Characterization of Scattering Mechanisms in Forest Environments Illuminated by an Electromagnetic Plane Wave in the Frequency Band 100-400 MHz

Caractérisation des mécanismes de diffusion d'une onde plane par un environnement forestier dans la bande de fréquences 100-400 MHz

Sami Bellez, Cyril Dahon et Hélène Roussel

Université Pierre et Marie Curie - Paris 6
Laboratoire des signaux et systèmes (L2S)
Département de Recherche en Électromagnétisme (DRÉ)
Supélec - 3 rue Joliot-Curie
91192 Gif-sur-Yvette cedex (France)
sami.bellez@lss.supelec.fr cyril.dahon@lss.supelec.fr helene.roussel@lss.supelec.fr

Abstract

We examine the interaction of an electromagnetic plane wave of arbitrary polarization with a simplified model of a forest medium in a frequency range of 100 to 400 MHz (VHF and P). To characterize this interaction, we have developed an electromagnetic scattering model, based on the volumetric integral representation of the electric field. This model gives us, at any point, all the components of the electric scattered field in terms of amplitude and phase, and provides also the contributions of trunks and branches as well as the contributions of each scattering mechanism (single bounce, double bounce, and triple bounce). The electric scattered field from the illuminated area of the forest is the coherent summation of these mechanisms which are modeled separately. Our model can be used for many useful applications as assessing the efficiency of approximate models, studying the electromagnetic coupling between the elements of the forest, analysis of scattering mechanisms…

Résumé

Nous examinons l'interaction d'une onde plane de polarisation arbitraire avec un environnement forestier dans la bande de fréquences 100 - 400 Mhz (VHF et P). Afin de caractériser cette interaction, nous avons développé un modèle électromagnétique de diffusion basé sur la représentation intégrale de volume du champ électrique. Ce modèle permet non seulement de connaître en tout point au dessus du sol toutes les composantes du champ électrique diffracté en amplitude et phase, mais fournit aussi la contribution de chaque type de diffuseurs (troncs, branches) et permet de séparer les contributions de chaque mécanisme de diffusion (le simple rebond, le double rebond, et le triple rebond). Le champ électrique diffracté par la zone éclairée de la forêt est obtenu par la sommation cohérente de ces mécanismes qui sont modélisés séparément. Les applications de notre modèle sont multiples, il peut être utilisé pour la validation des modèles approchés, l'étude de couplages électromagnétiques entre les éléments de la forêt, l'analyse physique des mécanismes de diffusion …

Mots clés-Diffusion électromagnétique, forêt, mécanismes de diffusion, fonction de Green
Index Terms-Electromagnetic scattering, forest, scattering mechanisms, Green's function

Introduction

La modélisation électromagnétique de la diffusion par les forêts permet de faire le lien entre les mesures recueillies par un radar spatioporté ou aéroporté et les paramètres de la forêt comme la biomasse [1], la hauteur des arbres [2] et la densité de la forêt [3], en simulant l'interaction du signal radar avec un milieu forestier dans une bande de fréquence considérée. Les bandes de fréquences utilisées pour l'observation de forêts sont souvent des fréquences basses (bande VHF, P ou C) qui permettent à l'onde d'interagir avec les parties de la forêt localisées sous la canopée, donnant ainsi une information sur les zones non visibles. Afin de mieux interpréter les images ou les données radar, nous avons développé un modèle électromagnétique de diffusion basé sur la représentation intégrale de volume du champ électrique permettant de « prédire » non seulement le champ électrique diffusé par une parcelle de forêt comme proposé dans [4] mais aussi la contribution des troncs et des branches ainsi que la contribution de mécanismes de diffusion au champ diffusé par la forêt. Ce modèle est construit en additionnant trois mécanismes de diffusion qui sont modélisés séparément. La décomposition en mécanismes de diffusion fait intervenir l'onde électromagnétique plane incidente et la fonction de Green de deux milieux diélectriques semi-infinis.

1. Le Modèle

1.1 Représentation de la forêt

Nous utilisons une représentation relativement simple de la forêt mais justifiée par la bande de fréquence considérée. Le milieu de référence est composé de deux milieux diélectriques semi-infinis séparés par une interface plane à z = 0. Dans ce milieu de référence nous plaçons les arbres qui sont modélisés par des parallélépipèdes diélectriques verticaux et inclinés qui représentent respectivement les troncs et les branches primaires. Les feuilles, les branches secondaires et la rugosité du sol sont ignorées car dans la bande de fréquence considérée leurs contributions sont supposées négligeables.

