

UNA FUNCIÓN DE ATENUACIÓN EXPRESADA EN TÉRMINOS DE COEFICIENTES UTD PARA LA DIFRACCIÓN MÚLTIPLE DE ONDAS ESFÉRICAS EN COMUNICACIONES MICROCELULARES

José-Víctor Rodríguez, José-María Molina-García-Pardo y Leandro Juan-Llácer
Dpto. Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena
Antiguo Hospital de Marina, 30202 Cartagena
e-mail: jvictor.rodriguez@upct.es, leandro.juan@upct.es

ABSTRACT

This work presents an explicit formulation for multiple edge diffraction for mobile radiowave propagation in terms of UTD-diffraction coefficients when a spherical incident wave is considered. The solution sharply reduces the computing time over existing formulation, specially when the number of edges is very large. The applicability of the result is interesting for both area coverage and interference predictions in microcellular systems.

I. INTRODUCCIÓN

La Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) ha sido utilizada para predecir las pérdidas por difracción múltiple de ondas de radio sobre edificios en entornos urbanos celulares. En el caso de incidencia de onda plana, una solución de la atenuación resultante en términos de coeficientes UTD fue presentada en [1]. Sin embargo, cuando el frente de ondas incidente sobre los edificios es esférico, las soluciones existentes en la literatura para el cálculo de modelos de propagación que incluyan dichas pérdidas por difracción múltiple atienden a métodos basados en Óptica Física (PO) [2], habiendo sido validados por medidas experimentales mostradas en [3]. Estos métodos albergan una gran complejidad matemática y requieren unos tiempos de computación mucho mayores que los basados en UTD. En este trabajo se presenta un modelo para el cálculo de la atenuación debida a la difracción múltiple cuando la onda incidente es esférica, expresado en términos de coeficientes UTD.

II. ENTORNO DE PROPAGACIÓN

La Fig.1 muestra el entorno de propagación considerado. En ella se puede apreciar cómo una hipotética fila de edificios ha sido sustituida por una serie de n láminas o planos semi-infinitos absorbentes, todos ellos separados entre sí una distancia constante w y situados a la misma altura. La antena emisora se encuentra también a una distancia w de la fila de láminas de tal manera que será una onda esférica la que incida sobre la serie de planos semi-infinitos y su altura relativa a la de las láminas queda definida por H , pudiendo ser tanto positiva (si se sitúa por encima del nivel establecido por la altura de los planos) como negativa (en caso contrario).

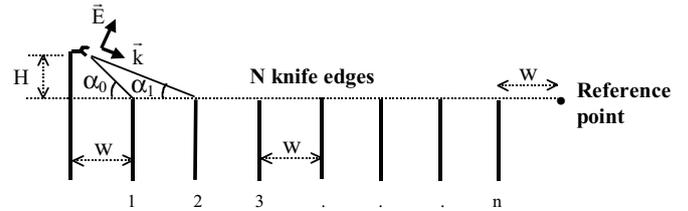


Fig. 1. Esquema del entorno de propagación considerado, en el que se aprecia la fuente emisora y la serie de láminas semi-infinitas.

Se considerarán pues los casos de incidencia de ángulo positivo y negativo sobre la fila de láminas (en los que se asumirá que este ángulo es pequeño), así como el de incidencia rasante.

III. MODELO EN TÉRMINOS UTD

Mediante la utilización de una técnica recursiva basada en la solución final dada por [1] para el caso de difracción múltiple producida por una onda plana, se propone la siguiente solución para el cálculo de la atenuación sufrida por la onda en el punto receptor de la Fig. 1, determinada respecto al campo recibido en espacio libre, en el caso de que el frente de ondas incidente sea esférico. $A(0)=1$ para $n=0$ (ausencia de láminas) y para $n \geq 1$ se han distinguido tres casos:

(i) Antena emisora colocada por encima de la altura de las láminas ($H > 0$):

$$A(n) = \frac{R_n}{n} \left\{ A(0) \cdot \left(\frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_0} \sqrt{\frac{R_0}{nw \cdot (R_0 + nw)}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times D_1(\alpha_0) \cdot \exp(-jk \cdot (R_0 - R_n + nw)) \right) + \right. \\ \left. + \sum_{m=1}^{n-1} A(m) \cdot \left(\frac{1}{R_m \cdot (n-m+1)} + \frac{1}{R_m \sqrt{(n-m+1) \cdot (n-m) \cdot w}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times D_{m+1}(\alpha_m) \cdot \exp(-jk \cdot (R_m - R_n + (n-m) \cdot w)) \right) \right\} \quad (1)$$

donde k es el número de onda y

$$R_x = \sqrt{H^2 + [(x+1)w]^2} \quad (2)$$

$$\alpha_m = \arctg \left[\frac{H}{(m+1) \cdot w} \right] \quad (3)$$

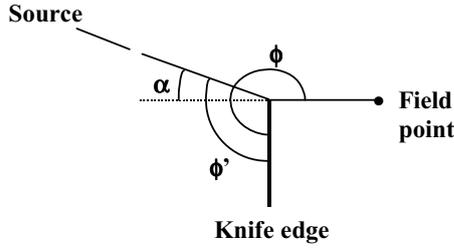


Fig. 2. Descripción de la geometría correspondiente a la difracción en un *knife edge*.

