

Análisis de la correlación en un arreglo de antenas de parche

Miguel A. Velasco Castillo, Roberto E. López Díaz, Daniel Rojas Sandoval, Rebeca Hernández Hernández
Dirección Académica de las Ingenierías en Electrónica y Telecomunicaciones e Ingeniería en Informática
Universidad Politécnica del Estado de Morelos
Jiutepec, Mor., México
[mvelasco, rlopezd, drojas, hhro100536]@upemor.edu.mx

Abstract— Wireless communications are, nowadays, the most common way to transmit and receive data, voice and messages, among others. This paper presents a correlation analysis for a Multiple-Input Multiple-Output system of microstrip antennas designed for WiFi devices. Using decoupled antenna technique and an adapted N-port microwave network theory for antennas arrays, we obtain scattering parameters for each antenna. This parameters allow us to calculate the correlation coefficient for each proposed configuration system. We found that, even for the minimal distance configuration, transmissions and receive levels are close enough with 3dB. That means transmission will be done at half power and nearly double coverage area in reception.

Keyword— *Microstrip antennas, correlation, MIMO system.*

Resumen— Las comunicaciones inalámbricas se están convirtiendo en la forma común de transmitir y recibir datos, mensajes y voz entre otros. En el presente trabajo se realiza un análisis de correlación espacial para un arreglo de antenas de parche enfocado a los dispositivos WiFi. Dicho análisis se realiza por medio de la técnica de antena desacoplada en conjunto con la teoría de los bipuertos adaptada, a fin de obtener los parámetros de dispersión y con base en estos, calcular el coeficiente de correlación del sistema. Se encontró que a una distancia mínima de separación, los niveles tanto de transmisión como de recepción son cercanos a los 3dB. Esto significa que el sistema podrá transmitir con la mitad de potencia y con una recepción de hasta el doble de cobertura.

Palabras claves— *Antenas de parche, correlación, sistema MIMO.*

I. INTRODUCCIÓN

En el campo de las telecomunicaciones, el desarrollo de distintas tecnologías que favorezcan el aumento de la eficiencia, la reducción de tamaños y costos son de las prioridades fundamentales. En este sentido, la investigación realizada en cuanto al uso de las antenas tipo “parche” ha estado motivada por la necesidad de antenas cada vez más ligeras y compactas o de reducido tamaño con el objetivo de ser utilizadas en distintas aplicaciones en comunicaciones inalámbricas en aeronáutica, en sistemas satelitales, radares, sistemas de telemetría, biomedicina y comunicaciones móviles, entre otros. En general, en donde se emplean frecuencias en los rangos de las microondas [3, 4].

A. Antenas de parche

Una antena de parche o *microstrip* se basa en la tecnología de los circuitos impresos, consiste en un parche radiante que se imprime sobre un sustrato dieléctrico cubierto por un material conductor y un plano de tierra, como se muestra en la Figura 1.

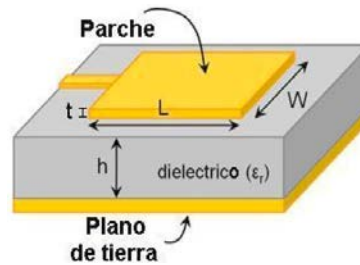


Fig. 1. Antena de parche [5].

El sustrato dieléctrico permite aislar el parche radiante del plano de tierra, el cual tiene tres parámetros que influyen en el diseño de la antena de parche:

- 1) Constante dieléctrica ϵ_r o permitividad relativa.
- 2) Grosor o altura h del sustrato.
- 3) Pérdidas tangenciales δ .

También se considera el material de construcción y principalmente, la geometría del parche [3], que puede ir desde formas geométricas regulares hasta geometrías más complejas como tipo fractal.

Entre las ventajas que se pueden mencionar de este tipo de antenas están [3, 4, 6]:

- Dimensiones pequeñas y menor peso permitiendo que se adapten a dispositivos móviles.
- Diversidad de polarización.
- Sintonización multibanda.

