

Optimisation de la planification de trajectoire et des acquisitions d'une caméra Compton

Marius Lopez¹, Hichem Snoussi¹, Faicel Hnaïen¹, Zied Hmissi², Alain Iltis²

¹ Université de Technologie de Troyes, LIST3N France
{marius.lopez; hichem.snoussi; faicel.hnaïen}@utt.fr

² Damavan imaging, France
{alain.iltis;zied.hmissi}@damavan-imaging.com

Mots-clés : *TSP, k-couverture, caméra Compton*

1 Introduction

Ces dernières années, plusieurs travaux ont été menés dans le domaine des détecteurs de radiation Gamma, suite à la catastrophe nucléaire de Fukushima. Le besoin d'envoyer des UGV (Unmanned Ground Vehicles, véhicules terrestres sans pilote) a été exprimé par la communauté de sûreté nucléaire. Il existe plusieurs méthodes de reconstruction des sources radioactives environnantes, allant du simple dosimètre jusqu'à la caméra capable d'imager et d'estimer les radiations nucléaires. Plusieurs méthodes de reconstruction 3D d'un environnement ont été explorées [3], mais très peu ont exploré la problématique de planification du placement des détecteurs de radioactivité.

Les contributions de cet article sont i) la modélisation d'un problème physique de sûreté nucléaire par un modèle mathématique d'optimisation, ii) l'optimisation conjointe de l'acquisition des données, de la couverture de l'espace à imager et de la planification de trajectoire d'une caméra Compton embarquée sur un UGV, et iii) la proposition d'une méta-heuristique basée sur un algorithme génétique pour résoudre le problème NP-difficile efficacement et dans un temps raisonnable.

2 Modélisation exacte du problème

L'objectif de ce problème est de déterminer la trajectoire optimale de l'UGV embarquant un détecteur Compton afin d'optimiser conjointement le temps du trajet et la couverture de l'espace à imager. Nous proposons ici deux méthodes de résolution : une méthode exacte basée sur un modèle linéaire à variables mixtes, prenant comme base la concaténation d'un problème de k-couverture qui assure la couverture des POI [2] et d'un problème de tournées de véhicules TSP (Traveling Salesman Problem)[1], auquel des contraintes physiques liées aux spécificités de la caméra Compton ont été ajoutées, et une mat-heuristique basée sur la résolution approchée de la k-couverture et une résolution exacte de TSP.

Le problème modélisé est donc un ensemble de deux sous problème. Le premier sous problème traite de la couverture de l'ensemble de la zone par la caméra Compton embarquée. Afin de détecter une source radioactive d'une intensité minimum donnée avec certitude, il faut pouvoir récupérer assez de statistique pendant un temps donné lié à la distance de la source. De fait, notre détecteur simplifié est modélisé comme un détecteur binaire dont le rayon de détection est fonction du temps d'acquisition à minimiser. Ce sous problème est modélisé comme un problème de k-couverture. Le second problème traite de la planification du trajet entre tous les points d'acquisition choisis pour couvrir l'espace à imager modélisé comme un TSP. Les étapes de celui-ci sont donc liées aux points d'acquisitions sélectionnés par la k-couverture.

Ce modèle ne permet de résoudre que des instances de petites tailles, étant donné le fait que les deux sous problèmes se ramènent à deux problèmes NP-difficile : le TSP et la k-couverture.

L'originalité de ce modèle repose sur le fait que le coût en temps de chaque position utilisée n'est pas fixe, mais dépendant du rayon de détection voulu du détecteur. Ce modèle a été linéarisé et résolu avec le solveur CPLEX. Dans un deuxième temps, une nouvelle version exacte basée sur la décomposition de Benders est proposée pour étendre la capacité de résoudre des problèmes de tailles plus importantes. Afin d'accélérer le processus de résolution tout en assurant une résolution optimale, une coupe de Benders est proposée, en relaxant les contraintes liées au sous problème de planification de trajectoire. Le TSP a été résolu avec le logiciel Concorde et chaque coupe est réinjectée dans le modèle de k-couverture résolu avec le solveur Cplex.

2.1 résolution approchée : Mat-heuristique

Vu la limite de résolution de deux méthodes exactes présentées précédemment, nous proposons une mat-heuristique basée sur la résolution approchée de la k-couverture et une résolution exacte de TSP. La résolution approchée de la k-couverture est une méta-heuristique basée sur un algorithme génétique. Le sous problème TSP est résolu avec Concorde. La mat-heuristique est utilisée d'une manière itérative. Une version mémétique de l'algorithme génétique est proposée en rajoutant une recherche locale. Cette recherche locale optimise le temps d'acquisition de chaque position de caméra et le placement des différents points de vue.

Cet algorithme sera comparé avec la résolution CPLEX et la décomposition de Benders afin de vérifier le gain en efficacité et la déviation de la solution approchée par rapport à la solution exacte. Les instances de tests seront des pièces rectangulaires vides entre $3 \times 3m$ à $3 \times 9m$ où les points à imager sont échantillonnés tous les $0,25m$ et les points d'acquisitions tous les $0,5m$.

3 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons modélisé le problème conjoint de la tournée d'un UGV embarquant une caméra Compton avec la k-couverture d'un espace en prenant en compte des contraintes physiques spécifiques à l'imagerie Compton. Afin de pouvoir résoudre des instances de grandes tailles proches de cas réel, nous avons proposé des coupes de Benders pour accélérer la convergence ainsi qu'une mat-heuristique basée sur un algorithme génétique pour résoudre des instances de grandes tailles en un temps raisonnable. Par la suite, la modélisation de la caméra Compton sera étendue pour se rapprocher au plus du cas réel. De plus, des tests en conditions réelles seront menés afin de valider le fonctionnement du modèle.

Références

- [1] Wei Jing, Joseph Polden, Pey Yuen Tao, Chun Fan Goh, Wei Lin, and Kenji Shimada. Model-based coverage motion planning for industrial 3D shape inspection applications. In *2017 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, pages 1293–1300, August 2017.
- [2] Maher Rebai, Matthieu le Berre, Faicel Hnaïen, and Hichem Snoussi. Exact Biobjective Optimization Methods for Camera Coverage Problem in Three-Dimensional Areas. *IEEE Sensors Journal*, 16(9) :3323–3331, May 2016.
- [3] Yuki Sato, Yuta Terasaka, Wataru Utsugi, Hiroyuki Kikuchi, Hideo Kiyooka, and Tatsuo Torii. Radiation imaging using a compact Compton camera mounted on a crawler robot inside reactor buildings of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 56(9-10), October 2019.