

Transformación de campo cercano a campo lejano utilizando corrientes equivalentes y algoritmos genéticos

Jesús R. Pérez

Dpto. Ing. Comunicaciones. ETSIIT
 Universidad de Cantabria
 Avda Los Castros s/n 39005 Santander
 e-mail :perezjr@unican.es

José Basterrechea

Dpto. Ing. Comunicaciones. ETSIIT
 Universidad de Cantabria
 Avda Los Castros s/n 39005 Santander
 e-mail :basterrj@unican.es

Abstract- A method for computing far-field antenna patterns from planar near-field samples is presented. The method, based on the equivalence principle, replaces the antenna under test by a set of equivalent magnetic currents (EMC), and a binary micro genetic algorithm is used to optimise the amplitudes of the EMC from the near-field data. A second approach, using an equivalent model for the source made up of electric short dipoles, is also analysed. From the optimised equivalent model, the antenna far-field pattern can be easily computed. Numerical results using synthetic near-field data are reported and discussed.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de medida de antenas en campo cercano se han erigido en una alternativa fiable a las técnicas de medida de antenas en campo lejano. Básicamente, un sistema de medida en campo cercano mide la energía radiada en la zona próxima a la antena, y convierte estas muestras a campo lejano utilizando una técnica de transformación de campo cercano a campo lejano (CC-CL) [1]. En este artículo, la aplicación conjunta del teorema de equivalencia y de algoritmos micro genéticos (AMG) se muestra como una técnica eficaz, directamente aplicable a la transformación CC-CL.

En un problema de equivalencia arbitrario deben utilizarse densidades de corriente eléctrica y magnéticas para reproducir la radiación de una fuente. Sin embargo, para el caso de medidas sobre geometrías planas, puede utilizarse una formulación en términos de dos ecuaciones integrales desacopladas, utilizando únicamente densidades de corriente magnéticas equivalentes (CME) [2]. Aunque nuestro interés se centra en medidas con escáner plano, la formulación puede extenderse a geometrías cilíndricas [3] ó esféricas. Como alternativa, puede pensarse en un modelo equivalente para la fuente formado por un array de dipolos eléctricos, aproximación eficaz si la distancia entre dipolos es mucho menor que la distancia al plano de medida en campo cercano. A partir de las componentes tangenciales de campo eléctrico medidas ó sintetizadas, se optimizan las corrientes del modelo equivalente, y a partir de éste se puede estimar el diagrama de radiación de la antena.

II. FORMULACIÓN

Para el problema equivalente propuesto, y de acuerdo con la geometría mostrada en la figura 1, la relación entre las componentes de campo eléctrico tangenciales medidas ó sintetizadas y las componentes de la CME dispuestas sobre el plano xy , viene dada por las ecuaciones (1)-(2).

$$E_x = \frac{-1}{4\pi} \iint_{S'} \left[\frac{1+jk_0 R}{R^3} \right] \cdot z \cdot e^{-jk_0 R} \cdot M_y(x',y') dS' \quad (1)$$

$$E_y = \frac{1}{4\pi} \iint_{S'} \left[\frac{1+jk_0 R}{R^3} \right] \cdot z \cdot e^{-jk_0 R} \cdot M_x(x',y') dS' \quad (2)$$

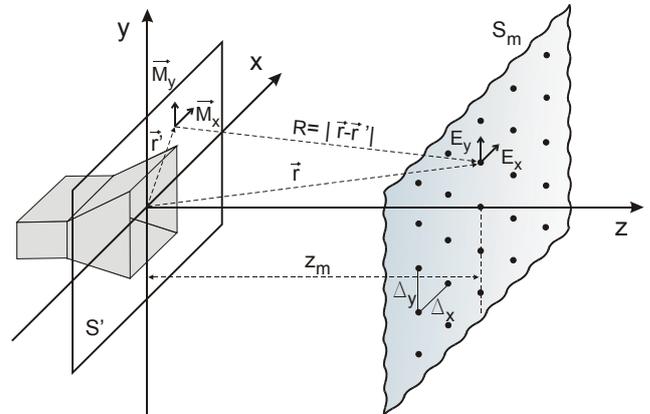


Fig. 1. Configuración geométrica del modelado de la fuente.

