

ED STIC - Proposition de Sujets de Thèse pour la campagne d'Allocation de thèses 2011

Titre du sujet : Méthodes mathématiques pour la synthèse de multiplexeurs

Mention de thèse : ATSI

HDR Directeur de thèse inscrit à l'ED STIC : Olivi Martine

Co-encadrant de thèse éventuel :

Nom : Seyfert

Prénom : Fabien

Email : fabien.seyfert@sophia.inria.fr

Téléphone :

Email de contact pour ce sujet : martine.olivi@sophia.inria.fr

Laboratoire d'accueil : INRIA

Description du sujet :

L'Equipe Projet APICS développe des algorithmes pour la synthèse de filtre micro-ondes. Il s'agit de filtres en guides d'ondes (électromagnétiques) destinés aux applications spatiales. Ces filtres (dits à bande étroite) ont dans une bande de fréquence étroite des caractéristiques fréquentielles qui ressemblent à celles des réactances idéales inductives ou capacitives. Ils sont modélisés dans cette bande par des circuits LC interconnectés et représentés par un quadripôle (2-ports). La matrice de répartition ou matrice S de ce quadripôle est un objet central en théorie du filtrage. Elle décrit en terme d'ondes (transmises ou réfléchies) les transferts de puissance d'un port à l'autre du quadripôle.

D'un point de vue mathématique, la matrice de répartition est une matrice de fonctions rationnelles dont les propriétés (position des pôles, symétrie,...) traduisent le caractère non-dissipatif et réciproque des filtres.

La matrice de répartition, constituée de deux termes diagonaux de réflexion et deux termes anti-diagonaux de transmission, est d'ordre 2. Sa structure polynômiale relativement simple

donne lieu à des algorithmes de synthèse efficaces [1]. L'approche développée dans le projet consiste à traduire les spécifications du filtre en un problème d'optimization bien posé (de type Zolotarev) qui permet un placement optimal des zéros de transmission et de réflexion.

Aujourd'hui, un nouvel élan est donné à notre recherche par les avancées technologiques dans ce domaine, qui permettent la fabrication de nouveaux dispositifs disposant de plus de 2-ports (multiplexeurs). Ces dispositifs sont décrits par une matrice de répartition d'ordre m , où m est le nombre de ports. Pour $m > 2$, la structure polynomiale de ces matrices est mal connue et les algorithmes de synthèse classiques ne s'appliquent pas. La synthèse de ces multiplexers constitue un défi qui passe par une meilleure compréhension des structures mathématiques en jeu et une implémentation efficace des nouveaux algorithmes que nous envisagerons.

Nos récents travaux dans le cas de diplexers (3 ports) ont permis de mieux comprendre la structure de leur matrice S et suggèrent plusieurs pistes prometteuses en vue de leur synthèse. Dans un premier temps ces pistes seront explorées et les algorithmes implémentés.

La forme en "rateau", c'est-à-dire lorsque le circuit sous-jacent est constitué d'un accès commun couplant un ensemble de filtres indépendants, présente un intérêt particulier car les multiplexers de ce type sont faciles à réaliser. Leur matrice S présente une structure très particulière qui suggère un algorithme de point fixe pour la synthèse. Cet algorithme donne des résultats satisfaisants bien qu'on ne soit pas encore en mesure d'en prouver la convergence. On mènera une étude plus approfondie de ce cas.

La structure polynomiale des matrices de répartitions générales d'ordre m sera ensuite étudiée, à la recherche d'un paramétrage en terme de zéros de transmission et de réflexion, propice à la synthèse. Le problème de l'ajustement des zéros de réflexion, les zéros transmission étant connus, se traduit par un problème d'interpolation analytique classique en traitement du signal [2]. Nous revisiterons ce problème à la lumière de nos besoins et rechercherons des algorithmes de résolution adaptés.

[1] V. Lunot, F. Seyfert, S. Bila, Certified Computation of Optimal Multiband Filtering Functions, IEEE Microwave Theory and Techniques, jan. 2008, Vol. 56, p.105-112.

[2] T. Georgiou, A topological approach to Nevanlinna-Pick interpolation, SIAM J. Math. Anal., 18(5):1248--1260, 1987.

English version:

The APICS team develops algorithms for the synthesis of microwave filters, namely cavity filters used in spacial telecommunications.

These waveguide filters are usually modelled by lowpass electrical LC circuits. These circuits are described in terms of incident and reflected 'power waves' by the so-called scattering matrix. From a mathematical viewpoint, the scattering matrix is a matrix of rational functions whose properties (pole location, symmetry) reflects the physical properties of the filter (passivity, reciprocity). In the case of a single filter, the scattering matrix is composed of two reflection elements and two transmission elements and has order 2. Its polynomial structure is relatively simple and based on it, efficient synthesis algorithms do exist [1]. In these algorithms, the characteristics of the filter are translated into a well-posed optimization problem (Zolotarev) which allows for an optimal placement of the reflection and transmission zeros.

Nowadays, a new impulse is given to our research by some recent technological advances in the conception of new types of multiplexers (a multiplexer combines several single filters). These new devices (compact OMUX) are described by a scattering matrix of order m , where m is the number of ports of the underlying network. For $m > 2$, the polynomial structure of such matrices is not well-understood and classical synthesis methods do not apply. The synthesis of these multiplexers is a new challenge which needs for a better understanding of the mathematical structure of their scattering matrices and includes the implementation of new algorithms.

Our recent work in the case of diplexers (3 ports) allowed us to better understand the structure of their scattering matrices and suggests several interesting approaches for the synthesis problem. To begin with, this case will be further study and the proposed algorithms implemented and tested.

From a manufacturing viewpoint, multiplexers with a rake structure (the underlying circuit is constituted by a single access coupling a set of independent filters) are easier to built. Their scattering matrix presents a very particular structure which suggests a fixed point algorithm to solve the synthesis problem. This algorithm already gave promising results while its convergence has not yet been proved. We shall study this case in details.

Then, the polynomial structure of general scattering matrices of order m will be studied. For our synthesis purposes, a parametrization in terms of the transmission and reflection zeros will be searched. Adjusting reflection zeros from transmission zeros can be interpreted as an analytic interpolation problem classical in signal processing [2]. This problem will be revisited in view of our objectives and new resolution algorithms will be investigated.

[1] V. Lunot, F. Seyfert, S. Bila, Certified Computation of Optimal Multiband Filtering Functions, IEEE Microwave Theory and Techniques, jan. 2008, Vol. 56, p.105-112.

[2] T. Georgiou, A topological approach to Nevanlinna-Pick interpolation, SIAM J. Math. Anal., 18(5):1248--1260, 1987.