

# Modelado de las corrientes de Óptica Física en un método híbrido Método de los Momentos-Óptica Física

J.M. Taboada, F. Obelleiro, J.L. Rodríguez

Departamento de Tecnoloxías das Comunicacións, E.T.S.E. Telecomunicacións, Universidade de Vigo, 36200 VIGO  
Tel: (986) 812120, Fax: (986) 812116 Correo electrónico: obi@com.uvigo.es.

## ABSTRACT

In this paper we show a comparison between several alternatives to represent the Physical Optics (PO) current density into a hybrid Moment-Method-Physical-Optics (MM-PO) code. Some numerical results prove that a set of basis functions suitable for the Method of Moments (MM) may be inappropriate to model the PO currents. A new evaluation of the PO operator over triangular subdomains is presented. The radiation can be analytically determined and it can be applied over large triangular domains, which allows a drastically reduction of the computational cost.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a la limitación en tamaño eléctrico de las estructuras que pueden ser analizadas mediante el método de los momentos (MM) [1], en los últimos años se han desarrollado técnicas híbridas combinando el MM con otras alternativas no tan precisas pero de menor coste computacional. La primera contribución combinando el MM con PO aplicado a problemas 3D se presentó en [2], dando lugar al denominado *Physical Optics Hybrid Method*, (POHM). En [3] se presentó una generalización de este técnica, con el método híbrido EFIE-MFIE (HEM). Finalmente, en [4, 5] y [6] se presentaron mejoras del método híbrido MM-PO.

En estos trabajos se utilizaron las funciones base desarrolladas por Rao, Wilton y Glisson (RWG) [7] para el modelado de las superficies en las regiones MM y en las regiones PO. Sin embargo, un conjunto adecuado de funciones base para una formulación MM no necesariamente es adecuado para modelar corrientes mediante PO, tal como se muestra en este trabajo. Por otra parte, los coeficientes de la expansión de corriente en la región PO se obtienen directamente a través de un procedimiento de proyección, y no como solución de un sistema de ecuaciones como en MM. De este modo, propiedades no relevantes en MM como la ortogonalidad de las funciones base, son deseables cuando se utilizan en PO, para evitar componentes ficticias de corriente contrapolar.

En este trabajo se comparan varias alternativas para el modelado de la corriente utilizando la aproximación de PO en una formulación MM-PO; algunos ejemplos demuestran que es necesario tener en cuenta diferentes consideraciones a las de MM para elegir un conjunto de funciones base que representen de forma adecuada la corriente bajo la aproximación de PO.

## 2. CORRIENTES DE ÓPTICA FÍSICA

En este apartado se describen varias alternativas para modelar las corrientes de PO y sus respectivas radiaciones, necesarias para la incorporación de los efectos de la región PO en un método híbrido MM-PO. La comparación se establece en términos de la precisión y el coste computacional.

## 2.1 Funciones Rao-Wilton-Glisson

En [4] se utilizaron las funciones base RWG para el modelado de superficies tanto en la región MM como en la región PO. Las funciones RWG están definidas sobre parejas de triángulos que poseen un lado en común, y representan la corriente mediante una aproximación lineal, tal como se muestra en la figura 1 (a). Estas bases cumplen entre otras las siguientes propiedades: garantizan la continuidad de la corriente, la divergencia puede ser calculada analíticamente, y no presenta acumulaciones ficticias de carga. Estas propiedades hacen que estas funciones sean especialmente adecuadas para ser incluidas en una formulación MM, puesto que para obtener resultados precisos es necesaria una representación precisa de la distribución de carga, además de la distribución de corriente [8]. Sin embargo, estas propiedades no tienen ninguna relevancia cuando estas bases se utilizan en PO, debido a que en este caso no es necesario calcular la divergencia.