Sin embargo, al hacer uso de las antenas de parche se deben considerar algunas desventajas como son [3, 4, 6]:

- Baja eficiencia, debido a pérdidas considerables de radiación.
- Solo permiten utilizar una baja potencia de radiación.
- Ancho de banda reducido en la frecuencia, (en torno al 5%-10%).
- Afectación por factor térmico.

Aunque estas antenas pueden ser utilizadas de manera individual, si la aplicación lo requiere y para evitar las deficiencias intrínsecas que presentan, se pueden utilizar arreglos con el fin de lograr mejores características que las proporcionadas de manera individual [3].

B. Sistemas de comunicación MIMO

Un sistema de comunicación MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) utiliza múltiples antenas en la terminal transmisora y receptora, con el objetivo de que cada antena genere un canal independiente con ganancia en directividad o multiplexación espacial. En este tipo de sistemas, las antenas pueden transmitir y/o recibir al mismo tiempo, según sea el caso. La señal transmitida por una antena será recibida por otra como una versión modificada de la señal enviada. Las señales que viajan de cada antena transmisora a cada antena receptora siguen un camino diferente, en la Figura 2 se muestra el diagrama de un sistema de comunicación inalámbrica MIMO [6].



Fig. 2. Sistema de comunicación inalámbrica MIMO.

En este tipo de sistemas, las múltiples señales que viajan simultáneamente y en la misma frecuencia aprovechan la propagación multitrayecto mejorando la eficiencia espectral del sistema de comunicación inalámbrico, haciendo uso de la diversidad espacial y un algoritmo de procesamiento digital de señales adecuado. La principal ventaja de la diversidad espacial es la reducción de la tasa de errores de bits (BER) y el aumento de la relación señal a ruido (SNR), ya que utilizar múltiples antenas para transmitir con redundancia permite que en recepción se mantenga un cierto valor de umbral asegurando la disponibilidad del canal, donde solo las señales con mejor calidad que recibe cada elemento del arreglo de antenas son procesadas [6].

Aunque los sistemas MIMO permiten incrementar la tasa de transmisión significativamente, se ha visto que el aumento de la capacidad tiene como consecuencia un aumento en las dimensiones del sistema. Es por ello que el empleo de esta tecnología no se ha extendido aún a los sistemas portátiles que actualmente son cada vez más pequeños.

C. Correlación del canal en sistemas MIMO

Si bien los arreglos MIMO son una buena alternativa para mejorar la eficiencia espectral y con ello incrementar la tasa de transferencia de datos, se presenta el problema de la interferencia que las antenas inducen entre ellas.

La correlación espacial está influenciada por diversos factores, principalmente por las características físicas de los arreglos de antenas transmisoras y receptoras, por ejemplo: la topología de los arreglos transmisor y receptor; la separación entre los elementos del arreglo; el ángulo de salida y de llegada; la orientación relativa del arreglo; el diagrama de radiación; entre otros.

Por otra parte, la correlación también está determinada por las características del entorno de propagación multitrayecto. La correlación espacial indica el grado de similitud estadística entre dos canales cuyas antenas transmisoras y receptoras se encuentran separadas una cierta distancia. El impacto de la correlación se refleja en la ganancia de los subcanales equivalentes generados, es decir, en la magnitud de los valores propios. A medida que aumenta la correlación, la dispersión entre valores propios es mayor [6].

En general, las antenas en los sistemas MIMO presentan un acoplamiento elevado que afecta a su patrón de radiación y aumenta la correlación entre ellas [7]. Es por tanto necesario que los subcanales sean independientes, evitando la presencia de correlación (hasta cierto límite que depende de la distancia mínima del arreglo [8]).

En la literatura especializada podemos encontrar trabajos en donde se propone implementar una red de adaptación [9, 10] pero la implementación puede llegar a ser compleja, generando un ancho de banda reducido.

Tal como lo expresa Zanella [11] si el coeficiente de correlación es menor a 0.5 las señales emitidas por cada antena del arreglo serán transmitidas o recibidas a la misma potencia, sin que exista la interferencia co-canal para el arreglo, aumentando así la ganancia del sistema.

