) en inglés, es decir, lo que ocurre en el usuario, a través de lo cual se estudian y revisan los límites y métodos de determinación de los mismos a la exposición humana a campos electromagnéticos, lo que ocurre en la comunicación ha sido mucho menos estudiado. Pocos estudios analizan lo que ocurre en concreto en el canal de comunicaciones móviles para sistemas MIMO cuando se tiene en cuenta la presencia del usuario [1-2], existiendo ciertas contradicciones entre los diversos estudios existentes. Por tanto, el complejo rol de la presencia del usuario en sistemas MIMO se hace además dinámico, y debería estudiarse con detenimiento en la matriz de correlación y la ganancia de diversidad, siendo identificado como uno de los temas de interés para su estudio y pendiente de realizar en la literatura científica en diversas publicaciones [3].

Por todo lo anterior, en este artículo se ha investigado el efecto de la presencia del usuario en la ganancia de diversidad en recepción y en la capacidad MIMO. La potencia absorbida por el usuario se ha evaluado para diferentes frecuencias y orientaciones de la antena para escenarios de desvanecimiento tipo Rayleigh, proporcionando efectos específicos en la matriz de correlación mediante simulaciones y medidas en la RC.

2. Modelado teórico y simulaciones

2.1. Potencia absorbida y eficiencia de radiación efectiva

La potencia radiada efectiva es la potencia disponible para la comunicación, y se puede calcular mediante la integración de la componente normal del vector de Poynting sobre una superficie cerrada que incluya a la antena y al usuario, y promediada en el tiempo,

$$P_{er} = \iint_{\partial V} P_{\partial V} dS = \iint_{\partial V} \frac{1}{2} * \text{Re}\{E \times H^*\} \cdot dS \quad (1)$$

donde E y H son los módulos de los vectores de campo eléctrico y magnético. La potencia radiada efectiva también se puede calcular como,

$$P_{er} = P_{avin} - P_{tloss} = P_{av} - P_{diss} - P_{body} - P_{an} - P_m \quad (2)$$

donde P_{avin} es la potencia disponible a la entrada de la antena, P_{tloss} es la pérdida de potencia total, P_{diss} son las pérdidas óhmicas y dieléctricas de potencia, P_{body} es la potencia absorbida en el cuerpo humano, P_{an} es la potencia disipada en las otras antenas de la agrupación mediante acoplamiento mutuo y P_m es la pérdida de potencia debido a la desadaptación de impedancia. La potencia absorbida en el usuario P_{body} se puede calcular como,

$$P_{body} = \iint_{S_{SCAT}} P_{\partial V} dS_{scat} = \iint_{V_{scat}} \rho \cdot SAR dV_{scat} \quad (3)$$

donde ρ es la densidad del tejido y la SAR esta expresada en W/Kg. Cuando la antena opera en presencia cercana del usuario, se produce una reducción significativa de la ganancia y de la eficiencia de radiación, que se sitúa típicamente en el 50% [1].

El estudio sobre la presencia del usuario se basará en la eficiencia de radiación efectiva. La eficiencia de radiación efectiva η_{ef} es la relación entre la potencia radiada efectiva y la potencia total disponible para la comunicación P_{er} y la potencia disponible a la entrada de la antena P_{avin} ,

$$\eta_{ef} = \frac{P_{er}}{P_{er} + P_{body} + P_{diss} + P_{an} + P_m} \quad (4)$$

Para simular el usuario y tener más datos disponibles además de las medidas se ha tomado en una primera aproximación la eficiencia efectiva de radiación como del 50%, ya que existen diversos estudios que demuestran que, para el caso de antenas tipo dipolo como las empleadas en las medidas, la mitad de la potencia de transmisión se absorbe en el usuario, bien sea éste modelado como un cubo, prisma rectangular, cilíndrico, una esfera o formas más realistas [4-5]. En el caso de emplear antenas tipo PIFA, las eficiencias de radiación en presencia del usuario son ligeramente superiores al 50% [6].

2.2. Ganancia de diversidad

El nivel de potencia recibida en un entorno multicamino sin visión directa entre transmisor y receptor se distribuye estadísticamente como una función Rayleigh. Mediante la combinación de las señales recibidas de diferentes ramas se puede conseguir cierta ganancia de diversidad. La mejora de diversidad está relacionada con la reducción del intervalo de tiempo en el que la señal combinada cae por debajo de un determinado umbral. Esto se evalúa mediante la representación de la probabilidad de que un nivel de potencia arbitrario sea menor que un determinado valor, esto es, la función densidad de probabilidad acumulada (CDF).

