



**HAL**  
open science

## Ordonnancement réactif pour le suivi de cibles mobiles : de la robustesse à la garantie de performance en ligne

Florian Delavernhe, Charly Lersteau, André Rossi, Marc Sevaux

### ► To cite this version:

Florian Delavernhe, Charly Lersteau, André Rossi, Marc Sevaux. Ordonnancement réactif pour le suivi de cibles mobiles : de la robustesse à la garantie de performance en ligne. 20ème congrès annuel de la société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2019), Feb 2019, Le Havre, France. hal-02308078

**HAL Id: hal-02308078**

**<https://hal.science/hal-02308078v1>**

Submitted on 8 Oct 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Ordonnancement réactif pour le suivi de cibles mobiles : de la robustesse à la garantie de performance en ligne

Florian Delavernhe<sup>1</sup>, Charly Lersteau<sup>2</sup>, André Rossi<sup>3</sup>, Marc Sevaux<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Université d'Angers, LERIA, F-49045 Angers, France  
florian.delavernhe@univ-angers.fr

<sup>2</sup> Liverpool John Moores University, Royaume-Uni  
C.L.Lersteau@ljmu.ac.uk

<sup>3</sup> Université Paris-Dauphine, LAMSADE, UMR 7243, CNRS, F-75016 Paris, France  
andre.rossi@dauphine.psl.eu

<sup>4</sup> Université Bretagne Sud, Lab-STICC, UMR 6285, CNRS, F-56321 Lorient, France  
marc.sevaux@univ-ubs.fr

## 1 Introduction

Un réseau de capteurs sans fil est constitué de capteurs répartis aléatoirement sur une région étendue souvent rendue difficile d'accès et sans infrastructure à cause de catastrophes naturelles ou d'opérations militaires. Il est donc impossible de recharger la batterie de ces capteurs, qui limitent alors la durée de vie du réseau, c'est-à-dire la période de temps pendant laquelle le réseau peut accomplir sa mission. Les types de capteurs et leurs domaines d'application sont variés, nous considérons le suivi de cibles mobiles (avions, trains, véhicules terrestres, etc) dont la trajectoire spatiale est connue, mais la vitesse seulement estimée. L'objectif du réseau est de garantir à tout moment la surveillance des cibles, ainsi que la transmission de l'ensemble des données récoltées à une station de base. Nous considérons qu'un ordonnancement d'activation des capteurs est fourni pour surveiller les cibles. Il est calculé en fonction des vitesses estimées des cibles, mais peut supporter des avances ou retards inférieurs à une certaine valeur appelée rayon de stabilité, que l'ordonnancement donné maximise. Nous proposons une méthode dynamique qui (i) détecte quand une cible a une avance ou un retard supérieur au rayon de stabilité, (ii) réagit à ces avances et retards pour ne perdre aucune cible, sans compromettre l'ordonnancement initial et (iii) revient à l'ordonnancement initial lorsque c'est possible. Nous produisons ainsi une solution temps-réel offrant un rayon de stabilité *dynamique*, valeur pour laquelle on garantit que tout retard ou avance inférieur à cette valeur ne peut compromettre la surveillance continue des cibles.

## 2 Définition du problème

On connaît l'ensemble  $J$  de  $n$  cibles, avec leurs trajectoires spatiales invariables et leurs vitesses estimées. On dispose, pour surveiller ces cibles, d'un réseau de  $m$  capteurs (ensemble  $I$ ), ainsi que d'une station de base vers laquelle les données de surveillance sont envoyées. Chaque capteur  $i \in I = \{1, \dots, m\}$  possède une batterie d'une capacité résiduelle de  $E_i$  Joules, et qui peut surveiller toute cible située à moins de  $R_S$  mètres. Les capteurs peuvent transmettre ou recevoir les données avec une portée de  $R_C$  mètres. Un capteur consomme de l'énergie lors :

- de la surveillance d'une cible ( $p^S$  Watts),
- de la transmission de données relatives à une cible ( $p^T$  Watts),
- de la réception de données relatives à une cible ( $p^R$  Watts).