D. Teoría de los bipuertos adaptada

Dentro de la teoría de los bipuertos, se puede realizar el cálculo de las relaciones voltaje-corriente para los puertos de entradas y/o salidas en redes de circuitos eléctricos (Figura 3). A través de esta teoría se pueden determinar parámetros que caracterizan las redes eléctricas tales como los parámetros Z, Y, H, S , y $ABCD$.

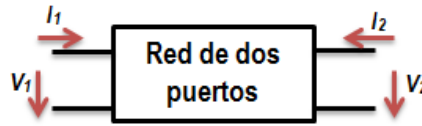


Fig. 3.Red general de dos puertos [Pozar].

Debido a que las antenas presentan una impedancia, esto es; una relación voltaje-corriente, se puede adaptar la teoría de los bipuertos para analizar la matriz de los parámetros de dispersión (S) aplicada generalmente para un arreglo de antenas [12]. Una diferencia importante es que en el caso de las antenas, se busca que la impedancia sea igual entre la antena y la línea de transmisión al dispositivo que se conecte, teniendo como consecuencia que el índice de onda reflejada sea el mínimo.

Con la técnica de desacoplamiento se pueden obtener los parámetros de dispersión y a través de la ecuación (1) se puede calcular el coeficiente de correlación [1].

$$\rho_e = \frac{|S_{11} * S_{12} + S_{21} * S_{22}|^2}{\left(1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)\right)\left(1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)\right)} \tag{1}$$

Esta técnica presenta la ventaja que no requiere el análisis del patrón de radiación del sistema de antenas, el cual se obtiene mediante una cámara donde se realizan las pruebas necesarias para las antenas (Cámara Anecóica).

II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Para realizar las pruebas se diseñó y construyó el arreglo MIMO con cuatro antenas de parche a una frecuencia de 2.4 GHz, acoplándolas a una línea de transmisión en el punto de alimentación especificado por el software FEKO [13]. Es importante obtener el valor de la onda reflejada para que las antenas y la línea de transmisión estén perfectamente acopladas.

A. Diseño de las antenas de parche

Para realizar el diseño de la antena se emplea el software FEKO, donde son introducidas las ecuaciones para determinar las dimensiones del prototipo, desarrolladas en [8], tales como el ancho del parche (W), la longitud física del parche (L), la permitividad efectiva (ϵ_{eff}), el grosor del sustrato (h), pérdidas tangenciales (δ), entre otras.

De acuerdo a lo anterior se propone un arreglo de antenas de parche con las siguientes especificaciones de diseño presentadas en la Tabla I, donde se considero la frecuencia de operación del sistema. El diseño final de la antena se muestra en la Figura 4.

Tabla I. Especificaciones de diseño.

Dimensiones	3.7cm x 3.1 cm
Sustrato dieléctrico	FR-4
Permitividad relativa	$\epsilon_r = 4.5$
Pérdidas tangenciales	$\delta = 0.0015$
Grosor del sustrato	$h = 1.6mm$

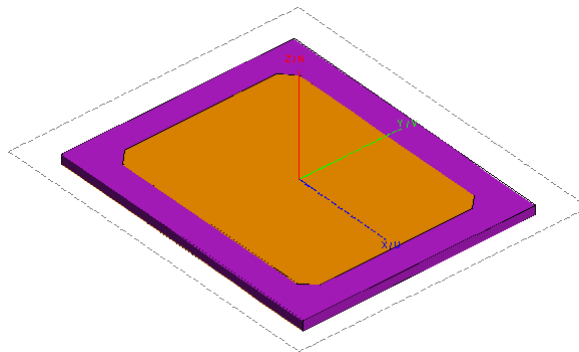


Fig. 4. Diseño de la antena (FEKO).

Los resultados del coeficiente de reflexión en -18.34 dB en una frecuencia de 2.39 GHz se muestran en la Figura 5.

