


Nouvelles approches d'optimisation de formes pour la synthèse d'antennes et de circuits hyperfréquences

Bila Stéphane, stephane.bila@xlim.fr
Tél : 0555457376
Tél : 0


Equipe : MACAO, Limoges

Mots clés : Optimisation de formes, électromagnétisme, hyperfréquences, antennes

Résumé de la thèse :

 L'utilisation d'outils de CAO s'est fortement répandue pour la modélisation et le dimensionnement des dispositifs hyperfréquences et des antennes. Les outils de modélisation diffusés aujourd'hui, sont basés sur des modèles fiables, capables de prédire précisément le comportement du dispositif en fonction de ses caractéristiques physiques et géométriques. Le dimensionnement à l'aide de ces outils est alors effectué par le concepteur qui se fie essentiellement à son expérience ou à des modules d'optimisation internes à l'outil de CAO. Les techniques d'optimisation classiquement implémentées permettent d'améliorer les performances en jouant sur les paramètres géométriques ou physiques de la structure, mais le concepteur peut se trouver limité par la géométrie fixée dès le départ. Les méthodes d'optimisation de formes répondent à ce besoin en proposant une nouvelle description de la structure, basée sur les contours ou la topologie, élargissant ainsi l'espace de conception pour accéder potentiellement à des dispositifs plus performants.

L'objectif de cette thèse est d'appliquer une nouvelle technique qui utilise un paramétrage de la forme plus efficace que les méthodes actuelles, permettant ainsi de réduire le nombre de variables servant à décrire la forme de la structure. Ce paramétrage plus efficace doit donc relaxer le problème d'optimisation et autoriser généralement la recherche de solutions locales ou globales. Cette technique en cours de développement et de test doit permettre d'étendre le champ d'application de l'optimisation de formes grâce à la formulation de critères en termes de paramètres S et de champ électromagnétique, ce qui ouvre la porte à l'optimisation du rayonnement d'une antenne ou à la tenue en puissance d'un dispositif hyperfréquence.

 The use of CAD tools has become widespread for the modeling and dimensioning of microwave devices and antennas. The modeling tools distributed today are based on reliable models capable of accurately predicting the behavior of the device according to its physical and geometrical characteristics. The dimensioning using these tools is then carried out by the designer who relies essentially on his experience or on optimization modules implemented in its CAD tool. The optimization techniques conventionally implemented allow improving the performances by playing on the geometrical or physical parameters of the structure, but the designer can be limited by the geometry fixed originally. Shape optimization methods answer to this demand by providing a new description of the structure, based on contours or topology, thus expanding the design space to potentially access more efficient devices.

The aim of this thesis is to apply a new technique that uses a more efficient shape parameterization than current methods, thus reducing the number of variables used to describe the shape of the structure. This more efficient parameterization must therefore relax the optimization problem and generally allow the search for local or global solutions. This technique, which is being developed and tested, should extend the field of application of shape optimization by formulating criteria in terms of S parameters and electromagnetic fields,

which opens the door to optimization of the radiation of an antenna or of the power handling of a microwave device.

Objectifs :

Développement et test de méthodes d'optimisation de formes appliquées à la CAO de circuits hyperfréquences et d'antennes

Description complète du sujet de thèse :

Objectifs et résultats attendus

L'objectif de cette thèse est d'exploiter une nouvelle technique d'optimisation de formes pour la conception assistée par ordinateur (CAO) de circuits hyperfréquences et d'antennes. Cette technique doit être couplée avec un logiciel de simulation électromagnétique permettant la modélisation des dispositifs, définissant ainsi un outil de CAO capable d'optimiser automatiquement leur forme.

L'utilisation d'outils de CAO s'est fortement répandue pour la modélisation et le dimensionnement des dispositifs hyperfréquences et des antennes. Les outils de modélisation diffusés aujourd'hui, sont basés sur des modèles fiables, capables de prédire précisément le comportement du dispositif en fonction de ses caractéristiques physiques et géométriques. Le dimensionnement à l'aide de ces outils est alors effectué par le concepteur qui se fie essentiellement à son expérience ou à des modules d'optimisation internes à l'outil de CAO.

Les techniques d'optimisation classiquement implémentées permettent d'améliorer les performances en jouant sur les paramètres géométriques ou physiques de la structure, mais le concepteur peut se trouver limité par la géométrie fixée dès le départ. Les méthodes d'optimisation de formes répondent à ce besoin en proposant une nouvelle description de la structure, basée sur les contours ou la topologie, élargissant ainsi l'espace de conception pour accéder potentiellement à des dispositifs plus performants.

Le développement de méthodes d'optimisation de formes applicables à la CAO de dispositifs hyperfréquences demande la mise au point de techniques évoluées, capables de paramétrer une forme quelconque de manière efficace et d'identifier une solution optimale avec un nombre limité d'évaluations de la fonction d'adaptation (c'est-à-dire d'analyses électromagnétiques).

L'objectif de cette thèse est d'appliquer une nouvelle technique qui utilise un paramétrage de la forme plus efficace que les méthodes actuelles, permettant ainsi de réduire le nombre de variables servant à décrire la forme de la structure. Ce paramétrage plus efficace doit donc relaxer le problème d'optimisation et autoriser généralement la recherche de solutions locales ou globales. Cette technique en cours de développement et de test doit permettre d'étendre le champ d'application de l'optimisation de formes grâce à la formulation de critères en termes de paramètres S et de champ électromagnétique, ce qui ouvre la porte à l'optimisation du rayonnement d'une antenne ou à la tenue en puissance d'un dispositif hyperfréquence.

