

# Planification de la recherche d'une cible par une plateforme aéroportée

Hugo Vaillaud<sup>1,2</sup>, Cyrille Enderli<sup>1</sup>, Claire Hanen<sup>2,3</sup>, Emmanuel Hyon<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Thales DMS France SAS, 2 Av. Jean d'Alembert, 78190 Trappes

<sup>2</sup> Sorbonne Université, CNRS, LIP6, F-75005 Paris, France

<sup>3</sup> UPL, Université Paris Nanterre, France

**Mots-clés :** *Recherche de cible, Programmation Dynamique, Optimisation Stochastique*

## 1 Introduction

La recherche de cibles mobiles avec plusieurs capteurs hétérogènes est un problème complexe, d'autant plus si la zone de recherche est étendue. Cela a donné lieu à de nombreuses recherches dans le passé, comme en témoignent le livre de Stone [4] et la revue de Rapp [2].

En général, on cherche à optimiser un objectif lié à la probabilité de détecter une ou plusieurs cibles mobiles. La zone de recherche est discrétisée en régions identiques et un plan d'utilisation des capteurs est calculé sur un horizon fixé noté  $T$ . À toutes les régions sont associées les probabilités a priori de présence des cibles. La probabilité de détection des cibles dans une région dépend de la quantité d'effort qui y est investie, de la visibilité de la région et de la probabilité que les cibles s'y trouvent. On cherche à trouver l'ensemble des allocations d'effort de recherche à chaque pas de temps pour maximiser la probabilité de détecter les cibles sur tout l'horizon de temps. Cette allocation est contrainte par un budget borné.

Dans les travaux précédents [3, 1], la probabilité de détection est une exponentielle croissante de la quantité d'effort investie dans la région. De plus l'effort de recherche est alloué indépendamment aux régions de la zone de veille. Le plan de recherche est trouvé à l'aide de l'algorithme Forward and Backward [5] ou par programmation linéaire [1].

On considère un problème différent des travaux cités : les capteurs sont sur une même plateforme. Chaque observation est faite suivant une direction et couvre un cône composé de plusieurs régions. L'effort ne s'alloue donc pas aux différentes régions de manière non couplée. De plus, ces observations constituent un effort discret car on planifie un nombre limité d'observations de durées définies. Cela nous contraint dans les méthodes utilisables car les méthodes d'optimisation utilisées dans [3, 1] doivent être modifiées et perdent leurs garanties d'optimalité. Nous nous intéressons ici au cas où les cônes d'observation associés aux mesures possibles sont disjoints. Le modèle présenté est une adaptation des modèles précédents aux contraintes particulières de notre problème.

## 2 Définition du problème

On considère une plateforme aéroportée, positionnée face à une zone de recherche en deux dimensions, qui est partitionnée en  $J$  régions distinguées par leurs indices  $j = 1, \dots, J$ . Chaque région a deux caractéristiques :  $d_j$  qui représente sa distance à la plateforme, et  $\theta_j$  qui représente son angle relatif à l'axe de la plateforme.

On suppose tout d'abord, une seule cible dont la position est inconnue. Les seules informations disponibles la concernant sont les probabilités a priori  $p(j)$  que la cible soit initialement située dans chaque région  $j$ . A chaque pas de temps, la cible se déplace d'une région à une autre suivant un modèle de transition Markovien de matrice de transition  $\pi$ .

On suppose également, un seul capteur qui observe la zone de recherche dans le domaine angulaire  $\Delta_\theta$ . Il peut faire une observation de largeur angulaire  $\delta_\theta$  à chaque pas de temps. Ceci conduit à un ensemble fini de directions possibles noté  $A$ , composé de  $a$  observations disjointes pour le capteur. On définit  $R_a$  comme l'ensemble des régions observées avec l'angle  $a$ . Comme les observations sont disjointes, il vient  $\forall a, a' \in A, R_a \cap R_{a'} = \emptyset$ . On définit aussi la fonction  $r_a(j)$  tel que  $r_a(j) = 1$  si  $j \in R_a$  et 0 sinon.