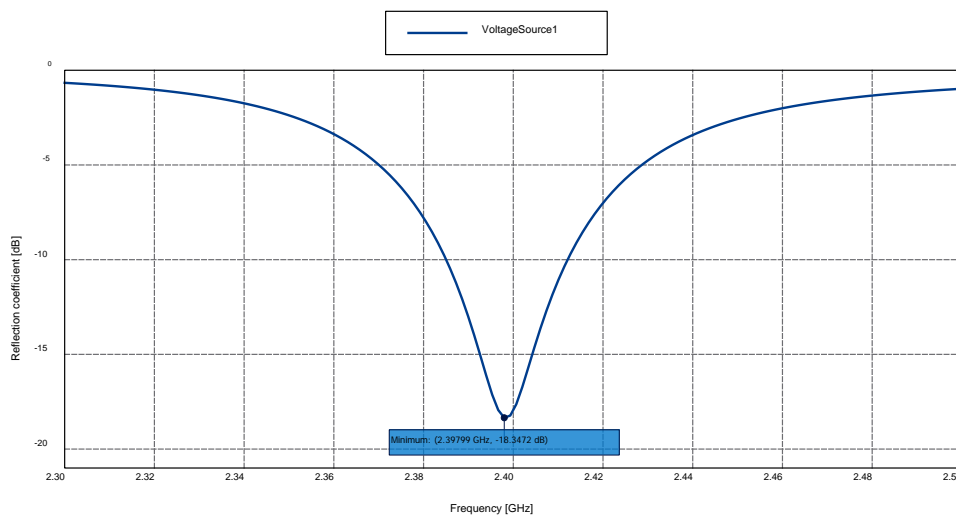


Fig. 5. Coeficiente de reflexión de la antena.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de radiación para una de las antenas durante la fase de validación por el software FEKO.

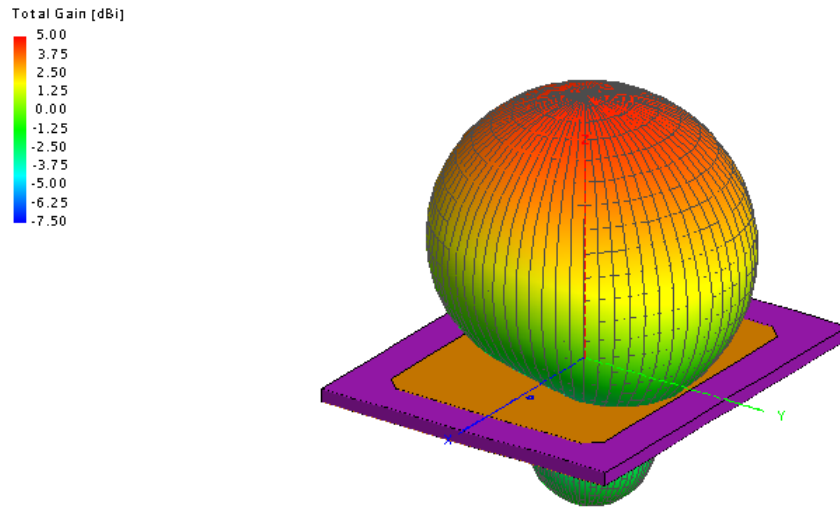


Fig. 6. Diagrama de radiación 3D, de la ganancia de la antena.

B. Implementación del arreglo de antenas

En la figura 7 se muestra las cuatro antenas implementadas para el arreglo que se propone.

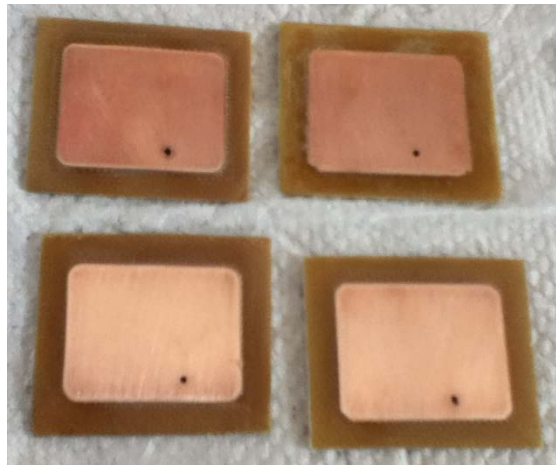


Fig. 7. Antenas de parche implementadas.

Para el análisis del coeficiente de correlación se propone un arreglo cuadrático y polarización horizontal con tres configuraciones de distancia entre sus puntos de alimentación.