El plano S' donde residen las CME se limitó al tamaño de la antena a analizar, considerando despreciables los campos en el exterior. Para sintetizar los campos cercanos, ambas ecuaciones integrales se resuelven por cuadratura Gaussiana, aproximando las componentes de las CME (M_x , M_y) por N funciones base pulso bidimensionales; utilizando un proceso basado en AMG de naturaleza binaria para optimizar las N densidades de corriente, de forma que la diferencia entre las componentes de campo cercano E_x , E_y radiadas por las CME y las muestras de campo cercano de referencia, sintetizadas sobre S_m , sea mínima. Los AMG utilizados [4] convergen hacia soluciones próximas al valor óptimo de forma mucho más rápida que los algoritmos

genéticos convencionales, utilizando tamaños de población menores, descartando el uso del operador de mutación, y reiniciando la población cuando desaparece la diversidad entre los individuos ó soluciones potenciales; tal y como se detalla en el diagrama de bloques de la figura 2.

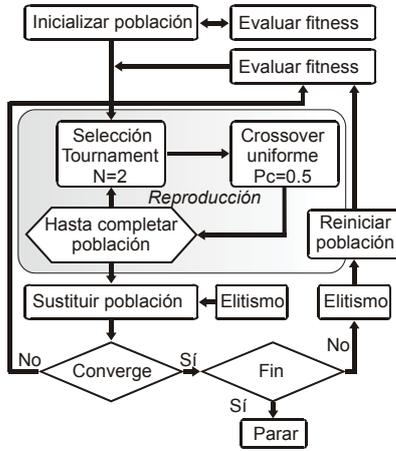


Fig. 2. Diagrama de flujo del esquema basado en algoritmos genéticos utilizado en la optimización.

De acuerdo con la figura anterior, la mejora en el proceso evolutivo se mide utilizando una función de coste ó función de fitness; la cual para nuestro problema viene dada por

$$F = \sum_{p=1}^P \frac{1}{1 + |\vec{E}_p(S_m) - \vec{E}_p(M)|^2} \quad (3)$$

donde $\vec{E}(S_m)$ representa al vector de campo cercano radiado por la antena y conocido en cada punto p del plano S_m , y $\vec{E}(M)$ es el campo eléctrico radiado por las N densidades de corriente discretas que están siendo optimizadas. A partir de las componentes M_x, M_y de las CME, el campo radiado por la fuente en lejano puede calcularse directamente aplicando las ecuaciones (1)-(2) y (4). Esta última relación se utiliza para recuperar la componente E_z de campo, cuya influencia en la componente E_θ es relevante.

$$E_z = \frac{1}{4\pi} \iint_{S'} \left[\frac{1 + jk_0 R}{R^3} \right] \cdot e^{-jk_0 R} \cdot [(x-x')M_y(x',y') - (y-y')M_x(x',y')] dS' \quad (4)$$

Como alternativa al modelado de la fuente mediante CME, respetando el principio de equivalencia y todas las bases del método propuesto, se utilizó también un modelo equivalente para la fuente basado en dipolos eléctricos orientados según x e y , distribuidos uniformemente sobre la superficie S' que la contiene. La idea es analizar las limitaciones del mado con dipolos, anticipando que al tratarse en este caso de corrientes puntuales, mados muy densos de dipolos arrojarán resultados similares a los del método anteriormente descrito. De forma similar al caso anterior, y a partir de las muestras de campo cercano de referencia, ahora debe

optimizarse el momento dipolar de cada uno de los N dipolos que integran el modelo equivalente, con el objeto de reproducir la radiación de la fuente, utilizando para ello el mismo AMG y la misma función de fitness. El campo radiado por el conjunto de dipolos en cada punto de campo cercano se expresa como

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N [\mathbf{R}_i]^{-1} [\mathbf{T}_i]^{-1} \vec{E}_i \quad (5)$$

donde $[\mathbf{R}_i]$ y $[\mathbf{T}_i]$ son las matrices de rotación y traslación utilizadas para expresar los campos en el sistema de coordenadas global, como una función del campo radiado por un dipolo eléctrico aislado, orientado según z [5].