Contexte (état de l'art, positionnement)

Différents travaux de recherche sont diffusés dans la littérature sur le développement de techniques d'optimisation de formes appliquées à la conception électromagnétique de dispositifs hyperfréquences et d'antennes [1]-[5]. Au laboratoire XLIM, les travaux de thèse d'Atousa Assadi-Haghi [1], d'Hassan Khalil [2] et plus récemment de Najib Mahdi [3] ont

porté sur le développement de techniques d'optimisation de formes (gradient topologique, courbes de niveaux, algorithmes génétiques) et leur application à la CAO de dispositifs hyperfréquences. Ces techniques ont montré un potentiel intéressant pour repousser les limites de conception habituelles et elles ont été regroupées dans une librairie de méthodes d'optimisation. Le défaut des techniques citées précédemment est que le paramétrage de la forme s'appuie sur une discrétisation fine de la structure, ce qui engendre un nombre de variable très conséquent dès que l'on veut traiter un dispositif hyperfréquence tel qu'un coupleur ou un filtre.

Une action de R&T, en cours, propose de changer de paramétrage pour réduire d'un, voire de plusieurs ordres de grandeur, le nombre de variables. Plus précisément, cette approche repose sur l'utilisation de courbes de Bézier par morceaux pour décrire la frontière de la forme à optimiser. Cette dernière est alors définie par les seuls points de contrôle des patches de Bézier, limitant ainsi le nombre de variables d'optimisation. Par ailleurs, cette méthode rend inutile la phase de remaillage de la forme comme ce peut être le cas dans une approche comme celle des courbes de niveaux.

L'action de R&T est effectuée dans le cadre de la thèse de Pierre Bonnelie, co-financée par la Région Limousin et le Labex Sigma-Lim, et qui se termine fin 2016. Le post-doctorat de Satafa Sanogo, d'une durée d'un an et financé intégralement par la Région Limousin, est également venu en support de cette action.

L'algorithme, développé suivant cette nouvelle approche, doit être intégré avec deux solveurs électromagnétiques, d'une part le logiciel libre FreeFem++ et d'autre part le logiciel commercial CST, référence dans le domaine des hyperfréquences. L'action de R&T comporte dans sa dernière année des phases de validation de l'algorithme et la réalisation expérimentale de prototypes.

Activités envisagées au cours de la thèse

La thèse est proposée comme une suite à l'action de R&T avec, au-delà de l'efficacité accrue attendue avec cette nouvelle approche, la possibilité de considérer des critères en termes de paramètres S mais également de champ électromagnétique, ce que ne permettaient pas les techniques développées précédemment. Cette ouverture permettra en particulier de considérer des problèmes d'optimisation de formes sur le rayonnement d'une antenne, par exemple pour synthétiser des antennes électriquement petites optimisées en efficacité, ce qui reste un problème complexe à appréhender aujourd'hui.

D'autre part, le champ électromagnétique peut engendrer d'autres phénomènes physiques qu'il sera possible de considérer. Il deviendra notamment possible de considérer des problèmes d'optimisation multicritères prenant en compte des objectifs de tenue en puissance pour les dispositifs hyperfréquences.

La réalisation des démonstrateurs, qui pourront être de formes relativement complexes, pourra être effectuée par des technologies de fabrication additive. En effet l'optimisation de formes n'a de sens que si les formes optimisées peuvent être fabriquées. Les technologies de fabrication/impression 3D pour les dispositifs hyperfréquences sont en plein essor et elles semblent appropriées pour réaliser des circuits et des antennes céramiques ou métalliques en 3D avec des résolutions de plus en plus fines.

La thèse possède un caractère applicatif prononcé. Le profil du doctorant recherché est donc plus du domaine de l'électromagnétisme et des hyperfréquences, mais des compétences en mathématiques appliquées et en calcul numérique seront évidemment un plus.

- [1] A. Assadi-Haghi, "Contribution au développement de méthodes d'optimisation structurelle pour la conception assistée par ordinateur de composants et de circuits hyperfréquences", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2007.
- [2] H. Khalil, "Développement des techniques d'optimisation de forme pour la conception de composants hyperfréquences", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2009
- [3] N. Mahdi, "Développement d'une bibliothèque de techniques d'optimisation de formes pour la conception assistée par ordinateur de composants et de circuits hyperfréquences", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2012
- [4] S. Zhou, W. Li, Q. Li, "Level-set based topology optimization for electromagnetic dipole antenna design", Journal of Computational Physics 229 (2010).
- [5] N. Uchida, S. Nishiwaki, K. Izui, M. Yoshimura, T. Nomura, and K. Sato, "Simultaneous shape and topology optimization for the design of patch antennas", 3rd European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2009, 2009.

Compétences à l'issue de la thèse :

CAO, conception de circuits hyperfréquences et d'antennes, caractérisation de circuits hyperfréquences et d'antennes

Présentation de l'équipe d'accueil :

L'équipe MACAO (axe Systèmes RF d'XLIM) regroupe des chercheurs et enseignants-chercheurs dans le domaine des hyperfréquences.

Financement : Lot1: Sujet financé sur crédits institutionnels (sujets fléchés)

Spécialité de Doctorat : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

Domaine de compétences principal: Informatique-Electronique

Domaine de compétences secondaire: Mathématiques

Candidat :

Compétences souhaitées : Ingénieur ou Master avec spécialité électromagnétisme / techniques hyperfréquences

Des compétences en calcul numérique et/en mathématiques appliquées seront appréciées

Conditions restrictives de candidature : NA

Date Limite de candidature : 8 Juin 2017 - 18h