Las antenas se instalan a un chasis rígido no conductor que cuenta con los orificios correspondientes a las diferentes configuraciones (Tabla II). Estas distancias dependen de la longitud de onda (λ) que se calcula de acuerdo a la ecuación (2)

$$\lambda = \frac{c}{f_0}, \tag{2}$$

dónde $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ es la velocidad de la luz y $f_0 = 2.4 \text{ GHz}$ es la frecuencia central de operación.

Tabla II. Configuraciones de distancias.

Configuración	Distancia
1	3.7 cm
2	$(3/8) \lambda$
3	λ

III. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

De acuerdo a [1] es necesario conocer los parámetros de dispersión (S) en cada una de las líneas de transmisión con las antenas. Para esto se obtiene la matriz de impedancia (Z)_{ij} al analizar el circuito eléctrico equivalente que se muestra en la Figura 8 por medio de la teoría de los bipuertos [12].

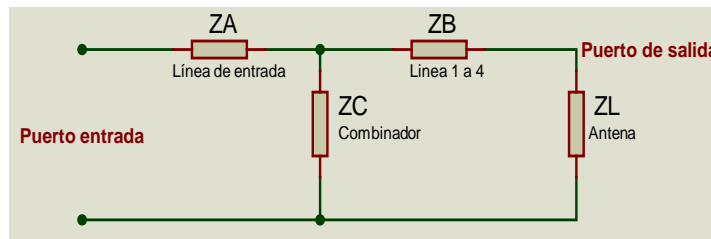


Fig. 8. Circuito equivalente de los elementos del arreglo con antena.

Los valores teóricos para la matriz de impedancia se calculan considerando las condiciones ideales de operación del sistema, esto es, sin pérdidas en la línea de transmisión y con un perfecto acoplamiento de impedancias.

Mediante un cambio de parámetros de impedancias a parámetros de dispersión, se obtiene la correspondiente matriz (S) y el correspondiente coeficiente de correlación calculado con (1).

Tabla III. Matriz de dispersión y coeficiente de correlación.

Antena	$S = \begin{bmatrix} -9.17 & -32.21 \\ -34.21 & -12.33 \end{bmatrix}$
	$\rho_e = 0.3449$

Debido a que las antenas se consideran idénticas, los valores teóricos para el coeficiente de correlación es el mismo que el presentado en la Tabla III.

A. Mediciones

Por medio del analizador vectorial Rohde & Schwarz FSH4/8/13/20 (Figura 9) y utilizando la ecuación (1) se obtienen las matrices de dispersión para cada antena y cada configuración de distancias propuesta. En la Tabla IV se concentran estos resultados.



Fig. 9. Parámetros de dispersión.

Tabla IV. Parámetros de dispersión y correlación

Configuración Antena	Distancia: 0.298λ Coeficiente de correlación	Distancia: $3/8\lambda$ Coeficiente de correlación	Distancia: λ Coeficiente de correlación
Antena 1	$S = \begin{bmatrix} -7.62 & -29.73 \\ -30.44 & -9 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.2575$	$S = \begin{bmatrix} -7.17 & -30.21 \\ -31.07 & -9.33 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.2449$	$S = \begin{bmatrix} -7.40 & -29.38 \\ -30.12 & -8.68 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.2447$
Antena 2	$S = \begin{bmatrix} -7.53 & -31.96 \\ -32.89 & -12.03 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.2949$	$S = \begin{bmatrix} -7.37 & -30.98 \\ -31.85 & -9.93 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.2544$	$S = \begin{bmatrix} -7.47 & -33.68 \\ -34.53 & -9.74 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.2193$
Antena 3	$S = \begin{bmatrix} -7.37 & -31.75 \\ -32.38 & -10.69 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.2661$	$S = \begin{bmatrix} -7.50 & -32.70 \\ -33.45 & -8.14 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.1963$	$S = \begin{bmatrix} -7.18 & -33.02 \\ -33.72 & -6.94 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.1609$
Antena 4	$S = \begin{bmatrix} -7.33 & -33.31 \\ -34.39 & -8.06 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.1813$	$S = \begin{bmatrix} -7.37 & -33.06 \\ -34.05 & -7.52 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.1740$	$S = \begin{bmatrix} -7.15 & -32.85 \\ -33.90 & -8.35 \end{bmatrix}$ $\rho_e = 0.1883$

Se observa de la tabla anterior que el coeficiente de correlación, para cada configuración, tiene norma infinito $\|\rho_e\|_\infty < 0.5$. Esto indica que la señal transmitida o recibida será igual, sin que tenga mayor impacto sobre las otras.