On appelle face  $f$  le lieu des points du plan à portée de surveillance d'un même sous-ensemble de capteurs  $S(f)$ , appelés capteurs candidats. La définition d'une face permet de décrire le trajet d'une cible comme une suite de faces traversées, et donc des sous-ensembles de capteurs candidats répartis dans des fenêtres de temps. Une cible est couverte si dans toute fenêtre, il existe au moins un capteur en mode surveillance ainsi que d'autres capteurs en mesure de transmettre l'information captée jusqu'à la station de base.

L'ordonnancement initial fourni permet de surveiller continûment les cibles, et de transmettre l'ensemble des données collectées à la station de base. Dans cet ordonnancement, les capteurs alternent des phases de veille (sans consommation d'énergie), des activités de surveillance et des activités de transfert de données. L'ordonnancement initial a été calculé dans [1] pour maximiser le rayon de stabilité, noté  $\rho$ , ce qui garantit la couverture de toutes les cibles dès lors que les retards ou avances sont inférieurs à ce rayon.

Lorsque le retard ou l'avance affectant une cible dans la face  $f$  est supérieur au rayon de stabilité, la cible est dite perdue si l'ordonnancement n'est pas modifié. On peut montrer qu'il est toujours possible de palier une avance en décalant à gauche l'ordonnancement initial. La stratégie de réaction temps-réel proposée consiste à (i) mobiliser des *chemins de secours* pré-calculés pour couvrir la cible jusqu'à ce qu'elle quitte la face  $f$  dans le cas d'un retard, et (ii) décaler l'ordonnancement initial pour obtenir une garantie de couverture maximale pour les faces à traverser après  $f$ .

La méthode proposée doit réagir à ces retards ou avances en temps-réel pour ne pas compromettre la surveillance continue des cibles, et doit tenir compte de la puissance de calcul limitée des capteurs. Elle doit pouvoir tirer parti des avances pour accroître la capacité de réaction aux éventuels futurs retards. Les objectifs visés sont :

- Pré-calculer hors-ligne, pour toutes les faces visitées par les cibles, des chemins de secours qui optimisent deux objectifs (traités dans l'ordre lexicographique). Premièrement, ils maximisent le temps de couverture des faces auxquelles ils sont associées. Deuxièmement, leur impact sur le réseau, c'est-à-dire l'énergie totale que consomment les capteurs utilisés par ces chemins de secours, est minimisé
- Déterminer, hors-ligne, le rayon de stabilité dynamique  $\Delta$  maximal : on garantira ainsi qu'aucune cible n'est perdue si le retard demeure inférieur à  $\rho + \Delta$ .
- Détecter en temps réel les retards et avances des cibles dépassant le rayon de stabilité  $\rho$  de l'ordonnancement initial, et décaler l'ordonnancement.
- Appliquer, en temps réel, les chemins de secours pré-calculés hors-ligne pour palier les retards des cibles (couvrir la cible jusqu'à ce que l'ordonnancement initial puisse à nouveau être appliqué).
- Mettre à jour dynamiquement les chemins de secours et le rayon de stabilité dynamique  $\Delta$ , pour profiter de l'énergie économisée lors des avances.

En résumé, nous disposons d'un ordonnancement initial qui garantit une surveillance de toutes les cibles en continu tant que leurs retards ou avances restent inférieurs au rayon de stabilité  $\rho$ . La méthode que nous proposons permet de réagir dynamiquement aux avances supérieures à  $\rho$ , en conservant la couverture des cibles et le rayon de stabilité. De plus, notre méthode offre les mêmes garanties lorsque le retard est compris entre  $\rho$  et  $\rho + \Delta$ , en utilisant des chemins de secours. Ainsi, nous garantissons à tout instant de pouvoir couvrir toutes les cibles, tant que leurs avances ou retards ne dépassent pas  $\rho + \Delta$ . La valeur de  $\Delta$  est recalculée en temps-réel et peut augmenter lors d'une avance, ou diminuer lorsqu'un retard excède  $\rho + \Delta$ .

Cette solution sera présentée lors de la conférence, et testée sur un large jeu d'instances dans un contexte temps-réel.

## Références

- [1] C. Lersteau, A. Rossi, M. Sevaux, *Robust scheduling of wireless sensor networks for target tracking under uncertainty*, European Journal of Operational Research, 252, 2, pp. 407–417, 2016.