2.3. Capacidad MIMO

La Fig. 1 muestra la capacidad MIMO simulada para diversos sistemas. Se observa en esta figura que la presencia del usuario no modifica la pendiente de la curva de capacidad MIMO respecto del SNR que varía. Sin embargo, fijando SNR, los valores absolutos de capacidad MIMO disminuyen cuando el usuario está presente, y la disminución es mayor cuanto mayor es la agrupación MIMO.

Necesitamos sin embargo realizar múltiples medidas en la RC para verificar estos datos tomados de la simple aproximación de la simulación del usuario como la pérdida del 50% de la eficiencia de radiación, lo que presentaré a continuación.

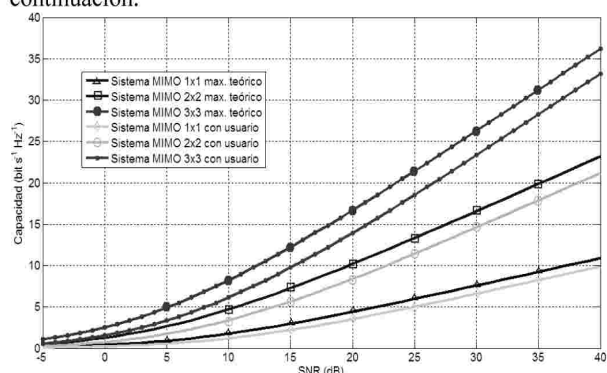


Fig. 1. Capacidad MIMO simulada para diferentes sistemas

3. Medidas y resultados

Para evaluar solamente la influencia del usuario en la correlación, ganancia de diversidad y la capacidad MIMO se realizaron medidas con cada antena de la agrupación instalada de forma aislada en la cámara de reverberación y en las posiciones adecuadas a cada configuración. Esto permite evitar que los resultados se mezclen con los debidos a otros efectos como el acoplamiento mutuo, de forma que lo que se concluya pueda hacerse exclusivamente sobre la base del efecto de presencia del usuario.

Para validar las medidas cuando el usuario estaba presente se realizaron diferentes medidas a 900 MHz (Sistema A) y 2400 MHz (Sistema B) en la RC. El sistema de prueba estaba formado por las tres antenas transmisoras, dos antenas receptoras y la cabeza del maniquí de pruebas SAM, fabricado por Microwave Communications Consultants (MCL) en el Reino Unido. SAM fue relleno con líquido emulador de las propiedades dieléctricas promediadas de la cabeza humana o Head Simulating Liquid, HSL en inglés, codificado como CENELEC A900 para 900 MHz o como CENELEC A2400 para 2400 MHz.

Se prepararon cuatro escenarios diferentes de medidas, que se pueden ver en la Fig. 2. En todos los escenarios el dipolo 1 está puesto de forma inclinada tal y como describe el procedimiento de medida de CENELEC. A través de estos 4 escenarios se estudió la correlación, la GD y la capacidad MIMO para los dos sistemas en presencia y ausencia del usuario.

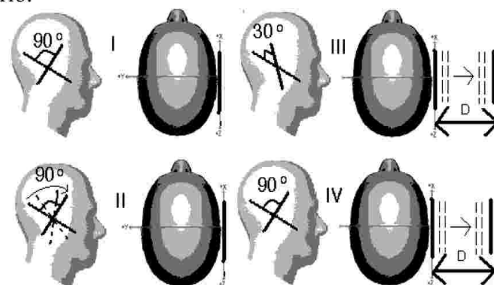


Fig. 2. Esquema de los 4 escenarios del sep-up de medida con usuario.

3.1. Correlación y potencia absorbida

Se esperaba que el cambio en el factor de correlación entre los dipolos y la potencia absorbida por el usuario provocara una degradación de los diferentes sistemas. Como objetivo se buscaba diferenciar y comprender estos efectos. Para ello se muestra en la tabla 1 los coeficientes de correlación con usuario (C.U), los coeficientes de correlación sin usuario (C.S.U) y la potencia absorbida para los escenarios I, II y III.

