

# Estudio Monte Carlo del factor de propagación sobre superficies marinas\*

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

In this paper results of a Monte Carlo simulation of the field over a rough sea surface are presented. The *Forward-Backward* method combined with *Spectral acceleration* is used here to compute the total field as a function of reception height and wind speed for a large number of surface realizations. It can be seen an interference pattern on the total field which is more notorious for low wind speeds. Another thing that can be note is that the mean of the total field become lower when roughness of the surface increases and when reception height increases.

## 1 Introducción

El estudio de la propagación sobre superficies rugosas es constantemente objeto de estudio [1]. Los métodos basados en la resolución de ecuaciones integrales, como el método de los momentos MoM, [2] proporcionan una solución rigurosa del problema. Sin embargo tiene como contrapartida el gran coste computacional asociado. Con el objetivo de minorar este coste se desarrollaron métodos iterativos como el Forward-Backward (FB) planteado en [3], que ulteriormente fue perfeccionado haciéndose todavía más rápido mediante técnicas de aceleración espectral tal y como se cuenta en [4]. Mediante estas herramientas es posible abordar con exactitud y rapidez el problema de dispersión de una superficie moderadamente rugosa como puede ser una superficie marina.

Este trabajo trata de caracterizar el comportamiento de la propagación sobre la superficie del mar. Mediante la utilización de métodos numéricos eficientes, es posible predecir de forma rigurosa el campo presente sobre dicha superficie. La superficie es generada de manera aleatoria, de manera que analizando varias realizaciones de superficies rugosas simulando cada una de ellas posibles configuraciones

de la superficie marina, será posible abordar un estudio de Monte Carlo del problema. Al mismo tiempo, será de interés estudiar la variación de la distribución de campo en función de factores como: polarización, frecuencia, altura de recepción, estado del mar, ángulo de incidencia, etc.

## 2 Método de análisis del problema

En primer lugar es necesario modelar adecuadamente el comportamiento aleatorio de la superficie marina. Para ello se utiliza el modelo de ondas gravitacionales propuesto por Pierson y Moskowitz en [5]. En segundo lugar es importante caracterizar el comportamiento eléctrico del mar, para ello, se ha empleado el modelo descrito en [6]. Por otra parte es necesario simular el problema electromagnético, mediante la utilización de algún método eficiente. En este caso se ha optado por el algoritmo FB en el que se emplea la técnica de aceleración espectral descrita en [4], para mejorar la velocidad. La utilización de este esquema permite abordar un estudio de Monte Carlo basado en la generación de un número ciertamente elevado de simulaciones. Conviene notar que los modelos utilizados en este estudio son bidimensionales. Este tipo de modelos exhiben un comportamiento similar al de los tridimensionales, sobre todo cuando la dirección del viento está sobre el plano de incidencia. Una limitación importante de los modelos bidimensionales es la imposibilidad de caracterizar la posible aparición de componentes contrapolares.

## 3 Resultados numéricos

El estudio se realiza sobre una superficie marina de 10 km de longitud. Dicha superficie es iluminada por una fuente colocada 10 m de altura sobre el origen de la superficie. La fuente está formada por 6 líneas de corriente indefinidas en dirección perpendicular al plano de incidencia. La frecuencia de trabajo es

---

\*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

de 0.3 Ghz y la onda incide con  $0^\circ$  sobre la horizontal. El margen de alturas sobre el que se calcula el campo total viene determinado por una línea vertical situada a 10 m del extremo final de la superficie, para evitar posibles efectos de difracción por bordes.

