

Estudio de la presencia del usuario en cámara de reverberación

Juan F. Valenzuela-Valdés⁽¹⁾, Antonio M. Martínez-González⁽²⁾, David A. Sánchez Hernández⁽²⁾

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

(1) EMITE INGENIERIA S.L.N.E Edificio CEEIM. Campus Espinardo E-30100 Espinardo (Murcia)

(2) Dpto. de Tecnologías de la Información, Universidad Politécnica de Cartagena

Campus de la Muralla del MAR, Plaza del Hospital s/n Cartagena E-30203.

Abstract- Abstract— The effects of the presence of the user on MIMO performance for wireless communications systems is investigated through measurements in a reverberation chamber. Measured results have demonstrated that despite a decrement on the envelope correlation coefficient, a degradation of both diversity gain and MIMO capacity are expected when the user is present. While the validity of the correlation coefficients for predicting MIMO performance is limited in the presence of the user, the effects have also been found to be strongly dependent upon frequency, antenna topology and user characteristics. It has been demonstrated that the power absorbed in the user plays a more important role for MIMO capacity than the change on the correlation coefficients due to the user's presence.

I. 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 [3-4].

En conclusión, todos los estudios coinciden en que la presencia del usuario modifica de alguna forma los diagramas de radiación, las impedancias, el acoplamiento mutuo y por tanto los coeficientes de correlación, pero no se ponen de acuerdo en cómo. En cualquier caso lo que sí parece claro es que la presencia del usuario cerca del terminal afecta a la diversidad en recepción y a la capacidad MIMO, pero también que resulta esencial el estudio de otros parámetros MIMO para una adecuada descripción de su comportamiento, como la eficiencia de radiación efectiva para diversas eficiencias, MEG efectiva [4] o la capacidad MIMO. Como la presencia del usuario reduce la variación angular, esto afectará también a la capacidad MIMO y por tanto necesita ser evaluada.

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, como veremos a continuación.

II. MODELADO TEÓRICO Y RESULTADOS SIMULADOS

A. 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,

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

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 o bien mediante la integral de superficie de la componente normal del vector de Poynting que entra a la superficie del cuerpo con pérdidas promediado en el tiempo, o bien integrando la SAR sobre el volumen completo del usuario,

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

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 [5-6]. En el caso de emplear antenas tipo PIFA, las eficiencias de radiación en presencia del usuario son ligeramente superiores al 50% [7].

B. 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).

La Fig. 1 muestra la CDF para diversos números de ramas incorreladas y la SC con y sin presencia del usuario. Una pérdida de 3 dB en la ganancia de diversidad se puede ver en la Fig. 1 cuando el usuario está presente. Sin embargo, la pérdida de ganancia de diversidad no parece que dependa del número de ramas receptoras.

La ganancia de diversidad explica cómo de efectiva es la diversidad del sistema respecto de la mejor de las antenas receptoras de forma aislada. En consecuencia, los coeficientes de correlación solamente pueden ser un buen indicador del comportamiento de la diversidad cuando las antenas se caracterizan por tener un MEG idéntico [8].

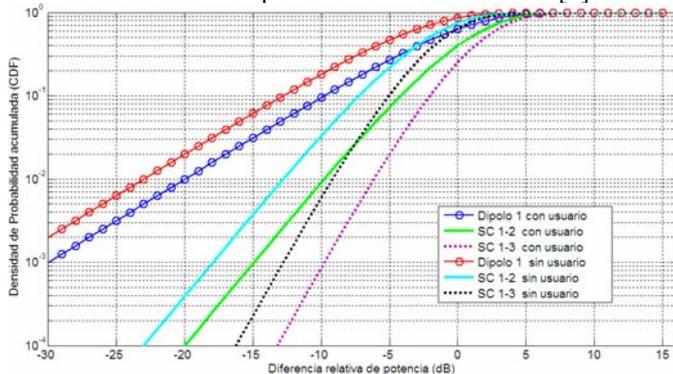


Fig. 1. CDF para diferentes números de ramas incorreladas con diversidad SC con y sin presencia del usuario

C. Capacidad MIMO

Con el mismo esquema de simulación que el tomado en la Fig. 1, la Fig. 2 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.

