

Planification de la recherche d'une cible par plusieurs capteurs avec considération du coût de déplacement

Florian Delavernhe^{1,2}, Patrick Jaillet², André Rossi³, Marc Sevaux⁴

¹ Université d'Angers, LERIA, F-49045 Angers, France

`florian.delavernhe@univ-angers.fr`

² Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, États-Unis d'Amérique

`jaillet@mit.edu`

³ Université Paris-Dauphine, LAMSADE, UMR 7243, CNRS, F-75016 Paris, France

`andre.rossi@dauphine.psl.eu`

⁴ Université Bretagne Sud, Lab-STICC, UMR 6285, CNRS, F-56321 Lorient, France

`marc.sevaux@univ-ubs.fr`

1 Introduction

La recherche d'une cible dans une zone vaste à l'aide de plusieurs capteurs mobiles hétérogènes est un problème complexe. Les ressources disponibles (le temps ou l'énergie) pour chaque capteur sont limitées, et l'on cherche à minimiser la probabilité de ne pas trouver la cible. La zone de recherche est divisée en cellules homogènes, et chaque capteur doit allouer ses ressources pour y rechercher la cible. À chaque cellule est associée une probabilité de présence de la cible et un coefficient de visibilité propre à chaque capteur. La probabilité de non-détection de la cible dans une cellule par un capteur dépend alors des ressources investies, de sa visibilité dans la cellule et de la probabilité que la cible s'y trouve. Cette probabilité est une exponentielle décroissante de la quantité de ressources allouées à la cellule. Dans les travaux précédents [1, 2], la zone de recherche est divisée en sous-zones, constituées de cellules, les capteurs étant contraints de n'explorer que des cellules appartenant à une même sous-zone. Les méthodes de résolution associent des sous-zones à chaque capteur, puis distribuent les ressources disponibles aux cellules. Nous proposons un modèle plus réaliste du problème, où les capteurs ne sont pas restreints par des sous-zones. De plus, les déplacements d'une cellule à une autre engendrent un coût qui consomme les ressources des capteurs. Une solution à ce problème est une distribution de ressources aux cellules, et un chemin (de cellules) pour chaque capteur. Les travaux précédents où les sous-zones sont données [1, 2] constituent un cas particulier du présent problème.

2 Définition du problème

On dispose d'un ensemble I de m capteurs. Chaque capteur $i \in I$ a une quantité $E_i \geq 0$ de ressources disponibles. La zone de recherche C est partitionnée en n cellules. La probabilité que la cible se trouve dans la cellule c est α_c . La visibilité d'une cellule c par un capteur i est w_{ic} , et x_{ic} est une variable représentant la quantité de ressources allouée par ce capteur à cette cellule. La fonction objectif à minimiser est la probabilité de ne pas détecter la cible. La détection de la cible par un capteur i dans une cellule c est indépendante de l'activité des autres capteurs, elle induit la probabilité de non-détection exprimée par $e^{-w_{ic}x_{ic}}$. Ainsi, la probabilité de non-détection de la cible si elle se trouve dans la cellule c est $\prod_{i \in I} e^{-w_{ic}x_{ic}}$. Le coût de déplacement d'un capteur des cellules c à c' est $d_{cc'}$. Le déplacement d'un capteur vers la première cellule explorée n'induit aucun coût. Le modèle du problème à résoudre est :

$$\text{Minimiser } \sum_{c \in C} (\alpha_c \prod_{i \in I} e^{-w_{ic} x_{ic}}) \quad (1)$$

$$x_{ic} \leq E_i h_c^i \quad \forall i \in I, \forall c \in C \quad (2)$$

$$\sum_{c \in C} \left(x_{ic} + \sum_{c' \in C} y_{cc'}^i d_{cc'} \right) \leq E_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{c' \in C} y_{cc'}^i + st_c^i = h_c^i \quad \forall i \in I, \forall c \in C \quad (4)$$

$$\sum_{c' \in C} y_{c'c}^i + en_c^i = h_c^i \quad \forall i \in I, \forall c \in C \quad (5)$$

$$\sum_{c \in C} st_c^i = 1 \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{c \in C} en_c^i = 1 \quad \forall i \in I \quad (7)$$

$$u_c^i - u_{c'}^j + y_{cc'}^i |C| \leq |C| - 1 \quad \forall i \in I, \forall c, c' \in C, c \neq c' \quad (8)$$

$$x_{ic} \in [0, E_i] \quad \forall i \in I, \forall c \in C \quad (9)$$

$$u_c^i \in [0, |C|] \quad \forall i \in I, \forall c \in C \quad (10)$$

$$h_c^i, st_c^i, en_c^i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall c \in C \quad (11)$$

$$y_{cc'}^i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall c, c' \in C \quad (12)$$

$y_{cc'}^i$ vaut 1 si et seulement si le capteur i se déplace de c à c' . h_c^i vaut 1 si et seulement si le capteur i recherche la cible dans la cellule c . st_c^i (respectivement en_c^i) est égale à 1 si et seulement si c est la première (respectivement la dernière) cellule visitée par le capteur i . Enfin, u_c^i est utilisée dans la contrainte (8) pour assurer la connectivité du cheminement des capteurs. La contrainte (2) force h_c^i à la valeur 1 si la cellule c est explorée par le capteur i . La contrainte (3) traduit la limitation des activités (déplacement et recherche) induite par les ressources disponibles. Les contraintes (4) à (7) font que toutes les cellules explorées par un capteur constituent un chemin. Les contraintes (9) à (12) expriment le domaine des variables.

3 Méthode de résolution

Le problème est difficile notamment parce que l'allocation des ressources doit être déterminée en même temps que le cheminement des capteurs. On propose une méthode de résolution où la direction prise à chaque pas repose sur une approximation de la fonction objectif et du sur-coût résultant de l'ajout d'une cellule au chemin effectué par un capteur.

L'allocation de ressources aux cellules est faite par discrétisation des ressources. A chaque pas, une petite quantité de ressources est allouée par un capteur à une cellule, choisie en fonction de l'impact sur la fonction objectif. Ce choix doit considérer les ressources déjà allouées et le chemin parcouru par le capteur. Dans notre méthode de résolution, le choix a été fait de prendre ces décisions à l'aide d'évaluations heuristiques des intérêts des cellules. La fonction objectif est approximée à l'aide d'un développement limité au premier ordre. Le chemin du capteur est calculé à l'aide d'une méthode de *best insertion* à partir du tour précédent. Tous les δ pas, où δ est un paramètre, une résolution exacte des chemins est faite afin de limiter l'impact des approximations de la méthode heuristique. La fonction objectif approximée est pénalisée par une estimation heuristique du coût d'ajout de chaque cellule dans le chemin d'un capteur, toujours à l'aide d'une méthode de *best insertion*. Le problème résolu à chaque pas est facile, puisqu'il suffit de choisir, pour tout capteur, la cellule d'utilité maximale (l'utilité mesure l'impact sur la fonction objectif). Après la sélection de cette cellule, le chemin du capteur et les utilités sont mis à jour pour le prochain pas, en utilisant la fonction objectif non approximée.

Références

- [1] Simonin, C., Le Cadre, J. P., and Dambreville, F. (2009). A hierarchical approach for planning a multisensor multizone search for a moving target. *Computers & Operations Research*, 36(7), 2179–2192.
- [2] Le Thi, H. A., Nguyen, D. M., and Dinh, T. P. (2014). A DC programming approach for planning a multisensor multizone search for a target. *Computers & Operations Research*, 41, 231–239.