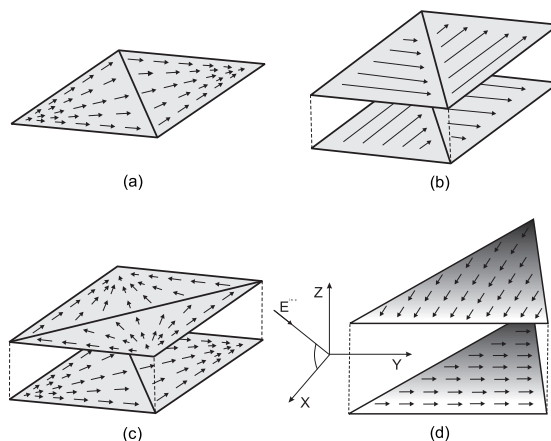


Figura 1. (a) RWG; (b) funciones presentadas en [11]; (c) RWG solapadas; (d) formulación LPIT

Para obtener los coeficientes de la expansión de la corriente en la región PO, la densidad de corriente obtenida mediante la aplicación de PO sobre dicha región se proyecta sobre cada una de las funciones base. En [4] se presenta un procedimiento de proyección ortogonal adecuado para este tipo de bases. El principal inconveniente de las funciones RWG es que no pueden representar cualquier dirección de la corriente sobre un triángulo [9]. Este inconveniente es especialmente importante cuando se utiliza la aproximación de PO, puesto que en este caso los coeficientes de la expansión se obtienen en cada base de forma independiente. Por otra parte, las funciones RWG asumen que la fase es constante en todo su dominio, lo cual limita el tamaño máximo de los triángulos del modelo a  $0.1\lambda$  aproximadamente para interpolar de modo preciso las variaciones de fase.

Para incrementar los grados de libertad proporcionados por las funciones RWG, en [9] se propuso una nueva formulación basada en asociar dos funciones diferentes a cada pareja de triángulos, tal como se muestra en la figura 1 (b). Estas bases permiten la representación de cualquier dirección de la corriente en cada triángulo. Sin embargo, no son adecuadas para modelar la corriente en PO, debido a que cada base implica dos direcciones vectoriales diferentes, haciendo imposible la proyección ortogonal sin resolver un sistema de ecuaciones. Por otra parte, estas funciones presentan la misma limitación de fase que las RWG, de forma que el número de bases necesarias para la expansión de la corriente se duplica.

Otro procedimiento para completar las funciones RWG consiste en solaparlas, tal como se muestra en la figura 1 (c). De este modo se asocian dos funciones *cuasi*-ortogonales a cada pareja de triángulos, permitiendo la representación de cualquier dirección de la corriente. Esta formulación posee la misma limitación de fase que las dos anteriores, de modo que el número de funciones se duplica con respecto a la formulación RWG.

## 2.2 Nueva evaluación de la contribución de óptica física

En esta sección se presenta una alternativa para la evaluación de la radiación de las corrientes inducidas en la región PO, siguiendo un procedimiento analítico similar al presentado en [10]. Este procedimiento consiste en aproximar la amplitud de la corriente mediante una constante y la fase mediante una interpolación poligonal de primer orden, tal como se indica en la figura 1 (d) (*linear phase interpolation over triangular domains*, LPIT). Debido a que en este caso la fase de la corriente es considerada en la propia formulación, el tamaño de los triángulos del modelo puede ser incrementado considerablemente sin pérdida de precisión. Así, la discretización del modelo depende de requisitos geométricos más que de la longitud de onda del problema. Por otra parte, esta formulación considera dos direcciones vectoriales sobre cada triángulo, de modo que se puede representar cualquier dirección de la corriente. Aunque así la continuidad de la corriente entre triángulos adyacentes no se garantiza, esto no supone ningún problema utilizando PO, puesto que no es necesario obtener la divergencia para evaluar la integral de radiación (que además puede ser calculada analíticamente).

Para calcular la radiación de las corrientes de PO inducidas sobre un parche triangular mediante la formulación LPIT, es necesario conocer la amplitud y la fase del campo magnético incidente (que puede proceder de una onda incidente o de una base MM) en los tres vértices del triángulo. Se debe prestar especial atención a la fase del campo incidente, puesto que los cálculos utilizando la notación de parte real e imaginaria para los complejos son ambiguos para la información de fase cuando los triángulos son grandes. Para eliminar esta ambigüedad es necesario considerar la dirección del campo magnético incidente.