$$D_{m+1}(\alpha_m) = \begin{cases} D \left[\phi = \frac{3\pi}{2}, \phi' = \frac{\pi}{2} + \alpha_m, \right. \\ \left. L = \frac{R_0 \cdot (n-m)w}{R_0 + (n-m)w} \right] & m = 0 \\ D \left[\phi = \frac{3\pi}{2}, \phi' = \frac{\pi}{2} + \alpha_m, \right. \\ \left. L \approx \frac{(n-m)w}{1 + (n-m)} \right] & m \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

El coeficiente de difracción $D(\phi, \phi', L)$ que se ha tomado, para el caso de lámina (*knife edge*) absorbente, viene definido por [4] y su descripción se ha representado en la Fig. 2.

$$D(\phi, \phi', L) \approx \frac{-\exp(-j\frac{\pi}{4})F \left[\frac{2kL \cos^2\left(\frac{\phi - \phi'}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\phi - \phi'}{2}\right)} \right]}{2\sqrt{2\pi k}} \quad (5)$$

donde

$$F(X) = 2j\sqrt{X} \cdot \exp(jX) \int_{\sqrt{X}}^{\infty} \exp(-j\tau^2) d\tau \quad (6)$$

es la llamada *función de transición* y viene definida en términos de una integral de Fresnel.

El *spreading factor* considerado en los términos correspondientes a los rayos difractados es:

$$A_{sf} \begin{cases} = \sqrt{\frac{R_0}{(n-m)w \cdot [(n-m)w + R_0]}} & m = 0 \\ \approx \sqrt{\frac{1}{(n-m) \cdot [(n-m) + 1]w}} & m \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

(ii) Antena emisora colocada por debajo de la altura de las láminas ($H < 0$):

$$A(n) = \frac{R_n}{n} \left\{ A(0) \cdot \left(\frac{1}{R_0} \sqrt{\frac{R_0}{nw \cdot (R_0 + nw)}} \times \right. \right. \\ \times D_1(\alpha_0) \cdot \exp(-jk \cdot (R_0 - R_n + nw)) \Big) + \\ \left. \left. + \sum_{m=1}^{n-1} A(m) \cdot \left(\frac{1}{R_m \sqrt{(n-m+1) \cdot (n-m) \cdot w}} \times \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \times D_{m+1}(\alpha_m) \cdot \exp(-jk \cdot (R_m - R_n + (n-m) \cdot w)) \right) \right\} \quad (8)$$

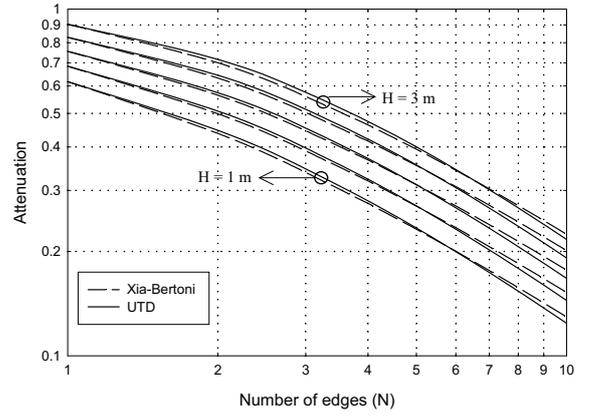


Fig. 3. Atenuación en función de la altura de la antena emisora para distintos valores de N (número de láminas). Se ha considerado $H > 0$ ($\alpha_m > 0$).

(iii) Antena emisora colocada a la misma altura que las láminas ($H = 0$):

$$A(n) = \frac{n+1}{n} \left\{ \sum_{m=0}^{n-1} A(m) \cdot \left(\frac{1}{m+1} \right) \left[\frac{1}{2 \cdot (n-m+1)} \right] \right\} \quad (9)$$

donde se ha considerado la aproximación expresada en [4]

$$D \left[\phi = \frac{3\pi}{2}, \phi' = \frac{\pi}{2}, L = \frac{(n-m)w}{1 + (n-m)} \right] = -\frac{\sqrt{L}}{2} \quad (10)$$

Cabe resaltar cómo, en este caso, la solución para la atenuación presenta un comportamiento casi idéntico al que se deriva de la función $A(n) = 1/(n+1)$, hecho que también queda reflejado en los resultados de [2, 5].