Tabla 1 Resultados medidos para el escenario I, II y III

	Escenario I		Escenario II			Escenario III		
	Sistema		Separación Angular (°)			Distancia al maniquí (d/λ)		
	A	B	20	50	80	0	0.1	0.2
C.U	0.11	0.10	0.86	0.30	0.04	0.64	0.67	0.56
C.S.U	0.13	0.14	0.85	0.35	0.01	0.68	0.68	0.68
P (mW)	7.80	4.42	7.76	7.43	7.27	7.80	4.50	0.90

El efecto diferenciado y combinado de la correlación y potencia absorbida debido a la presencia del usuario en la CDF se muestra en la Fig. 3 para el Sistema A. En esta gráfica se puede observar que los efectos debidos a los coeficientes de correlación y los debidos a la potencia absorbida en el usuario no son los mismos. Los desplazamientos de la curva CDF debidos a la potencia absorbida y debidos al factor de correlación se observan claramente en esta gráfica, con un mayor efecto de la potencia absorbida que debido al factor de correlación.

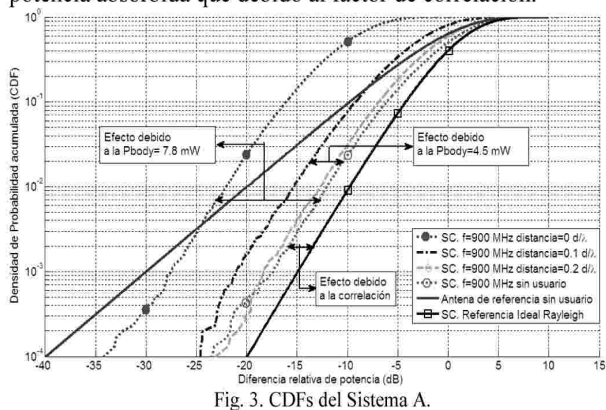


Fig. 3. CDFs del Sistema A.

3.2. Ganancia de diversidad

Con la configuración de medida que muestra la Fig. 2, se muestran los resultados medidos de ganancia de diversidad para el Sistema A en la Fig. 4. La presencia del usuario causa un desplazamiento hacia la izquierda de las curvas CDF en

todos los casos, este desplazamiento resulta proporcional a la potencia absorbida por el maniquí (usuario). La presencia del usuario tiene un efecto que depende de la frecuencia, al igual que se sugería en [8]. Puesto que a 900 MHz se absorbe más potencia que a 2400 MHz, la pérdida de ganancia de diversidad en esta frecuencia debida a la presencia del usuario es mayor. Puesto que la potencia absorbida en el usuario depende fuertemente a su vez de la topología de la antena y el modelado del cuerpo humano empleado [9], se puede concluir que el efecto de la presencia del usuario en la ganancia de diversidad no puede generalizarse sino que dependerá de cada topología, usuario y configuración.

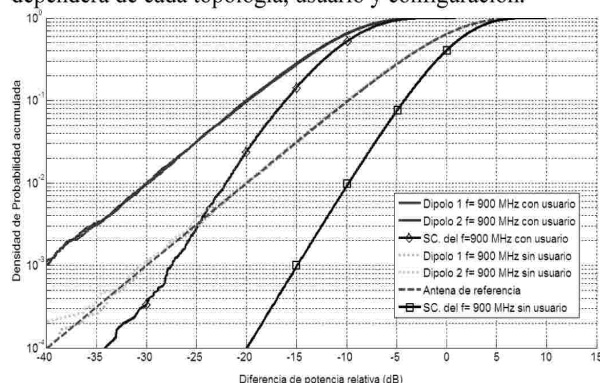


Fig. 4. CDF para el Sistema A para una rama solo y diversidad SC con y sin presencia del usuario.

3.3. Capacidad MIMO

Para validar la disminución de capacidad MIMO debida a la presencia del usuario que se observaba en las simulaciones sencillas del apartado anterior se programaron y realizaron diferentes medidas en la RC para los Sistemas A y B, cuyos resultados se muestran en la Fig. 5. De nuevo, de esta gráfica puede observarse fácilmente el efecto de la presencia del usuario. La presencia del usuario causa una pérdida en la capacidad MIMO que es de nuevo proporcional a la potencia absorbida. Se observa una mayor pérdida de capacidad debida al usuario en el Sistema A que en el Sistema B, lo que de nuevo demuestra la dependencia con la frecuencia del efecto de la presencia del usuario en la capacidad MIMO. Puesto que a 900 MHz se absorbe más potencia en la cabeza que a 2400 MHz, las pérdidas de capacidad MIMO es mayor a esta frecuencia.

