Optimisation de la Couverture d'un Radar 3D à Balayage Électronique par Programmation Linéaire en Nombres Entiers

Yann Briheche[1,2], Frederic Barbaresco[1], Fouad Bennis[2] , Damien Chablat[2]

[1] THALES AIR SYSTEMS, 91470 Limours, France

{yanis.briheche,frederic.barbaresco}@thalesgroup.com

[2] École Centrale de Nantes, IRCCyN, 44321 Nantes, France

{yanis.briheche,fouad.bennis,damien.chablat}@irccyn.ec-nantes.fr

Mots-clés : *planification, ordonnancement, recherche opérationnelle, programmation linéaire en nombres entiers*

1 Contexte et Problème

Les radars 3D disposent d'une grande flexibilité sur la forme des faisceaux émis, s'affranchissant de limitations propres aux radar à antenne tournante et offrant de nouvelles possibilités pour optimiser la génération des couvertures de surveillance radar (voire Figure 1).

Les radars actuels remplissent souvent plusieurs fonctions. Minimiser le temps nécessaire à la surveillance libère des ressources pour d'autres taches : poursuite, identification, communication... La génération de la couverture radar peut se formuler comme problème d'optimisation : trouver un ensemble de faisceaux qui minimise la durée nécessaire à la surveillance, en assurant des contraintes de détection à une portée souhaitée. Ce problème se rapproche du problème combinatoire de couverture par ensemble (*Set Cover problem*), à la différence que l'ensemble à recouvrir et l'ensembles des couvertures possibles sont continus et non discrets.

2 Modèle théorique du radar

Le diagramme d'émission du faisceau radar est généré par un réseau d'éléments rayonnant à commande de phase (1). La portée du radar (2) dépend de ce diagramme d'émission [2]. En général plus la zone d'émission est large, plus la portée est faible. La conception d'un diagramme faisable à partir d'un diagramme idéal est un problème inverse difficile à cause de la grande dimension de l'ensemble des diagrammes faisables et de la forte non-linéarité de (1).

$$g(az, el) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} A_{k,l}\, e^{\phi_{k,l}}\, e^{j2\pi(\cos(el)\sin(az)x_l + \sin(el)y_k)} \tag{1}$$

où $\{A_{k,l},\ \phi_{k,l}\}$ est la commande du réseau et $(x_l,\ y_k)$ sont les positions des éléments du réseau.

$$R^4(az, el) \propto \eta_w(az, el) \cdot g(az, el) \cdot L_s(az, el)^{-2} \tag{2}$$

où η_w est l'efficacité du signal émis dans la direction observée (choisi parmi une base de données de signaux disponibles) et L_s sont des pertes anisotropes de déflexion.

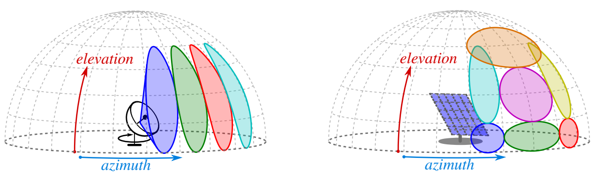

FIG. 1 – Radar à antenne tournante (gauche) et radar à balayage électronique (droite)

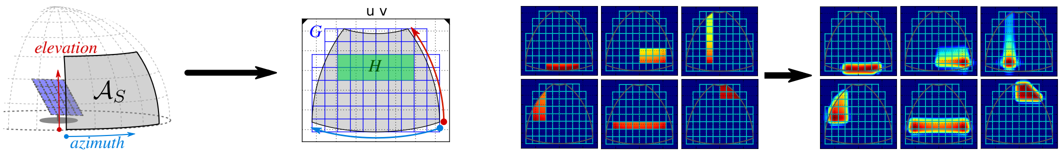

FIG. 2 – Grille de discrétisation (gauche) et Synthèse de faisceaux (droite)

3 Méthode de résolution

La nature mixte des variables (continues pour la commande de phase, discrètes pour le choix du signal et le choix du nombre de pointages) et la non-convexité des fonctions (diagramme, portée) rendent difficile la résolution du problème original. Il est donc judicieux d'approximer et de simplifier la formulation du problème en plusieurs étapes :

— **Discrétisation** : Une grille régulière est placée sur l'espace de surveillance. Sur cette grille, la couverture radar est considérée case-par-case (voire Figure 2).

— **Synthèse des faisceaux candidats** : Pour chaque rectangle contenu sur la grille, on synthétise un diagramme faisable à partir du gain idéal pour atteindre la portée souhaitée, par une méthode d'échantillonnage (voire Figure 2).

— **Optimisation** : Le problème de couverture sur la grille discrète peut se formuler comme un problème linéaire en nombres entiers (PLNE) :

$$\begin{array}{rl} \min & \mathbf{T}^T.\mathbf{x} \\ s.t. & \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} \geq \mathbf{1} \\ & \mathbf{x} \in \{0,1\}^p \end{array} \tag{3}$$

où $\mathbf{T}$ sont les durées d'émission des faisceaux, $\mathbf{A}$ représente les couvertures des faisceaux sur la grille, et $\mathbf{x}$ sont les variables de sélection des faisceaux. Ce problème peut être résolu par une méthode de Branch&Bound utilisant la relaxation linéaire [1].

4 Conclusions et perspectives

Cette méthode de résolution par étapes successives offre plusieurs avantages :

— elle découple le choix de la grille, la synthèse des faisceaux et l'optimisation de la couverture, permettant de modifier chaque étape individuellement sans affecter les autres.

— la PLNE offre une formulation flexible. Chaque case correspond à une contrainte de détection. Il est possible de spécifier localement des données (fouillis, masques) et des contraintes (portée, cadence de mise à jour, etc...) affectant la détection.

— l'ensemble des pointages possibles étant discret, il est possible de les parcourir pour filtrer les pointages ne remplissant certains critères (résolution distance, zone instrumentée).

— le dimensionnement de la grille de discrétisation permet de contrôler le coût de calcul, avec cependant un impact non-négligeable sur la qualité des solutions obtenues.

Optimiser la structure de la grille de discrétisation pourrait améliorer la qualité des solutions en diminuant le temps de calcul. Une formulation probabiliste du problème est aussi possible : pour chaque faisceau, calculer sur la grille la probabilité de détection à la portée souhaitée. En sommant ces probabilités, on assurerait une probabilité minimum qu'au moins un faisceau assure la détection. Cette approche permettrait de profiter des recoupements entre faisceaux.

Références

[1] Michele Conforti, Gerard Cornuejols, and Giacomo Zambelli. *Integer Programming*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2014.

[2] M. Skolnik. *Radar Handbook, Third Edition*. Electronics electrical engineering. McGraw-Hill Education, 2008.