

Méthodes de synthèse de formes appliquées à la conception d'antennes planaires et d'antennes lentilles diélectriques 3-D

Renaud LOISON, IETR, Rennes

Ronan SAULEAU, IETR, Rennes

Raphaël GILLARD, IETR, Rennes

Délia ARNAUD-CORMOS, IETR, Rennes

Gaël GODI, IETR, Rennes

Introduction

Dans les systèmes utilisant les ondes électromagnétiques comme support, les antennes jouent un rôle fondamental. Elles assurent la conversion d'une propagation guidée vers une propagation en espace libre et vice-versa. La conception de ces dispositifs s'appuie sur diverses techniques d'analyse bien maîtrisées visant à résoudre numériquement les équations de Maxwell pour le problème considéré. La synthèse automatique ou optimisation reste cependant un challenge et de nombreux travaux de recherche sont menés afin de mettre au point des outils de synthèse efficaces en terme de coût numérique et de précision des résultats obtenus. Nous présentons dans ce papier des techniques d'optimisation de formes développées à l'IETR pour la conception d'antennes imprimées d'une part et d'antennes lentilles d'autre part.

Optimisation d'antennes planaires

Les antennes imprimées sont des dispositifs constitués de gravures métalliques reposant aux interfaces d'un empilement de substrats diélectriques. Réalisées avec des technologies identiques à celles des circuits imprimés, elles sont potentiellement bas coût, légères et d'encombrement limité. Pour ces raisons, elles sont utilisées dans de nombreux systèmes de communication tels que la téléphonie mobile, les systèmes multimédia sans fil (WIFI, Bluetooth) ou encore les communications spatiales. Elles trouvent également des applications dans certains systèmes radar ou de télédétection et sont utilisées dans des bandes de fréquences allant de 1GHz jusqu'aux bandes millimétriques.

La conception de ces antennes est effectuée à l'aide d'outils de CAO basés sur la résolution numérique des équations de Maxwell. Pour cette modélisation "rigoureuse" des antennes, les méthodes les plus utilisées sont les éléments finis, la résolution d'équations intégrales à l'aide d'une méthode type Galerkin (méthode des moments) ou encore la technique des différences finies dans le domaine temporel.

Afin de satisfaire des spécifications de plus en plus contraignantes (bandes de fonctionnement, rayonnement, encombrement), les concepteurs montrent un intérêt grandissant pour les techniques de synthèse automatique. Pour les antennes imprimées, les degrés de liberté correspondent aux paramètres géométriques de l'antenne et les objectifs portent sur les caractéristiques radio-électriques. La difficulté principale dans la mise en œuvre d'une optimisation électromagnétique (EM) réside dans le coût numérique de la simulation EM située à l'intérieur de la boucle d'optimisation.

Après un rapide tour d'horizon des solutions proposées dans la littérature [1][2], nous détaillerons une méthode d'optimisation électromagnétique développée au laboratoire [3]. L'originalité de l'approche se situe dans la méthode d'analyse EM utilisée. Une méthode multi-structures basée sur la méthode des moments a été développée spécifiquement pour accélérer la boucle d'optimisation. La méthode multi-structures est couplée avec un algorithme génétique et le processus d'optimisation complet s'avère très efficace en terme de temps de calcul. Le codage discret des antennes est directement lié au maillage rectangulaire des gravures métalliques, il en résulte des antennes aux formes non conventionnelles. Un exemple d'antenne optimisée est donné sur la figure 1.

Optimisation d'antennes lentilles 3-D

Les antennes lentilles intégrées constituent une classe particulière d'antennes en technologie quasi-optique. Par analogie avec l'optique, elles sont typiquement constituées, dans leur version la plus simple, d'une source primaire du type antenne imprimée et d'un système focalisant diélectrique (lentille). Ce type

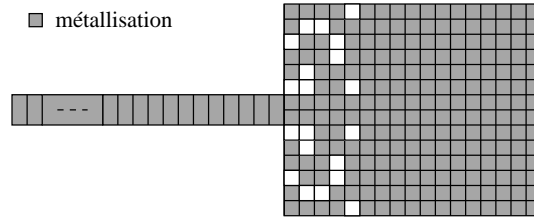


Figure 1: Exemple d'antenne imprimée issue de l'algorithme d'optimisation EM.