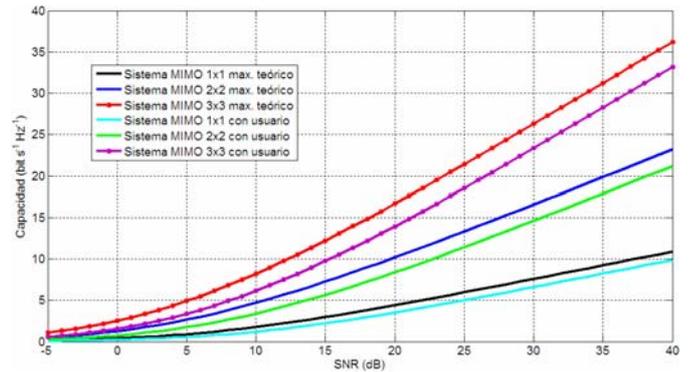


Fig. 2. Capacidad MIMO simulada para diferentes sistemas

III. 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. El set-up de medida se muestra en la Fig. 3.

Se prepararon cuatro escenarios diferentes de medidas, que se pueden ver en la Fig. 4 usando el set-up que se observa en la Fig. 3. En todos los escenarios el dipolo 1 está puesto de forma inclinada tal y como describe el procedimiento de medida de CENELEC. En el escenario I el dipolo estaba puesto en una posición ortogonal al dipolo 1, este escenario fue preparado para distinguir el efecto de la presencia del usuario debida a los coeficientes de correlación del efecto producido por la potencia absorbida. En el escenario 2 el dipolo fue rotado 90° con respecto al dipolo 1 en pasos de 10 grados. Una posibilidad para mejorar la

diversidad en volúmenes reducidos como el terminal móvil se emplea una combinación de diversidad espacial y de auténtica diversidad de polarización [8], se prepararon dos escenarios más. En el escenario III el dipolo 2 estaba situado girado 30 grados respecto al dipolo 1 y se alejaba del maniquí en pasos de 0.1λ , el escenario IV es el mismo que el tres salvo que el ángulo entre los dos dipolos era de 90 grados. 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. 3. Fotografía del sep-up de medida de la presencia del usuario en RC.

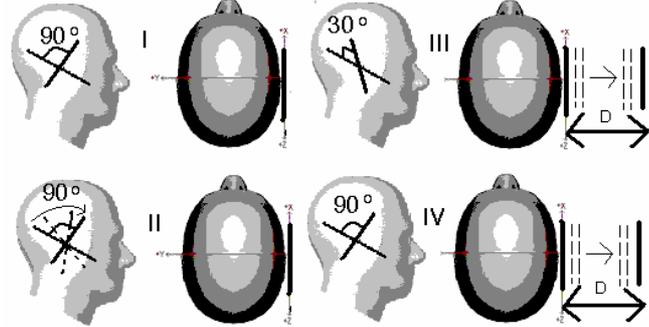


Fig. 4. Esquema de los 4 escenarios del sep-up de medida con usuario.

A. 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. En la Tabla 1 se observa un pequeño decremento de los coeficientes de correlación cuando el usuario estaba presente y una variación de la potencia absorbida por el maniquí en función de la frecuencia. Resulta evidente que la disminución de los coeficientes de correlación es pequeña y por tanto será bastante mayor la influencia de la potencia absorbida en el usuario, por lo que resulta de interés investigar estos dos factores de forma diferenciada y tratar de identificar los efectos de la presencia del usuario debidos solamente a los coeficientes de correlación. Es igualmente interesante observar de la Tabla 1 que según varía la distancia en el escenario III la correlación se va modificando, pero no se puede establecer un patrón, si no que depende de la interacción del maniquí con las distintas componentes electromagnéticas de la señal.

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. 5 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.