IV. RESULTADOS

Los resultados del modelo propuesto para el cálculo de la atenuación ($|A(n)|$) pueden observarse en la Fig. 3 ($H > 0$) y Fig. 4 ($H \leq 0$), donde se han considerado valores de H espaciados 0.5 m tanto en uno como en otro caso. Se ha tomado $w = 200\lambda$ y una frecuencia de 900 MHz. En los cálculos se han utilizado únicamente valores enteros de n , pero se ha trazado una línea continua para una mejor apreciación de los resultados obtenidos. Asimismo, sólo se ha simulado hasta diez láminas considerando que se trata de una solución para el análisis de la atenuación en entornos microcelulares.

Con el fin de comprobar la validez del método UTD propuesto, se ha establecido una comparativa con la solución basada en Óptica Física enunciada por Xia y Bertoni en [2], en la que se puede comprobar cómo las diferencias son mínimas, existiendo entre ambos resultados un error relativo máximo del 5% en el caso de $H > 0$ y del 6% para $H \leq 0$. Además, el modelo UTD que aquí se propone requiere mucho menos tiempo computacional que el de Xia y Bertoni, especialmente cuando el número de láminas se hace considerable o la altura de la antena emisora respecto a ellas aumenta.

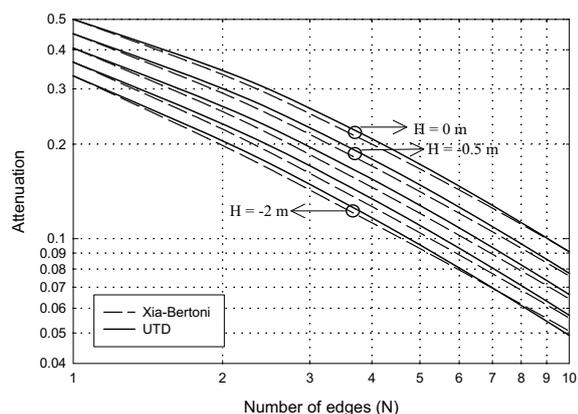


Fig. 4. Atenuación en función de la altura de la antena emisora para distintos valores de N (número de láminas). Se ha considerado $H \leq 0$ ($0_m \leq 0$).

V. CONCLUSIONES

Se ha propuesto una solución en términos de coeficientes UTD para el cálculo de la difracción múltiple producida por una onda esférica incidente sobre una serie de planos semi-infinitos absorbentes.

Los resultados obtenidos han sido validados mostrando su coincidencia con una solución basada en Óptica Física, habiéndose analizado los casos de incidencia de ángulo positivo y negativo así como el de incidencia rasante, existiendo entre ambos métodos un error relativo máximo del 5% en el caso de $H > 0$ y del 6% para $H \leq 0$.

Cuando se considera $H=0$ cabe resaltar que la función de atenuación propuesta presenta el conocido comportamiento $A(n)=1/(n+1)$ (siendo n el número de láminas) ampliamente comprobado en la literatura existente al respecto.

El modelo UTD enunciado alberga como principal ventaja su mayor rapidez en lo que a tiempo de computación se refiere.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Ciencia, Tecnología y Sociedad de la Información (Consejería de Ciencia, Tecnología, Industria y Comercio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia) la financiación de este trabajo (2I02SIU0019).

REFERENCIAS

- [1] L. Juan-Llácer and N. Cardona, "UTD solution for the multiple building diffraction attenuation function for mobile radiowave propagation", *Electro. Lett.*, 1997, **33**, (1), pp. 92-93
- [2] H.H. Xia and H. L. Bertoni, "Diffraction of Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens", *IEEE Trans. on Antennas and Prop.*, vol. **40**, no. 2, Feb. 1992, pp. 170-177
- [3] L. R. Maciel, H. L. Bertoni and H. H. Xia, "Unified Approach to Prediction of Propagation Over Buildings for All Ranges of Base Station Antenna Height", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol **42**, no. 1, Feb. 1993, pp. 41-45
- [4] R.G. Kouyoumjian and P.H. Pathak, "A Uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface", *Proc. IEEE*, 1974, **62**, (11), pp. 1448-1461
- [5] S.W. Lee, "Path integrals for solving some electromagnetic edge diffraction problems", *J. Math. Phys*, 1978, **19**, (6), pp. 1414-1422