

Adaptación de la aceleración espectral del método Forward-Backward para el análisis de coberturas sobre terrenos*

J.A.L. Fernández, M.R. Pino, F. Obelleiro, and J.L Rodríguez

Dpto. Tecnoloxías Comunicacions. Universidade de Vigo.

Campus Universitario s/n, 36200 Vigo. E-mail: obi@com.uvigo.es

Resumen

The *Forward-Backward* (FB) method provides good results on scattering problems over very rough surfaces. However its computational cost is $\mathcal{O}(N^2)$. The Novel Spectral Acceleration developed for this method reduces this cost to $\mathcal{O}(N)$, but the original implementation cannot be applied to solve the scattering on very rough surfaces. In this paper the spectral acceleration for the FB method is adapted to apply it on the calculation of scattering on considerable undulating surfaces.

1 Introducción

En este artículo se presenta una adaptación de la aceleración espectral del método *Forward-Backward* [1] que permite resolver el problema de dispersión electromagnética sobre una superficie rugosa con un coste computacional de $\mathcal{O}(N)$.

El método *Forward-Backward* está basado en una descomposición de la ecuación matricial MoM $\overline{\overline{Z}} \cdot \overline{\overline{I}} = \overline{\overline{V}}$. La corriente se divide en una componente forward $\overline{\overline{I}}^f$, o contribución de la corriente debida a las ondas que se propagan en la dirección forward; y una componente backward $\overline{\overline{I}}^b$ o contribución de la corriente debida a las ondas que se propagan en la dirección backward. Así mismo la matriz de impedancias se descompone en tres bloques: $\overline{\overline{Z}}^f$, $\overline{\overline{Z}}^s$ y $\overline{\overline{Z}}^b$ que son, respectivamente, la parte triangular inferior (términos de impedancia forward), la parte diagonal (términos de auto-impedancia) y la parte triangular superior (términos de impedancia backward) de $\overline{\overline{Z}}$. Utilizando esta descomposición es posible resolver el sistema matricial MoM a través de sustitución hacia delante y hacia atrás [1] con un coste computacional de $\mathcal{O}(N^2)$.

La aceleración espectral convencional para el método *Forward-Backward* [2] reduce el coste aso-

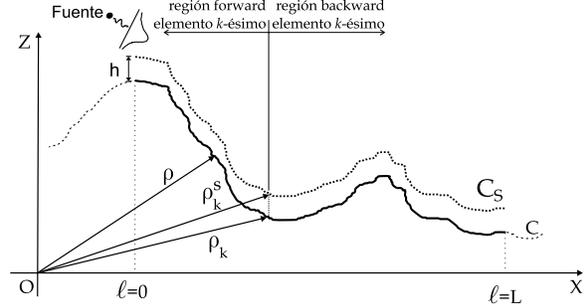


Figura 1: Perfil de terreno y posición de fuente.

ciado a $\mathcal{O}(N)$, pero no resuelve satisfactoriamente el problema cuando la superficie es muy rugosa. La nueva aproximación modifica el camino de integración y el paso de integración empleado de manera que se puede usar para el cálculo de coberturas sobre terrenos, manteniendo el coste computacional.

2 Aceleración espectral

En esta apartado se describe el método de aceleración espectral, haciendo hincapié en las modificaciones sobre la original presentada en [2]. Por brevedad, sólo se analizará el caso de incidencia horizontal. Sin embargo, la extensión a incidencia vertical se obtiene de forma similar, teniendo en cuenta las expresiones correspondientes para este caso. De la misma manera, sólo se incluye el estudio de la aceleración para la propagación hacia delante (forward); la formulación para la propagación hacia atrás es obtenida de manera análoga.

La aceleración espectral presentada en [2] está basada en la división de los elementos en dos grupos para cada elemento receptor (Figura 1): *interacción fuerte* grupo \mathcal{G}_s y *interacción débil* grupo \mathcal{G}_w . Así la contribución forward puede ser descompuesta como:

$$E_f(\rho_n) = E_w(\rho_n) + E_s(\rho_n) \quad (1)$$

donde E_w y E_s son los campos correspondientes al grupo débil y fuerte, respectivamente. La radiación

*Este trabajo ha sido financiado por la Xunta de Galicia a través del proyecto PGIDT00-TIC32202PR y por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología Española (CICYT) bajo el proyecto TIC99-0355

del grupo de interacción fuerte es hallado directamente al igual que en [1], pero el grupo de interacción débil se obtiene mediante la integración en el dominio complejo de la representación espectral de la función de Green y su derivada, de manera similar a como se indica en [2].