III. RESULTADOS

A modo de ejemplo, en esta sección se muestran los resultados obtenidos al recuperar con el método propuesto el diagrama de radiación de una apertura de $3\lambda \times 3\lambda$ con distribución uniforme en x e y , utilizando muestras de referencia en campo cercano sintetizadas teóricamente. De acuerdo con la configuración geométrica propuesta en la figura 1, en un sistema de medida convencional con escáner plano se toman muestras de las componentes tangenciales E_x y E_y sobre puntos discretos de un plano S_m , alejado z_m de la fuente. Sin embargo, para la segunda variante propuesta anteriormente, basada en reemplazar la antena por un modelo equivalente formado por dipolos eléctricos, se comprobó que esta información de campo cercano resulta insuficiente para ajustar con precisión los lóbulos secundarios del diagrama de radiación de la fuente. La razón es que el campo radiado en cercano por un dipolo sobre S_m tiene las tres componentes, y sin embargo se omite completamente la componente E_z al realizar la optimización, de acuerdo con la ecuación (3) y dado que el vector de campo de referencia $\vec{E}(S_m)$ sólo contiene información relativa a las dos componentes tangenciales al plano. Trasladado a campo lejano, este efecto se plasma sobre los lóbulos laterales de la componente E_θ , degradando su ajuste. Como solución práctica, respetando el uso de un escáner plano, se puede optar por realizar cinco barridos, rotando la antena sobre uno de sus ejes y en un determinado sentido, según proceda; tal y como se muestra en la figura 3. Como resultado, se dispone de información de campo cercano con componentes E_x, E_y y E_z , distribuidas dos a dos según el plano. A partir de la nueva configuración geométrica propuesta, y manteniendo toda la formulación base expuesta en la sección anterior, se analiza la validez del método propuesto.

Para la apertura de $3\lambda \times 3\lambda$ objeto de análisis, se sintetizan teóricamente los campos radiados sobre puntos discretos equiespaciados $\Delta x = \Delta y = \lambda/2$ sobre los planos de la configuración geométrica expuesta en la figura 3. Adicionalmente, se utilizan modelos equivalentes para la apertura formados por $N=338$ densidades de corriente magnética ó dipolos, según el caso, uniformemente espaciadas $\lambda/4$ sobre una superficie S' del mismo tamaño que el de la fuente.

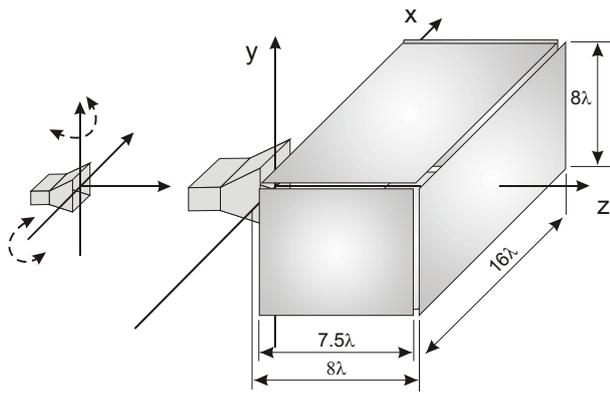


Fig. 3. Rotación de la antena para extender a cinco planos las muestras de campo cercano que pueden tomarse con un escáner plano.

En la figura 4 se muestra, a modo de resumen, el diagrama de radiación en 3D de la antena de apertura normalizado en amplitud respecto al máximo. Paralelamente, en la figura 5 se muestran detalles del diagrama de radiación para el corte $\phi=90^\circ$. Por simple inspección sobre los cortes del diagrama presentados, puede concluirse que el método propuesto con ambos modelos de corrientes equivalentes utilizados, ofrece unos resultados satisfactorios. Si se toman como criterios para establecer una comparación más rigurosa entre la utilización de CME ó dipolos eléctricos para modelar la fuente, el valor del fitness alcanzado, la rapidez de convergencia, ó en definitiva el tiempo de CPU, se concluye que para alcanzar un mismo fitness, el modelado mediante CME reduce en un factor de 6 el tiempo de CPU. Este desenlace era previsible, dada la dificultad para modelar una fuente con corrientes puntuales, tanto más agudizado si se utilizan pocos dipolos para realizar el mallado de la corriente equivalente.

