Propagation 3D par Méthode Split-Step Fourier pour la Prédiction de la Couverture de Systèmes Radar

Hang Zhou, Rémi Douvenot, et Alexandre Chabory
ENAC, TELECOM-EMA, F-31055 Toulouse, France.
Université de Toulouse, F-31400 Toulouse, France.
Emails : hang.zhou@recherche.enac.fr,
remi.douvenot@recherche.enac.fr,
alexandre.chabory@recherche.enac.fr

***Résumé*—Dans le domaine du radar, il existe un fort besoin en modélisation électromagnétique pour prédire la couverture des systèmes. Ces outils de modélisation se veulent de plus en plus précis en prenant en compte des phénomènes de plus en plus complexes. Le présent article présente un outil de simulation qui permet une modélisation des effets de propagation 3D par une méthode spectrale de type split-step.**

I. Introduction

Les méthodes "split-step" de type équation parabolique sont d'un usage courant pour la modélisation de la propagation électromagnétique à longue distance [1], [2]. Les applications sont nombreuses en radar : prédiction de la portée, modélisation des anaprop, aide à la détection/classification de cibles, etc. Ces méthodes permettent notamment de prendre en compte le diagramme de l'antenne, le sol, et l'atmosphère. Par contre, l'énergie rétro-diffusée est négligée, et la méthode ignore classiquement les effets 3D.

Ces dernières années, des méthodes équation parabolique en 3 dimensions ont été développées [2], [3], [4], [5]. Malheureusement, ces algorithmes sont encore très gourmands en terme de ressources informatiques, et sont donc rarement utilisés pour des besoins opérationnels. De plus, ils sont basés sur une méthode de différences finies nécessitant des pas de calcul très fins.

En 2013, Chabory *et al.* [6] ont posé la théorie de la modélisation de la propagation électromagnétique en 3D dans le domaine spectral en coordonnées cylindriques (figure 1). Les effets du sol et de l'atmosphère sont pris en compte dans le domaine spatial, comme pour la méthode 2D.

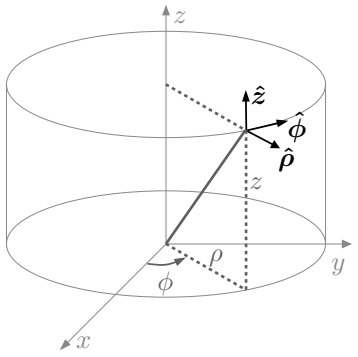


FIGURE 1. Coordonnées cylindriques.

Des techniques similaires existent dans le domaine acoustique, *e.g.* [7], [8]. Ces méthodes scalaires doivent cependant être adaptées au problème vectoriel par la prise en compte des polarisations TE et TM des champs électromagnétiques.

II. Configuration du Cas Étudié

Le cas présenté ici et un "toy-problem" pour illustrer la prise en compte d'une propagation 3D du champ électromagnétique. L'atmosphère est supposée homogène, le relief inexistant et les conditions limites métalliques.

Le champ initial est composé de deux sources gaussiennes de largeur 1 m en altitude, et 6° en azimut, centrées sur les azimuts 270° et 300° (cf. figure 4). L'une est déphasée linéairement sur la surface de ce cylindre. Ainsi, sa direction de propagation ne suit pas l'axe $\hat{\boldsymbol{\rho}}$ (le décalage est d'environ 30°).

La modélisation de ce problème avec une méthode 2D nécessiterait des simulations dans l'axe de chaque faisceau. Les résultats seraient ensuite additionnés, par application du principe de superposition. Ici, les deux faisceaux sont pris en compte dans le même calcul de propagation.

La fréquence choisie pour la simulation est de 300 MHz (longueur d'onde $\lambda = 1$ m). Le pas en distance est de 0.5 m, pour une distance de 80 m, soit $N_\rho = 160$ points en distance. Verticalement, le pas est de 0.5 m sur une hauteur de 80 m, soit $N_z = 160$. En azimut, $N_\phi = 720$ points sont utilisés, pour un pas angulaire sur le cercle le plus lointain de 0.70 m.