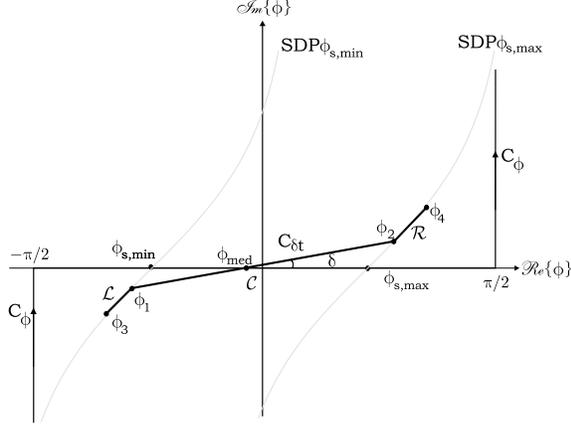


Figura 2: Caminos de integración en el dominio complejo ϕ de la función de Hankel de orden cero.

El camino de integración $C_{\delta t}$ (camino grueso en la figura 2) es escogido para reducir el coste computacional necesario para evaluar la contribución del grupo débil al tiempo que debe evitar errores debidos a la precisión numérica limitada del ordenador. Otro aspecto a tener en cuenta es que el espectro de la función de Green se desplazará a lo largo del eje $Re\{\phi\}$ en función de la geometría del terreno. Si el terreno es descendente, el espectro estará centrado en la zona de $Re\{\phi\} < 0$ y en caso de que el terreno sea ascendente se centrará en $Re\{\phi\} > 0$. Para tener en cuenta este aspecto se define el ángulo ϕ_{med} , que representa el ángulo medio del perfil según el sentido de propagación, y se centra el camino de integración en dicho punto (figura 2). Por otra parte es necesario limitar la contribución de cada elemento del grupo débil para evitar posibles inestabilidades numéricas, para ello se utiliza el límite dado en [3]. Así se determinará el ángulo δ , que será función de la rugosidad del terreno, siendo δ más pequeño cuanto mayor sea ésta. Si δ disminuye mucho el camino se acercará mucho al eje $Re\{\phi\}$, por lo que será necesario añadir los caminos laterales (\mathcal{L} y \mathcal{R}) para poder tener en cuenta todo el espectro representativo de la función $F_n(\phi)$.

3 Resultados numéricos

Se considera un terreno con las siguientes propiedades dieléctricas, $\sigma = 4$ S/m y $\epsilon_r = 80$. La fuente

trabaja a 0.3 Ghz y está situada a 20 m de altura sobre el origen de la superficie e incide con un ángulo de 3° respecto a la horizontal. Los resultados muestran la intensidad de campo para ambas polarizaciones en una línea imaginaria situada a 1.8 m sobre la superficie. El resultado obtenido de la aplicación de la aceleración espectral al método FB es comparado con la solución dada por MoM. Tras 10 iteraciones en el caso de polarización horizontal y 2 en el de incidencia vertical, el error incurrido en las corrientes es del orden de 0.1 por ciento.

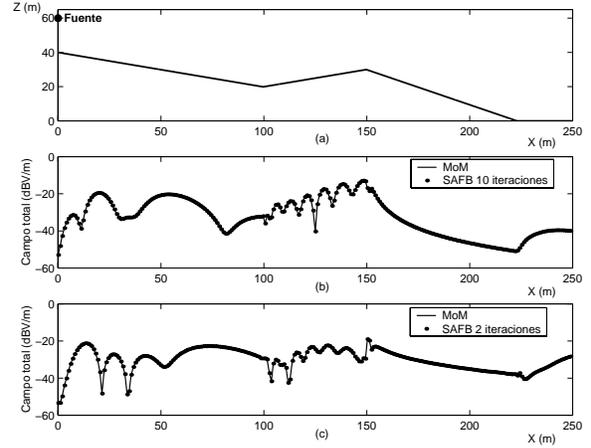


Figura 3: (a) Geometría del perfil y posición de la fuente, (b) Magnitud del Campo Total para incidencia Horizontal, (c) Magnitud del Campo Total para incidencia Vertical

En conclusión, mediante la inclusión de la aceleración espectral en el método Forward-Backward es posible analizar el scattering producido por una superficie considerablemente rugosa con un coste computacional de $\mathcal{O}(N)$ y sin pérdida de precisión. Esto permite que este método sea aplicable al análisis de coberturas sobre perfiles de terrenos.

Referencias

- [1] D. Holliday, L.L. DeRaad, Jr., and G.J. St-Cyr, "Forward-backward: A new method for computing low-grazing angle scattering." *IEEE TAP*, vol. 44, pp 722-729, May 1996.
- [2] H.-T. Chou, and J.T. Johnson, "Formulation of Forward-Backward Method Using Novel Spectral Acceleration for the Modeling of Scattering from Impedance Rough Surface", *IEEE GRS*, vol. 38, no. 1, pp. 605-607, Jan. 2000.
- [3] M.R. Pino, R.J. Burkholder and F. Obelleiro, "Fast Generalized Forward-Backward Method by using a Spectral Acceleration", presented at the 1999 IEEE AP-S Int. Symp., Orlando, FL, July 11-16.