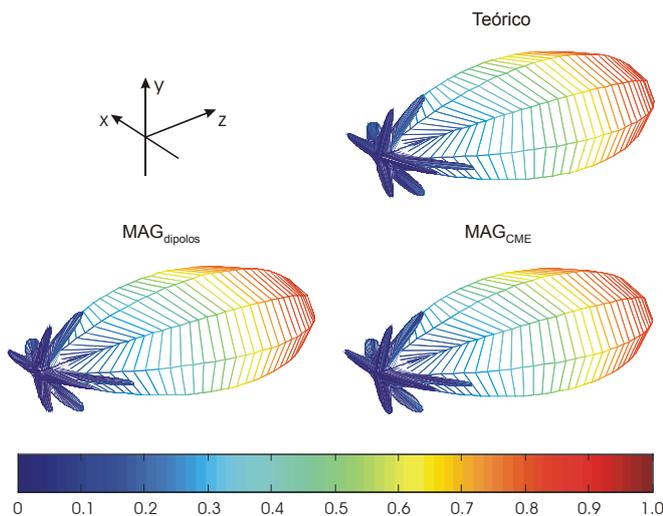
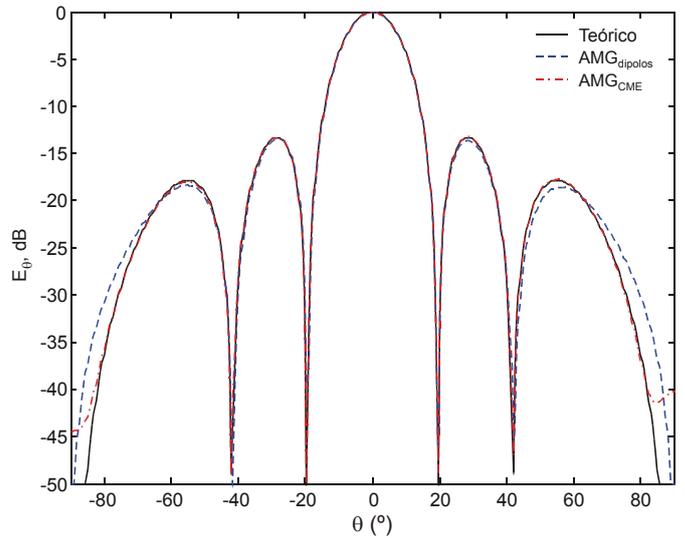
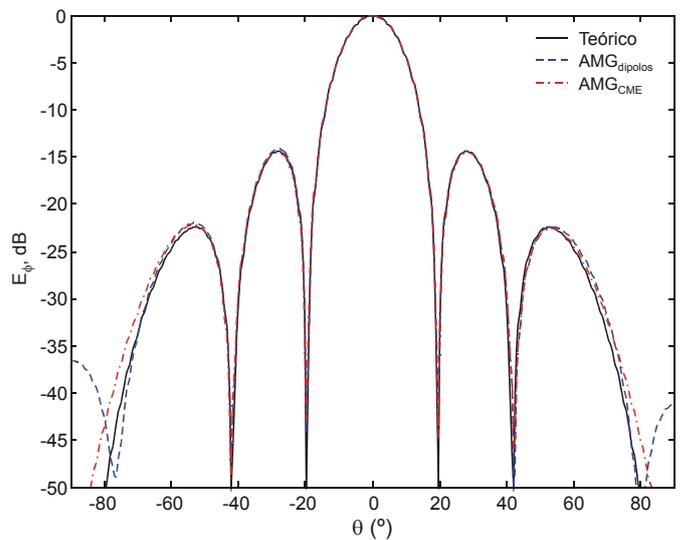


Fig. 4. Diagrama de radiación en 3D de la apertura, normalizado respecto al máximo, para los dos tipos de modelado de fuente analizados.