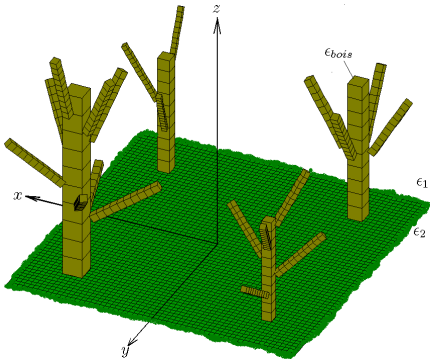

Figure 1 : géométrie de la forêt

1.2 Les mécanismes de diffusion

Le champ de référence est la somme des champs incident et réfléchi par le sol (en absence des arbres). La fonction de Green se décompose en deux parties : d'une part la fonction de Green de l'espace libre appelée aussi partie singulière et d'autre part, la partie régulière de la fonction de Green qui correspond à la contribution du sol. Ainsi, le champ électrique diffusé peut se décomposer en trois mécanismes de diffusion (le simple rebond, le double rebond, et le triple rebond) comme l'indique la figure 1.

1.3 Calcul du champ diffracté

Pour le calcul du champ diffracté, nous utilisons l'équation intégrale en volume du champ électrique. Elle est résolue par une méthode des moments en discrétisant les troncs et les branches en

en cellules élémentaires cubiques de côtés de l'ordre de $\lambda_{bois}/10$ où λ_{bois} est la longueur d'onde dans les troncs et les branches [4].

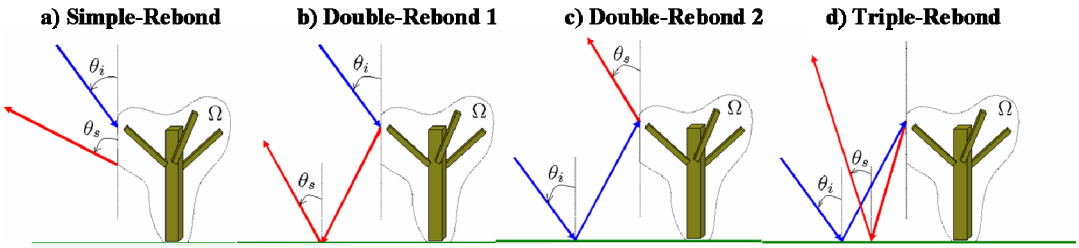

Figure 2 : Représentation des mécanismes de diffusion, θ_i et θ_s sont respectivement les angles d'incidence et de diffusion. Dans le cas monostatique ces deux angles sont égaux.

Dans notre traitement, nous commençons dans un premier temps par calculer le champ de référence pour chaque mécanisme de diffusion. Celui-ci est égal au champ incident dans le cas des mécanismes de simple (Fig. 2-a) et de double-rebond (Fig. 2-b) et au champ réfléchi pour les mécanismes de double (Fig. 2-c) et de triple rebond (Fig. 2-d). La seconde étape consiste à calculer le champ total dans les arbres en intégrant toutes les interactions possibles pour chaque mécanisme. Enfin, le champ diffusé en un point donné au-dessus du sol est obtenu par la sommation cohérente des contributions des mécanismes de diffusion.

2. Application à l'analyse physique des mécanismes de diffusion

Pour commencer notre analyse nous avons choisi une configuration de forêt simple, représentée par un arbre posé sur un sol parfaitement conducteur. L'arbre est composé d'un tronc de dimensions $\lambda_1/5$ X $\lambda_1/5$ X $3\lambda_1$ auquel sont accrochées six branches inclinées d'un angle égal à 30° par rapport à la verticale et distribuées régulièrement en azimut. Les branches de dimensions identiques $0.15\lambda_1$ X $0.15\lambda_1$ X $1.2\lambda_1$ sont placées à $1.5\lambda_1$ du sol. La permittivité relative de l'arbre est choisie égale à 6+j0.3. La scène est éclairée par une onde électromagnétique plane de fréquence 300 MHz et d'amplitude normalisée à 1 V/m.

Nous simulons le champ électrique diffusé par le tronc et les six branches ainsi que les mécanismes de diffusion pour les différentes polarisations (HH, VV et HV) en mode monostatique. Dans ce document, nous ne présentons que la polarisation HV (la polarisation VH est identique). En comparant les figures 3, 4 et 5 nous pouvons constater que, pour cette polarisation, l'amplitude du champ diffusé est majoritairement due aux branches. Le tronc ne contribue pas à la polarisation croisée car il est vertical et ne dépolarise pas le champ. Nous pouvons dire aussi que la contribution des mécanismes de diffusion est fortement liée à l'angle d'incidence. Pour les polarisations VV et HH, nous avons observé que le double rebond du tronc était le mécanisme dominant pour tous les angles d'incidence.

