Optimisation du test indirect de circuits radio-fréquence (*RF*)

Florence Azais et Rodolphe Giroudeau

LIRMM-CNRS-UMR 5506-161, rue Ada 34090 Montpellier

Abstract. description du sujet

1 Introduction

Le stage proposé s'inscrit dans le contexte général du test des circuits intégrés. Il s'agit de vérifier que chacun des circuits fabriqués respecte bien le cahier des charges établi lors de la conception. Pour les circuits radiofréquence, l'approche de test conventionnelle consiste à mesurer chacune des spécifications listées dans le cahier des charges et à vérifier que les valeurs sont conformes aux attentes. Le principal problème de cette approche est qu'elle est extrêmement coûteuse car elle nécessite un équipement de test sophistiqué. Une approche alternative consiste à mesurer non pas directement les spécifications mais des paramètres indirects ne nécessitant qu'un équipement de test faible coût, et à prédire les spécifications à partir de ces paramètres. Pour cela, des modèles de prédiction sont construits dans une phase d'apprentissage permettant de relier les paramètres indirects aux spécifications. Le problème d'optimisation sujet de ce stage concerne la sélection d'un sous-ensemble de modèles permettant de prédire l'ensemble des spécifications avec une bonne qualité et utilisant un nombre minimum de paramètres indirects afin de réduire le coût de test. Pour cela, on notera S l'ensemble des spécifications (typiquement une dizaine), P l'ensemble des paramètres indirects (typiquement une cinquantaine) et M l'ensemble des modèles de prédiction possibles (typiquement une dizaine de milliers) :

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{bmatrix},\ P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_l \end{bmatrix},\ M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_m \end{bmatrix}$$

On dispose d'une matrice Q de taille $m \times n$ (m est le nombre de modèles et n le nombre de spécifications) constituée de valeurs réelles Q_{ij} représentant la qualité du modèle M_i pour prédire la spécification S_j, et d'une matrice R binaire de taille $m \times l$ (m est toujours le nombre de modèles et l le nombre de paramètres indirects) où $R_{ij} = 1$ si le paramètre P_j est utilisé par le modèle M_i, 0 sinon :

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & \ldots & Q_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{n1} & \ldots & Q_{nm} \end{bmatrix},\ R = \begin{bmatrix} R_{11} & \ldots & R_{1l} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{m1} & \ldots & Q_{ml} \end{bmatrix}$$

En prenant en compte des contraintes de qualité, la matrice Q peut être transformée en une matrice Q' binaire où $Q'_{ij} = 1$ si $Q_{ij} \geq K_j$, 0 sinon (avec K un vecteur de contraintes de qualité donné).
L'objectif est de sélectionner parmi les m modèles possibles un sous-ensemble I (d'au plus n modèles) tel que :

$$\forall S_j \in S, \sum_{M_i \in I} Q'_{ij} \geq 1 \text{ et } \min \sum_{j=1}^{l} \sum_{M_i \in I} R_j \text{ avec } R_j \text{ si } \sum_{M_i \in I} R_{ij} = 0, 1 \text{ sinon}$$

La solution du problème d'optimisation sera exprimée sous forme d'une matrice T binaire de taille $l \times n$ où $T_{ij} = 1$ si le paramètre P_i est utilisé pour prédire la spécification S_j, 0 sinon :

$$T = \begin{bmatrix} T_{11} & \ldots & T_{1l} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{n1} & \ldots & T_{nl} \end{bmatrix}$$

1.1 Approche Optimisation Combinatoire

Nous considérons un graphe biparti $G = (X, Y, Z, E = E_{XY} \cup E_{XZ})$ avec $|X| = m, |Y| = n$ et $|Z| = l$. Soit $\mathcal{V}_Y(X') = \cup_{x \in X'} \mathcal{V}(x) \cap Y$ où $\mathcal{V}(x)$ désigne la voisinage du sommet x.
Le problème revient à trouver $\min_{x \in X'} \mathcal{V}_Z(X')$ pour un sous-ensemble $X' \subseteq X$ avec pour contrainte $\mathcal{V}_Y(X') = Y$.

1.2 Approche Recheche Opérationnelle

On définit A_j l'ensemble des modèles M_i permettant de couvrir la spécification S_j : $A_j = \cup_{i=1}^{m} M_i$ tel que $Q'_{ij} = 1$
On définit B_i l'ensemble des paramètres P_j utilisés par le modèle M_i :

$$B_i = \cup_{j=1}^{l} P_j \text{ tel que } R_{ij} = 1$$

On définit :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ si } M_i \text{ est sélectionné pour } S_j \\ 0 \text{ sinon} \end{cases},\ y^k = \begin{cases} 1 \text{ si } P_k \text{ est sélectionné} \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

Si nous utilisons une modélisation par un programme linéaires en nombres entiers, nous trouvons :

$$\begin{cases} \min \sum_{k=1}^{l} y^k \\ \forall S_j \in S, \sum_{M_i \in A_j} x_{ij} = 1 \\ \forall S_j, \forall M_i \in A_j, \forall P_k \in B_i, y^k \geq x_{ij} \\ x_{ij} \in \{0,1\}, y^k \in \{0,1\} \end{cases}$$

2 Travail à faire

- Etudier le problème d'optimisation combinatoire :
  - classification du point de vue de la complexité
  - Développement d'algorithmes efficaces avec des performances relatives garanties
  - Développement d'heuristiques

  de la complexité et l'approximation ;
- Etudier le problème du point de vue de la recherche opérationnelle :
  - Détermination du dual
  - Résolution avec l'utilisation de l'outil GLPK
  - Recherche des limites selon les paramètres