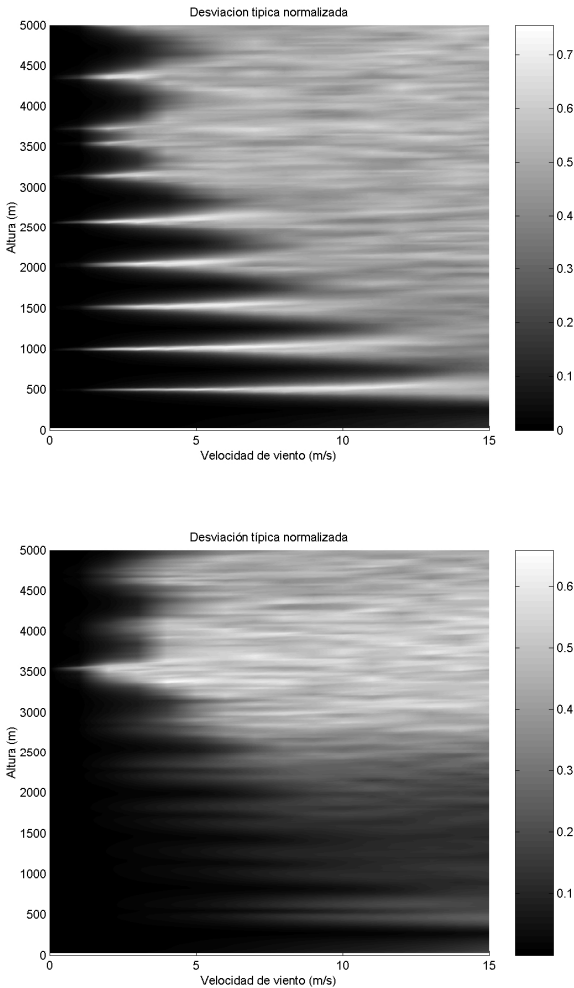


Figura 1: Desviación típica del campo como función de la altura y de la velocidad del viento para incidencia horizontal e incidencia vertical.

Para realizar la simulación estadística, se ha muestreado la velocidad del viento entre 0 y 15 m/s con un paso de 1 m/s, analizando 60 realizaciones aleatorias de la superficie del mar para cada velocidad de viento. Para cada uno de estos casos se obtiene el campo total en un margen de alturas de 0 a 5000 m con un paso de 25 m.

En las figuras se observa una representación de la varianza del campo total obtenido para todo el margen de velocidades de viento y alturas analizados, así como para ambas polarizaciones. A través de las figuras se puede observar claramente que existen dos regiones bien diferenciadas: una en la cual el valor medio de campo total es relativamente independiente de la velocidad del viento y la varianza

es baja (región coherente); y otra región en la que la media del campo total no sigue un patrón regular y la varianza denota grandes fluctuaciones (región incoherente).

## 4 Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es posible concluir que las mayores variaciones de campo total se producen, en general, para rugosidades altas de la superficie marina. También se observa que el campo total medio disminuye conforme la rugosidad de la superficie aumenta. Sin embargo, el campo total máximo es normalmente mayor que el obtenido para superficies planas.

Por otra parte, a través de la representación del campo medio es posible observar un patrón de onda estacionaria atenuada con la altura y que se va haciendo cada vez más difuso a medida que la velocidad del viento aumenta. Esto se puede explicar en términos de la gran variabilidad presente en el campo para velocidades altas de viento.

Es interesante mencionar que el estudio se ha realizado sin considerar la variabilidad temporal de la geometría marina. Un estudio posterior interesante podría incluir este nuevo caso.

## Referencias

- [1] G.S. Brown, "Special Issue on Low-Grazing-Angle backscattering from rough surfaces," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 46, pp. 2028-2031, Jan. 1998.
- [2] R.F. Harrington, *Field Computation by Moment Method*. IEEE Press, 1993.
- [3] D. Holliday, L.L. DeRaad, Jr., and G.J. St-Cyr, "Forward-backward: A new method for computing low-grazing angle scattering." *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 44, pp 722-729, May 1996.
- [4] 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 Trans. Geoscience and Remote Sensing*, vol. 38, no. 1, pp. 605-607, Jan. 2000.
- [5] W.J. Pierson and L. Moskowitz, "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A. Kitaigorodskii," *J. Geophys. Res.*, vol. 69, pp. 5181-5190, 1964.
- [6] Lawrence A. Klein and Calvin T. Swift, "An improved model for the dielectric constant of sea water at microwave frequencies," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 25, no. 1, pp 104-111, Jan 1977.