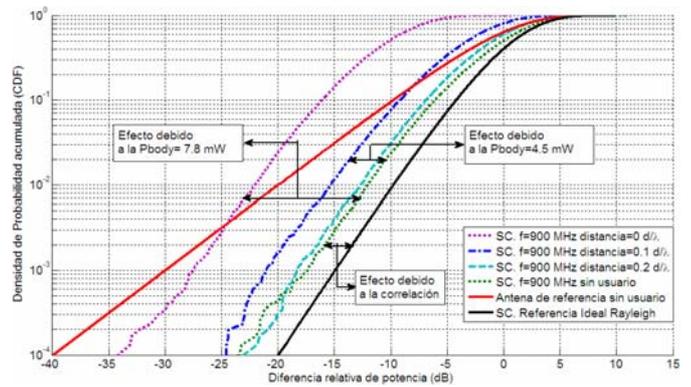


Fig. 5. CDFs del Sistema A.

B. Ganancia de diversidad

Con la configuración de medida que muestra la Fig. 4, se muestran los resultados medidos de ganancia de diversidad para el Sistema A se reproduce en la Fig. 6. El efecto de la presencia del usuario en la ganancia de diversidad con SC se puede ver claramente en esta gráfica. 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 [9]. 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 [10], 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 radiante.

IV. 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] P.S. Kildal and K. Rosengren, "Correlation and Capacity of MIMO Systems and Mutual Coupling, Radiation Efficiency, and Diversity Gain of Their Antennas: Simulations and Measurement in a Reverberation Chamber," *IEEE Communications Magazine*, pp. 104-112, Dec. 2004
- [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 I -Effective Gain Characteristics", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, no.3, pp. 830-844, May 2001.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] 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
- [10] A. Christ, A. Klingensbock, 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.

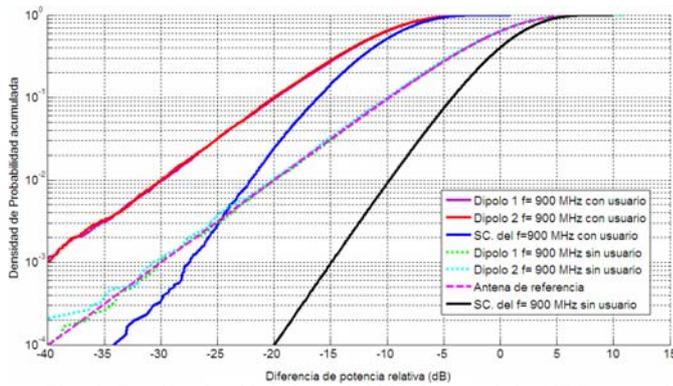


Fig. 6. Función densidad de probabilidad acumulada (CDF) para el Sistema A para una rama solo y diversidad SC con y sin presencia del usuario.

Es importante aquí recalcar que se han obtenido en la práctica menores valores de ganancia de diversidad para entornos tipo Rician en comparación con entornos tipo Rayleigh [3]. Puesto que los escenarios tipo Rician son típicos de las zonas rurales con ángulos de llegada de la onda en elevación menores de forma inherente que los que se atribuyen a los entornos urbanos y esto se asocia a mayores coeficientes de correlación [4], se necesita investigar el efecto de la presencia del usuario en otros entornos diferentes al Rayleigh ya que las conclusiones aquí obtenidas no pueden generalizarse.

C. Capacidad MIMO

Para validar la disminución de capacidad MIMO debida a la presencia del usuario que se observaba en la 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. 8. 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.

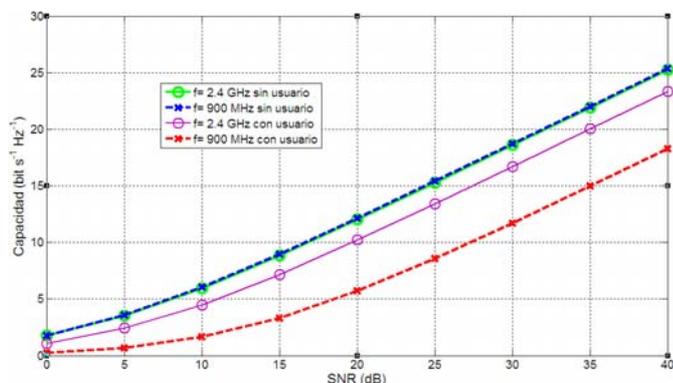


Fig. 7. Capacidad MIMO medida frente a SNR para diferentes sistemas