A chaque pas de temps  $t$ , un senseur peut faire plusieurs mesures. On note par  $\zeta(a, t)$  la quantité d'effort (*i.e.* le nombre d'observations) investie dans la direction  $a$  au pas de temps  $t$ . Ceci implique que toutes les régions  $j \in R_a$  reçoivent une même quantité d'effort  $z(j, t)$  à ce pas de temps. On suppose qu'il y a un budget d'effort maximum  $m(t)$  allouable. Si  $\zeta(t)$  est le vecteur qui regroupe les allocations d'effort pour tous les angles, alors  $Z(m)$  est la famille des fonctions  $\zeta(t)$  telles que  $\forall t, \sum_{a \in A} \zeta(a, t) \leq m(t)$ .

Pour prendre en compte les caractéristiques du capteur et des mesures, on définit la fonction de détection. C'est la probabilité de détecter la cible dans une région si elle s'y trouve, en fonction de l'effort qui y est investi et de la visibilité de la zone. En effet, chaque région  $j$  est associée à un coefficient de visibilité  $\alpha_j = \alpha(d_j)$  qui est fonction décroissante de sa distance à la plateforme. Ici, la fonction de détection de la zone  $j$  pour un effort discret  $z$  est définie par  $b(j, z) = 1 - (1 - \alpha_j)^z$ .

Soit  $\zeta_t = (\zeta(1), \zeta(2), \dots, \zeta(t))$  le plan d'allocation. Soit  $P(\zeta_T, T)$  la probabilité de détecter la cible avant l'horizon  $T$  en suivant le plan d'allocation  $\zeta_T$ . L'objectif global de l'algorithme de planification est donc de trouver  $\zeta_T^*$  tel que

$$P(\zeta_T^*, T) \geq P(\zeta_T, T), \forall \zeta_T \text{ t. q. } \zeta(t) \in Z(m). \quad (1)$$

### 3 Méthode de résolution

Nous résolvons ce problème avec la récursion de Brown [4], qui est un cas particulier de l'algorithme Forward and Backward. On met à jour le plan sur l'horizon temporel jusqu'à ce que la probabilité de détection approche d'un optimum local.

Pour ce faire, on divise le problème en sous-problèmes statiques de recherche d'une cible stationnaire à chaque pas de temps. On cherche  $\zeta(t)$  qui maximise la probabilité de détecter la cible au temps  $t$  en considérant que l'effort fourni aux autres pas de temps n'a pas détecté de cible.

On applique d'abord cette méthode au cas particulier d'une seule cible avec des cônes d'observation disjoints, et nous présentons les résultats obtenus par les expérimentations que nous menons après avoir implémenté l'algorithme résultant de cette étude. Dans un deuxième temps, nous passerons au cas où il faut détecter plusieurs cibles avec des cônes d'observation non disjoints, avant d'expérimenter l'utilisation de plusieurs senseurs hétérogènes.

### Références

- [1] Florian Delavernhe, Patrick Jaillet, André Rossi, and Marc Sevaux. Planning a multi-sensors search for a moving target considering traveling costs. *European Journal of Operational Research*, 292(2) :469–482, 2021.
- [2] Manon Raap, Michael Preuß, and Silja Meyer-Nieberg. Moving target search optimization – a literature review. *Computers and Operations Research*, 105 :132–140, 2019.
- [3] Cecile Simonin, Jean-Pierre Le Cadre, and Frederic Dambreville. A common framework for multitarget search and cross-cueing optimization. In *2008 11th International Conference on Information Fusion*, pages 1–8, 2008.
- [4] Lawrence D. Stone. *Optimal search for moving targets*. Springer, 2016.
- [5] Alan R. Washburn. Search for a moving target : The FAB algorithm. *Operations Research*, 31(4) :739–751, 1983.