III. Résultat de la Simulation

Les résultats de la simulation sont montrés en figure 2 pour le rendu 3D, et en figure 3 pour une vue de dessus. On constate effectivement la propagation des deux champs gaussiens dans des directions différentes. Les interférences sont bien rendues quand les deux champs se croisent. Les directions de propagation des deux sources sont soulignées par les lignes blanches sur la figure 3.

On peut s'intéresser plus spécifiquement au champ initial (figure 4) et au champ final (figure 5) représentés en dBV/m en fonction de l'altitude et de l'azimut. On constate bien que la gaussienne de gauche sur le cylindre initial s'est décalée au cours de la propagation, et qu'il y a une interaction entre les deux champs.

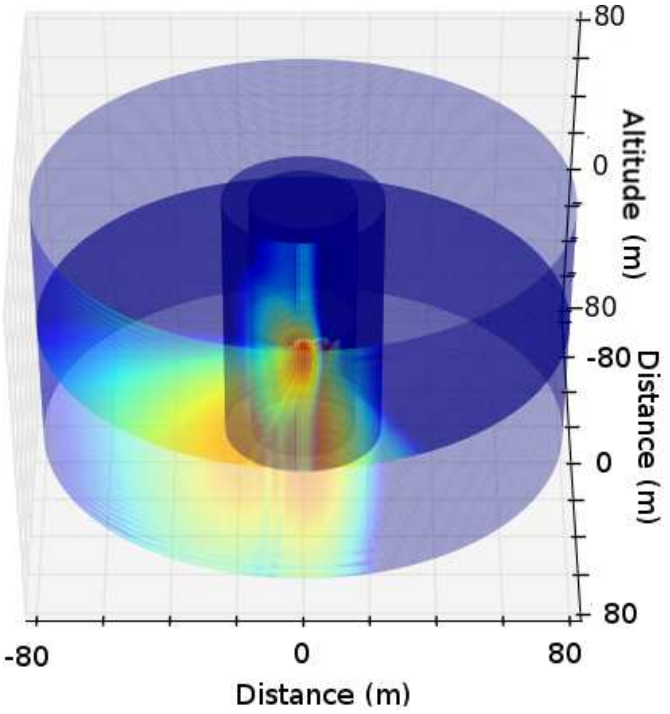


FIGURE 2. Champ électrique (dBV/m) en 3D, projeté sur les 3 cylindres et les 3 plans horizontaux. L'échelle de couleurs court de 0 à -100 dB.

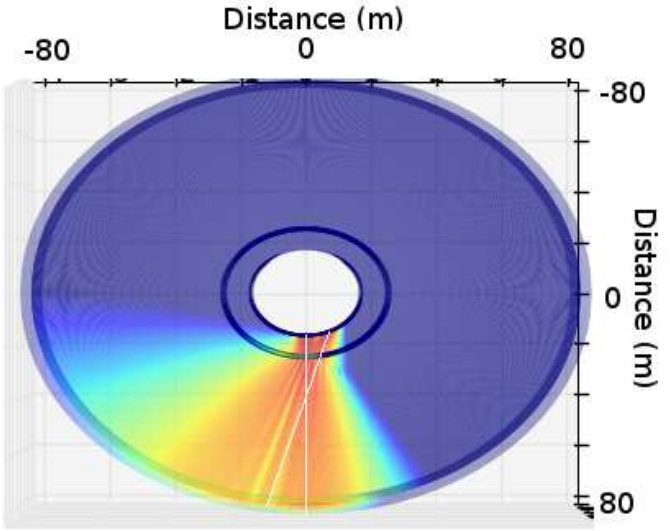


FIGURE 3. Champ électrique (dBV/m) vu du dessus. Les directions de propagation sont en blanc. L'échelle de couleurs court de 0 à -100 dB.

Le champ dans le domaine spectral 3D est obtenu par deux transformées de Fourier rapides en azimut et en altitude. La propagation en distance demande un temps de calcul linéaire à celle-ci. Par conséquent, la complexité du code est en $\mathcal{O}(N_\rho N_z N_\phi \log(N_z + N_\phi))$.

