

# Algorithmes d'optimisation de la surface mémoire d'un système embarqué avec contraintes de débit

Mohamed Benazouz<sup>1</sup>, Olivier Marchetti<sup>1</sup>, Alix Munier-Kordon<sup>1</sup>, Pascal Urard<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Pierre et Marie Curie - LIP6 (4, place Jussieu, 75252, Paris, Cedex 05, France)

{mohamed.benazouz,olivier.marchetti,alix.munier}@lip6.fr

<sup>2</sup> STMicroelectronics, Central R&D, Crolles, France. pascal.urard@st.com

**Mots-Clés :** *Graphe d'événements généralisé temporisé, Ordonnancement cyclique, Optimisation de la surface mémoire, Application de traitement de flux.*

## 1 Introduction

L'omniprésence et la variété des systèmes embarqués destinés au grand public soulignent la forte concurrence à laquelle sont soumis les industriels présents sur ce marché. Dans ce contexte, la qualité des méthodes de conception utilisées devient un enjeu majeur pour produire rapidement des systèmes fiables et performants. Pour la plupart, ces systèmes réalisent des traitements de flux de données (téléphonie, vidéo, mp3). Ce type d'application se décompose en processus élémentaires de durée fixe opérant chacun un nombre de fois non borné *a priori* sur un ensemble fini de flux (un flux étant défini entre deux processus donnés et implémenté par une FIFO). Les mémoires doivent donc être dimensionnées par le concepteur de sorte à minimiser pour des raisons de coût leur surface totale sur la puce tout en vérifiant que le système ainsi dimensionné atteint un débit spécifié préalablement (correspondant par exemple à une fréquence de rafraîchissement des images pour un téléphone mobile gérant la vidéo). De nombreuses méthodes heuristiques ou exactes existent pour ce problème. Néanmoins, elles ne sont pas adaptées pour un usage industriel compte tenu de l'explosion combinatoire liée aux modèles utilisés. Dans ce résumé, nous montrons que ce phénomène peut être contourné en imposant une politique d'ordonnancement périodique au système. Nous présentons un algorithme d'approximation 2-approché de complexité polynomiale permettant de résoudre le problème de dimensionnement des mémoires pour systèmes embarqués avec contraintes de débit.

## 2 Modélisation, méthodes de résolution et résultats expérimentaux

Il existe deux modèles équivalents pour traiter ce problème : le modèle *Synchronous Dataflow* [1] (issu de la communauté microélectronique nord-américaine) et le modèle des graphes d'événements généralisé temporisé [2, 3] (réseaux de Petri à choix libre avec valuations entières). Compte tenu des nombreux outils et résultats théoriques disponibles pour les réseaux de Petri, nous avons sélectionné ce dernier modèle. Les transitions désignent alors les processus intervenant dans l'application ; les places modélisent les mémoires chargées d'assurer les différents transferts de données entre deux processus

connectés dans l'application. Le marquage instantané  $M(\tau, p)$  d'une place  $p$  représente les données transitant dans une mémoire donnée à l'instant  $\tau$  ( $M(0, p) = M_0(p)$  désigne l'état initial de la place). Ce modèle permet d'exprimer simplement la contrainte de capacité associée à chaque mémoire [4]. Une mémoire  $m$  ayant une capacité  $c(m)$  sera modélisée par un couple de places formant un circuit dont la somme des marquages initiaux sera égale à  $c(m)$ . Le problème général de l'optimisation des mémoires revient alors à déterminer un marquage initial du graphe d'événement généralisé temporisé dont la somme est minimale. Pour contourner le problème de l'explosion combinatoire liée à la représentation de l'ordonnancement au plus tôt, nous avons restreint l'espace des solutions en imposant une politique d'ordonnancement périodique. Les travaux de Benabid-Najjar *et al.* [5] décrivent les contraintes sur les marquages des places pour tout ordonnancement valide dont la période est spécifiée. Le problème de l'existence d'un ordonnancement avec une période donnée se réduit alors à un problème d'existence d'un potentiel pour un graphe valué (ce dernier problème étant de complexité polynomiale).

En nous appuyant sur les résultats de Benabid-Najjar *et al.*, nous exprimons notre problème d'optimisation avec contraintes de débit par un PLNE dont les solutions désignent des marquages initiaux. Après avoir donné une caractérisation complète du cas d'un graphe d'événements généralisé à deux transitions et une place bornée (modélisant ainsi une mémoire et ses deux processus adjacents), nous proposons un algorithme polynomial pour le calcul de la surface minimale à allouer à une telle place. Nous décrivons ensuite une large classe de systèmes embarqués pour laquelle une application successive de notre précédent algorithme sur chacun des couples de places donne l'optimum tout en garantissant l'existence d'un ordonnancement ayant une période imposée. Cette classe contient notamment les structures arborescentes très fréquemment rencontrées dans ce domaine d'application. Dans le cas général, nous proposons un algorithme 2-approché (dont la borne est atteinte pour certains cas). Cet algorithme polynomial consiste à répartir équitablement le nombre de jetons calculé par notre précédent algorithme pour chaque couple de places modélisant une mémoire. Si cette valeur n'est pas divisible par deux, on ajoutera la quantité minimale de jetons nécessaire pour assurer la validité de notre solution au regard des contraintes de notre PLNE.

Malgré cette limitation à la politique d'ordonnancement périodique, nos expérimentations montrent que les solutions calculées par nos algorithmes sont très bonnes par rapport aux autres méthodes exactes ou heuristiques utilisant une politique d'ordonnancement au plus tôt (moins de 5% d'écart). En outre, tous nos calculs sont instantanés alors que les autres méthodes décrites dans la littérature n'ont pas abouti à cause de l'explosion combinatoire.

## Références

- [1] Edward A. Lee et David G. Messerschmitt. Synchronous Data Flow. *IEEE Proceedings of the IEEE*, 75(9), 1987.
- [2] E. Teruel, P. Chrzastowski-Wachtel, J.M. Colom et M. Silva. On Weighted T-Systems. *Proceedings of the 13th International Conference on Application and Theory of Petri Nets 1992, Lecture Notes in Computer Science*, 616, Springer, 1992.
- [3] Alix Munier. Régime asymptotique optimal d'un graphe d'événements temporisé généralisé : application à un problème d'assemblage. *RAIRO-Automatique Productique Informatique Industrielle* 27(5):487–513, 1993.
- [4] Olivier Marchetti et Alix Munier-Kordon. Minimizing Place Capacities of Weighted Event Graphs for Enforcing Liveness. *Discrete Event Dynamic Systems*, 18(1):91–109, 2008.
- [5] Abir Benabid-Najjar, Claire Hanen, Olivier Marchetti et Alix Munier-Kordon. Periodic schedules for Unitary Timed Weighted Event Graphs. *Conference ROADEF'08*, pages :17–31, Presses Universitaires de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.