(a)



(b)

Fig. 5. Detalle del diagrama de radiación recuperado con los MAGs para el corte $\phi=90^\circ$. (a) Componente E_θ . (b) Componente E_ϕ .

Por lo que respecta al proceso de optimización mediante algoritmos genéticos, la figura 6 muestra la evolución que experimenta el valor del fitness, de acuerdo con la ecuación (3), con el número de generaciones ó iteraciones. Podría pensarse que la rápida convergencia que experimenta la simulación en el caso del modelado con CME pueda conducir al espacio de soluciones hacia un máximo local. Sin embargo, el tamaño de la población utilizada, muy distante de los valores normalmente empleados en los AMG (de 5 a 50 individuos), ofrece la diversidad suficiente como para acelerar la convergencia hacia un punto próximo al óptimo, disminuyendo drásticamente los tiempos de CPU. Cuando el modelo equivalente está formado por un array de dipolos, la propia discretización inherente a estas corrientes puntuales dificulta la convergencia. Por este motivo, esta aproximación es inviable para modelar aperturas de tamaño medio ó grande; dado su alto coste computacional.

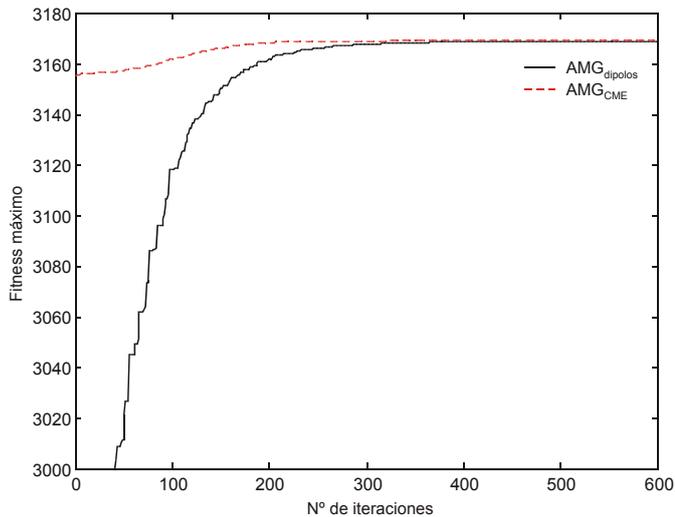


Fig. 6. Evolución del fitness máximo en función del número de iteraciones.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una técnica de transformación CC-CL aplicada a sistemas de medida de antena con escáner plano. El método emplea una representación de la fuente en términos de corrientes equivalentes, utilizando un proceso de optimización basado en AMG como la técnica de resolución del problema. A partir de los resultados de campo lejano obtenidos, puede concluirse que los algoritmos genéticos ofrecen resultados óptimos, lo cual puede hacerse extensivo a otras distribuciones y tamaños de apertura analizadas. La principal limitación del modelado de la antena utilizando un array de dipolos eléctricos viene impuesta por el tamaño de la antena, siendo razonable su utilización con aperturas pequeñas, donde el número de dipolos necesario evita que se disparen los tiempos de CPU. El modelado de las corrientes mediante pulsos proporciona resultados significativamente mejores y permite su utilización con aperturas de dimensiones mucho mayores que el anterior.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la beca AP2001-1325 de la Secretaría de Estado de Educación y Universidades

REFERENCIAS

- [1] A.D. Yaghjian, "An overview of near-field antenna measurements", IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Vol.36, no.1, pp.,30-45; 1986
- [2] P. Petre and T.K. Sarkar, "Planar near-field to far-field transformation using an equivalent magnetic current approach", IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Vol.40, no.11, pp.1348-1356; 1992
- [3] F. Las Heras, "Sequential reconstruction of equivalent currents from cylindrical near field", Electronic Letters, Vol.35, no.3, pp.211-212; 1999
- [4] D.L. Carroll, "Fortran genetic algorithm (GA) driver", CU Aerospace, <http://cuaerospace.com/carroll/ga.html>
- [5] J.R. Pérez, J. Basterrechea, "GA based prediction of antenna radiation patterns from planar near-field samples", Microwave and Optical Technology Letters, Vol.37, no.4, pp. 235-236; 2003