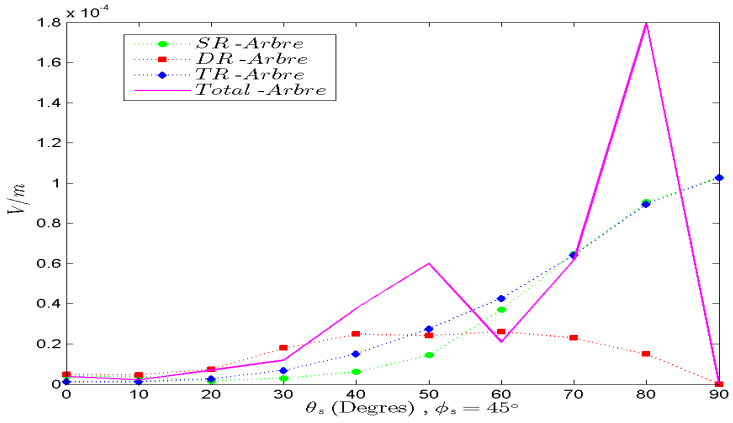

Figure 3: L'amplitude du champ diffusé par l'arbre et la contribution des mécanismes de diffusion en fonction de l'angle d'incidence en polarisation HV .

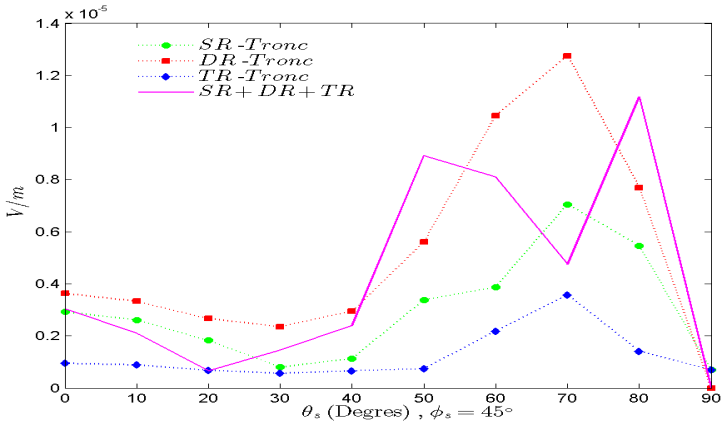

Figure 4: la contribution du tronc à l'amplitude de champ diffusé par l'arbre et les trois mécanismes de diffusion du tronc en fonction de l'angle d'incidence en polarisation HV

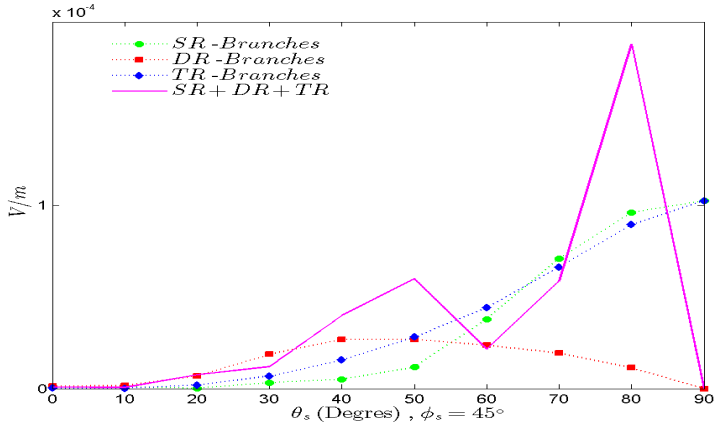

Figure 5: la contribution des branches à l'amplitude au champ diffusé par l'arbre et les trois mécanismes de diffusion des branches en fonction de l'angle d'incidence en polarisation HV

3. Application à l'étude des couplages électromagnétiques dans la forêt

Nous menons aussi une étude sur les effets de couplages entre les éléments d'une forêt en basse fréquence. Notre modèle nous donne la possibilité de négliger un ou plusieurs types couplages en modifiant la fonction de Green. En comparant les deux solutions (exact et approchée), nous pouvons juger si le couplage est important ou pas.

Conclusion

Nous avons développé un modèle permettant de caractériser d'une part le champ diffusé par une forêt illuminée par une onde électromagnétique plane dans la bande de fréquence 100-400 MHz et d'autre part les mécanismes de diffusion qui permettent de mieux comprendre la propagation et l'interaction d'une onde avec un milieu forestier.

Références bibliographiques

1- E. S. Kasischke, N. L. Christensen, Jr., and L. L. Bourgeau-Chavez, "Correlating radar backscatter with components of biomass in loblolly pine forests", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 33, pp. 643–658, May 1995.
2- J. Fransson, F. WaLter, and L. Ulander, "Estimation of forest parameters using CARABAS-II VHF SAR data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 38, pp. 720–727, March 2000.
3- P. Liang, L. E. Pierce, and M. Moghaddam, "Radiative transfer model for microwave bistatic scattering from forest canopies," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, pp. 2470–2483, November 2005.
4- Y. Ziade, H. Roussel, M. Lesturgie, and W. Tabbara, "A coherent model of forest propagation - Application to detection and localization of targets using the DORT method", *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 56, pp. 1048–1057, April 2008.