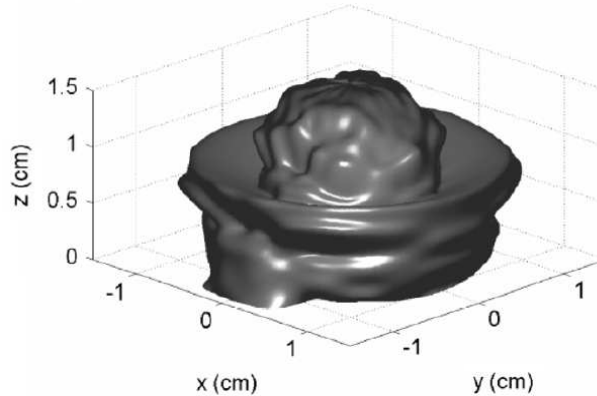


Figure 2: Lentille compacte pour communication multimédia par satellite en bande Q (47,2-50,2 GHz). La lentille est réalisée en Teflon ($\epsilon_r = 2,1$).

d'antennes est largement utilisé aux fréquences millimétriques ($f > 30\text{GHz}$) pour de nombreuses applications telles que les radars automobiles d'assistance à la conduite (77GHz) et les systèmes de communication haut débit (intra-bâtiment ou en environnement extérieur) en milieu professionnel ou domestique (40GHz, 60GHz) [4].

Les spécifications antennaires à satisfaire (rayonnement, encombrement, bande passante, fonctionnement multi-faisceaux, commutation de faisceaux ou dépointage électronique, etc.) dépendent des applications visées. Par conséquent, il est nécessaire de mettre en place des outils de conception dédiés qui doivent tenir compte des spécificités propres aux antennes lentilles : dispositif 3-D, taille variée (de l'ordre de la longueur d'onde dans le vide (λ_0) ou pouvant atteindre une dizaine de λ_0 , forme arbitraire, matériaux constitutifs multiples.

L'une des problématiques à résoudre consiste en la détermination optimale de la forme 3-D de la lentille, étant donné (i) les caractéristiques intrinsèques de la source primaire (source unique, réseau, etc.) et (ii) le gabarit en rayonnement fixé. Compte tenu de la complexité du problème à résoudre, les méthodes actuelles de conception reposent souvent sur une formulation asymptotique couplée à des méthodes d'optimisation locale [5] ou globale. Quelques travaux récents mentionnent aussi l'utilisation de techniques intégrales, mais uniquement dans le cas 2-D [6].

Nous présenterons quelques méthodes numériques mises en œuvre pour résoudre le problème de synthèse de formes : (i) formulation par optique géométrique (équation de Monge-Ampère) et optimisation locale par gradient conjugué, (ii) optimisation directe par couplage d'un noyau de calcul "optique physique" à un algorithme génétique. Quelques validations expérimentales seront aussi proposées ; un exemple d'antenne lentille conçue pour les futurs systèmes de communication multimédia par satellite est représenté figure 2 : il illustre la complexité des formes qui peuvent être générées et justifie la nécessité de mettre en place de outils d'optimisation sous contraintes. Les besoins et tendances seront enfin définis.

Références

- [1] J.M. JOHNSON, Y. RAHMAT-SAMII, *Electromagnetic optimization by genetic algorithms*, Wiley series in microwave and optical engineering, John Wiley & Sons, 1999.

- [2] J.W. BANDLER, R.M. BIERNACKI, S.H. CHEN, P.A. BROBELNY, R.H. HEMMERS, *Space mapping technique for electromagnetic optimization*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 42, no. 12, pp. 2536-2544, Dec. 1994.
- [3] D. CORMOS, R. LOISON, R. GILLARD, *Fast optimization and sensitivity analysis of nonintuitive planar structures*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 53, no. 6, pp. 2019-2025, June 2005.
- [4] G. GODI, R. SAULEAU, D. THOUROUDE, *Performance of reduced size substrate lens antennas for millimetre-wave communications*, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 53, no. 4, pp. 1278-1286, April 2005.
- [5] R. SAULEAU, B. BARÈS, *A complete procedure for the design and optimization of arbitrarily-shaped integrated lens antennas*, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 54, no. 4, pp. 1122-1133, April 2006.
- [6] A.V. BORISKIN, S.V. BORISKINA, G. GODI, R. SAULEAU, A.I. NOSICH, *Small hemielliptic dielectric lens antenna analysis: boundary integral equations vs. GO and PO*, 35th European Microwave Conference, EuMc-2005, Paris, France, pp. 341-344, 3-7 Oct. 2005.

Renaud LOISON – Renaud.Loison@insa-rennes.fr

IETR, INSA, 20 avenue des buttes de Coësmes, CS14315, 35043 Rennes Cedex

Ronan SAULEAU – Ronan.Sauleau@univ-rennes1.fr

IETR, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, Bât 11 D, 263 av. du Général Leclerc, 35042 Rennes Cedex

Raphaël GILLARD – Raphael.Gillard@insa-rennes.fr

IETR, INSA, 20 avenue des buttes de Coësmes, CS14315, 35043 Rennes Cedex

Délia ARNAUD-CORMOS – Delia.Cormos@insa-rennes.fr

IETR, INSA, 20 avenue des buttes de Coësmes, CS14315, 35043 Rennes Cedex

Gaël GODI – Gael.Godi@univ-rennes1.fr

IETR, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, Bât 11 D, 263 av. du Général Leclerc, 35042 Rennes Cedex