IV. CONCLUSION

Le présent article introduit le premier exemple de la propagation en 3D d'un champ électromagnétique par la méthode de split-step Fourier avec la formulation exacte de l'opérateur défini par Chabory *et al.* [6].

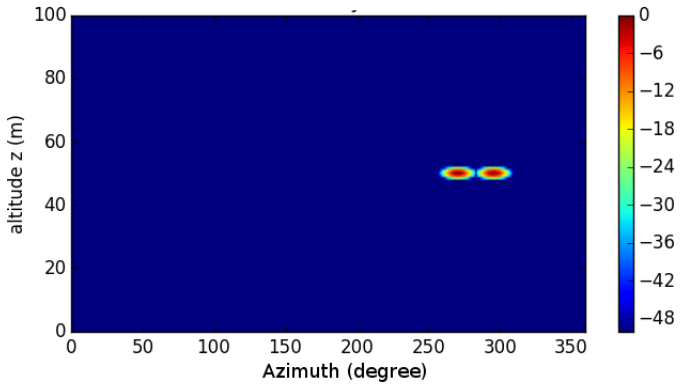


FIGURE 4. Champ sur le premier cylindre en dBV/m.

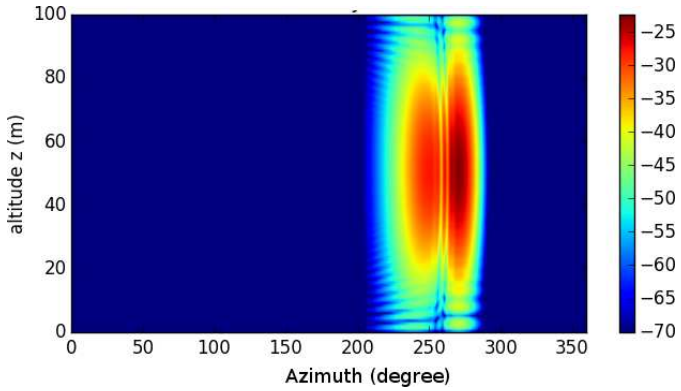


FIGURE 5. Champ sur le cylindre final en dBV/m.

Notons que le présent article introduit des résultats préliminaires, et que de nombreuses améliorations doivent encore être apportées avant de considérer le code comme opérationnel. En particulier, le relief et les effets de dépolarisation ne sont pas encore considérés. De même, des méthodes d'accélération des calculs sont envisagées.

RÉFÉRENCES

[1] J. R. Kuttler and D. G. Dockery, "Theoretical description of the parabolic approximation/Fourier split-step method of representing electromagnetic propagation in the troposphere," *Radio Science*, vol. 26, no. 2, pp. 381–393, 1991.

[2] M. Levy, *Parabolic Equation Methods for Electromagnetic Wave Propagation*, ser. IEE electromagnetic waves 45. IET, 2000.

[3] A. Zaporozhets and M. Levy, "Modeling of radiowave propagation in urban environment with parabolic equation method," *Electronics Letters*, vol. 32, p. 1615–1616, 1996.

[4] R. Awadallah, J. Z. Gehman, J. R. Kuttler, and M. H. Newkirk, "Modeling radar propagation in three-dimensional environments," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, vol. 25, pp. 101–111, 2004.

[5] A. Ginestet, V. Fabbro, and J. Sokoloff, "Comparison of lateral terrain variation effects between parabolic wave equation and physical optics models," in *LAPC (Loughborough Antennas and Propagation Conference)*, Loughborough (UK), 2006.

[6] A. Chabory, C. Morlaas, and R. Douvenot, "An exact vectorial spectral representation of the wave equation for propagation over a terrain in 3D," in *APWC*, September 2013, pp. 907–910.

[7] K. B. Smith, “A three-dimensional propagation algorithm using finite azimuthal aperture,” *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 106, pp. 3231–3239, 1999.

[8] Y.-T. Lin, T. F. Duda, and A. E. Newhall, “Three-dimensional sound propagation models using the parabolic-equation approximation and the split-step fourier method,” *J. Comp. Acous.*, vol. 21, p. 24, 2013.