## 2.3 Comparación entre alternativas

En este apartado se presentan algunos resultados numéricos para comparar las diferentes alternativas. La figura 2 muestra las componentes copolar y contrapolar de la distribución de campo lejano dispersado por una placa cuadrada de  $1\lambda$  de lado, aplicando la aproximación de PO. La placa está iluminada por una onda plana incidente definida por  $\theta^i=60^\circ$  y  $\phi^i=0^\circ$  con polarización vertical. En cuanto a la componente copolar, tanto la

formulación RWG (280 bases) como la RWG con bases solapadas (560 bases) muestran un buen parecido con el valor teórico. Sin embargo, con respecto a la componente contrapolar (que debería ser cero), las funciones RWG proporcionan un nivel muy elevado. Este es el principal problema de estas bases cuando se utilizan en PO. La formulación con RWG solapadas soluciona este problema, pero a costa de duplicar el número de funciones en la expansión. Por último, se puede observar que los mejores resultados, tanto para la formulación copolar como para la contrapolar, se obtienen para la formulación LPIT, donde se han utilizado solamente 2 triángulos para modelar la placa.

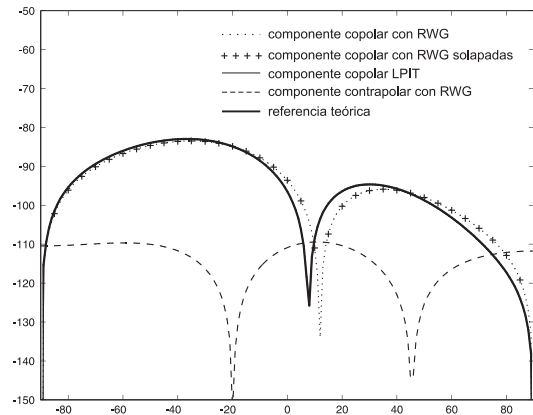


Figura 2. Campo lejano dispersado por una placa.

## 3. REFERENCIAS

- [1] R.F. Harrington, *Field computation by moment method*, IEEE Press, 1993.
- [2] C. S. Kim and Y. Rahmat-Samii, "Low profile antenna study using the physical optics hybrid method (POHM)", in Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propagat. Soc. Meet., London, ON, Canada, June 1991.
- [3] R. E. Hodges and Y. Rahmat-Samii, "An iterative current-based hybrid method for complex structures", *IEEE TAP*, vol. 45, no. 2, pp. 265-276, Feb. 1997.
- [4] U. Jakobus and F. M. Landstorfer, "Improved PO\_MM hybrid formulation for scattering from three-dimensional perfectly conducting bodies of arbitrary shape", *IEEE TAP*, vol. 43, no. 2, pp. 162-169, Feb. 1995.
- [5] U. Jakobus and F. M. Landstorfer, "Improvement of the PO\_MM hybrid method by accounting for effects of perfectly conducting wedges", *IEEE TAP*, vol. 43, no. 10, pp. 1123-1129, Oct. 1995.
- [6] F. Obelleiro, J. M. Taboada, J. L. Rodríguez, J. O. Rubiños, A.M. Arias, "Hybrid moment-method physical-optics formulation for modelling the electromagnetic behaviour of on-board antennas", *MOTL*, Vol. 27, no. 2, pp. 88-93, Aug. 2000.
- [7] S.M. Rao, D.R. Wilton and A.W. Glisson, "Electromagnetic scattering by surfaces of arbitrary shape", *IEEE TAP*, vol. AP-30, no. 3, pp 409-418, May 1982.
- [8] L. Gürel, K. Sertel and I. K. Sendur, "On the choice of basis functions to model surface electric current densities in computational electromagnetics", *Radio Science.*, vol. 34, no. 6, pp 1373-1387, Nov-Dec 1999.
- [9] L. C. Trintinalia and H. Ling, "An improved triangular patch basis for the Method of Moments", Proc. IEEE Trans. Antennas Propagat. International Symposium, vol. 4, pp. 2306-2309, July 2000.
- [10] Fernando J.S. Moreira and Aluizio Prata, Jr., "A Self-Checking Predictor-Corrector Algorithm for Efficient Evaluation of Reflector Antenna Radiation Integrals", *IEEE TAP*, vol. 42, no. 2, pp 246-254, February 1994.