IV. DISCUSIÓN

La idea de realizar el análisis con la teoría de los bipuertos adaptada es para tener el valor de referencia del índice de correlación óptimo donde se colocarán las antenas y no se presente una interferencia co-canal de una a otra, con esto se logra un desempeño óptimo en la recepción o transmisión de manera individual de las antenas. En la implementación se empleó el valor de este índice de correlación sobre una placa a la cual se le realizaron tres orificios para realizar las pruebas en los distintos valores de este.

Los resultados obtenidos para el coeficiente de correlación indican que aún es aceptable a la distancia mínima de 0.298λ entre los puntos de alimentación, ya que en las pruebas realizadas mediante el analizador vectorial, se encontró que las interferencias co-canal son mínimas, permitiendo que los niveles de recepción en la antena tuvieran valores cercanos a los 2.7 dB y en la transmisión, valores cercanos a los 2.6 dB. Esto implica que durante la transmisión el arreglo MIMO tiene un mejor desempeño para recibir las señales. En cuanto a la parte transmisora, permite que se reduzcan los niveles de emisión de potencia. Esto en antenas con menores dimensiones, permitirá que los diferentes dispositivos móviles que empleamos en nuestra vida cotidiana reduzcan las emisiones de radiación y que, en la recepción, el ancho de banda no se vea afectado por las tasas de transferencia de bits al alejarse de la fuente de emisión.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) por el apoyo en el diseño de las antenas de parche con el Software FEKO, en especial a la Dra. Margarita Tecpoyotl Torres.

REFERENCIAS

- [1] S. Blanch, J. Romeu and I. Corbella, "Exact representation of antenna system diversity performance from input parameter description", *IEEE Electronic Letters*, vol. 39, no. 9, May 2003.
- [2] D. Singh, P. Gour, and R.Thakur, "Survey on MIMO antennas for mobile and compensating user's induces loss," *International Journal of Engineering Research and Applications*, IJERA, 3(1), 2013, p.p. 2047-2051.
- [3] R. Hernández, "Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y WI-FI, bandas 2.4 ghz y 5.8 ghz", Tesis profesional, UDLAP, 2008, p.p. 30-38.
- [4] J. Jiménez, J. Rodríguez, V. González, "Procedimiento de diseño y realización de antenas de parche en tecnología microstrip", *Revista del Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones*, DIAC, No. 1, 2011, p.p. 87-91, ISSN: 2254-0520.
- [5] S. Buenrostro, "Metodología para el diseño y construcción de antenas de microcinta en la banda WiMax a 3.5 GHz," Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, 2007.
- [6] R. Hernández, "Análisis de la capacidad MIMO en un arreglo de antenas de parche", Tesina profesional, Universidad Politécnica del Estado de Morelos, 2014.
- [7] R. G. Vaughan and N. L. Scott, "Closely spaced monopoles for mobile communications," *Radio Sci.*, vol. 28, pp. 1259–1266, Nov.-Dec. 1993.
- [8] C. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," John Wiley & sons, inc, 1998.
- [9] J. W. Wallace and M. A. Jensen, "Termination-dependent diversity performance of coupled antennas: Network theory analysis," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 52, pp. 98–105, Jan. 2004.
- [10] J. W. Wallace and M. A. Jensen, "Mutual coupling in MIMO wireless systems: A rigorous network theory analysis," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 3, pp. 1317–1325, Jul. 2004.
- [11] A. Sibille, C. Oestges, and A. Zanella, "MIMO: From theory to implementation," Oxford: Elsevier, 2011.
- [12] D. Pozar, "Microwave engineering," University of Massachusetts at Amherst, 4th ed, 2012, ISBN 978-0-470-63155-3.

[13] FEKO Suite 6.1, EM Simulation Software (www.feko.info), 2011.