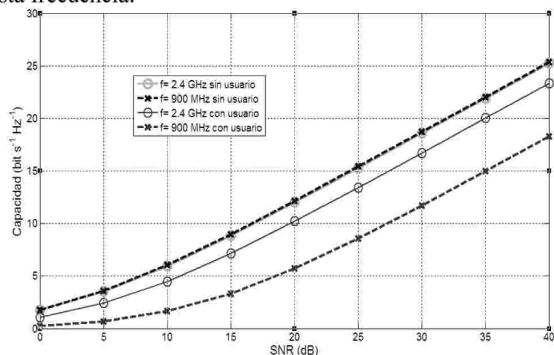


Fig. 5. Capacidad MIMO medida frente a SNR para diferentes sistemas

4. Conclusiones

En este artículo se ha estudiado el efecto de la presencia del usuario, tanto por los cambios en los coeficientes de correlación como por la potencia absorbida, en la ganancia de diversidad SC y la capacidad MIMO de diversos sistemas

en entorno Rayleigh, mediante simulaciones y medidas en la RC.

Se ha demostrado que el hecho que el usuario absorba parte de la potencia de transmisión juega un papel más importante a la hora de definir los cambios que lo que ocurre con los coeficientes de correlación, y que el efecto depende de la frecuencia. Esto es no obstante complicado ya que en la práctica existe una amplia variedad de usuarios. Si a esto añadimos el efecto dinámico de la postura y el movimiento, podemos afirmar que determinar con precisión el efecto del usuario en el comportamiento del sistema MIMO es ciertamente un problema complejo.

Referencias

- [1] A.F. Molish, M.Z. Win, Y.-S. Choi and J.H. Winters, "Capacity of MIMO Systems With Antenna Selection," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 4, pp.1759-1772, July 2005.
- [2] K. Pedersen, B. Fleury, and P. Mogensen, "High resolution of electromagnetic waves in time-varying radio channels," *Proceedings of 8th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC '97)*, Helsinki, Finland, Sept. 1997.E.P. Wigner, "Theory of traveling-wave optical laser," *Phys. Rev.*, vol. 134, no. 3, pp. 635-646, Dec. 1965.
- [3] R.M. Narayanan, K. Atanassov, V. Stoiljkovic, G.R. Kadambi, 'Polarization diversity measurements and analysis for antenna configurations at 1800 MHz', *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, no.7, pp. 1795-1810, 2004.
- [4] K. Ogawa, T. Matsuyoshi and K. Monma, "An Analysis of the Performance of a Handset Diversity Antenna Influenced by Head, Hand, and shoulder Effects at 900 MHz: Part I -Effective Gain Characteristics", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, no.3, pp. 830-844, May 2001.
- [5] K. Ogawa, T. Matsuyoshi and K. Monma, ' An Analysis of the Performance of a Handset Diversity Antenna Influenced by Head, Hand, and shoulder Effects at 900 MHz: Part II - Correlation characteristics', *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, no.3, pp. 845-853, May 2001.
- [6] K. Meksamoot, M. Krairiksh and J. Takada, "A Polarization Diversity PIFA on Portable Telephone and Human Body Effects on Its Performance", *IEICE Transactions on Communications*, Vol. 84.b, No. 9, pp. 2460-2467, Sept. 2001.
- [7] J.F. Valenzuela-Valdés, M.A. García-Fernández, A.M. Martínez-González and D. Sánchez-Hernández, "The role of polarization diversity for MIMO systems under Rayleigh-fading environments", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 5, pp. 534-536, 2006
- [8] Waldschmidt, C.; Wiesbeck, W" Compact wide-band multimode antennas for MIMO and diversity." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, No. 8 pp.1963 - 1969, Aug. 2004
- [9] A. Christ, A. Klingenbock, T. Samaras, C. Goiceanu and N. Kuster, "The dependence of electromagnetic far-field absorption on body tissue composition in the frequency range from 300 MHz to 6 GHz," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 5, pp. 2188-2195, 2006.