

Partage de temps satellite pour la surveillance régulière de grandes zones par une constellation

Alexis Robbes, Gauthier Picard, Cédric Pralet, Stéphanie Roussel

ONERA/DTIS, Université de Toulouse

{alexis.robbes, gauthier.picard, cedric.pralet, stephanie.roussel}@onera.fr

Mots-clés : *Graphe orienté acyclique, chemin Hamiltonien, observation de la Terre*

1 Introduction

Dans cet article, nous nous intéressons au partage du temps satellite d'une constellation pour la surveillance de grandes zones. Le gestionnaire d'une constellation propose à ses utilisateurs de réserver des portions d'orbites pour leur usage privé. Sur les portions d'orbites réservées, les utilisateurs sont libres d'observer la Terre en prenant des photos ou des vidéos. La nature exacte des observations effectuées reste à la discrétion des utilisateurs. Afin de partager au mieux le temps satellite disponible, le gestionnaire nécessite un minimum d'information sur les besoins de ses utilisateurs. Pour cela, il propose à ses utilisateurs de formuler des requêtes de *réactivité* sur des grandes zones. Par exemple, "pouvoir observer n'importe quel endroit de la région Hauts-de-France dans un délai de maximum de 2 heures, peu importe l'heure de la journée". Cette requête est définie par trois caractéristiques, la zone géographique (Hauts-de-France), la réactivité (2h) et l'horizon de planification (la journée). La surveillance d'une grande zone peut être motivée par le suivi d'une catastrophe naturelle comme un feu de forêt, une inondation ou un séisme. Cependant, il est aussi possible que la motivation ait un caractère confidentiel.

La problématique du partage de temps satellite d'une constellation est déjà explorée dans [1]. Ses auteurs s'intéressent exclusivement à des requêtes dites *périodique*. Une requête *périodique* se concentre sur une zone restreinte à un point d'intérêt et à une cadence d'observation constante. Cela ne permet pas autant de confidentialité et de flexibilité que les requêtes de *réactivité*. D'autres types de requêtes plus précises ont aussi été traitées dans [2]. Il y est présenté un problème de satisfaction globale sur un ensemble de requêtes de plusieurs types. Cependant, la notion de partage entre les utilisateurs n'est pas explorée.

2 Définition du problème

Soit un ensemble d'utilisateur U et un horizon de planification Ω . Chaque utilisateur u définit sa grande zone P_u et un temps de réactivité souhaité r_u . On discrétise ensuite les zones en points d'intérêts. Le gestionnaire dispose d'un ensemble de passages de satellites S . Pour un passage s , \mathcal{U}^s est la séquence des zones survolées. Chaque point d'intérêt p survolé lors du passage s est observable uniquement durant sa fenêtre d'opportunité $[e_p^s, l_p^s]$. La figure 1a montre une instance avec 7 pays utilisateurs souhaitant une surveillance de leur territoire respectif et d'une constellation proposant 2 passages durant l'horizon de planification. La figure 1b illustre les fenêtres d'opportunités et le temps de transition t^s correspondant à la durée maximum de manoeuvre du satellite pour passer de l'observation d'un point d'intérêt à un autre. La satisfaction de toutes les requêtes de *réactivité* est souvent irréalisable. Nous définissons donc un critère d'optimisation basé sur l'insatisfaction de ces dernières. Nous modélisons l'insatisfaction comme le retard maximum entre deux réservations consécutives au dessus d'un point d'intérêt par rapport à la réactivité souhaité.

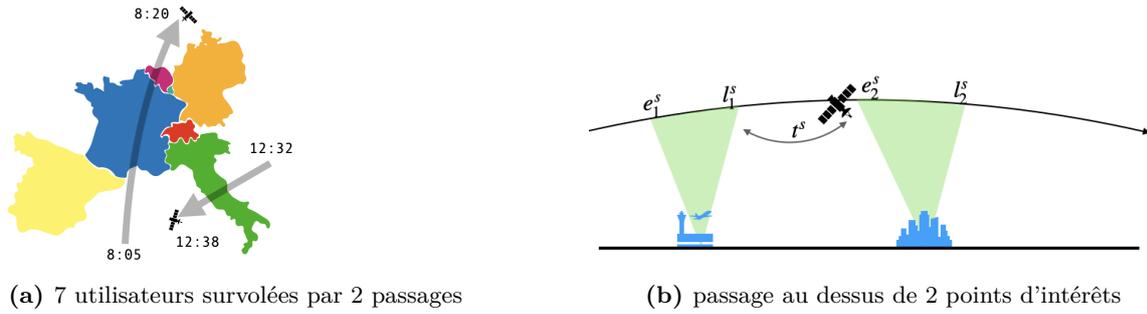


FIG. 1 – Visualisation d'une instance du problème

3 Représentation par des Graphes Orientés Acycliques

À partir de la séquence de survol \mathcal{U}^s du passage s , nous construisons un graphe orienté acyclique (DAG) permettant de définir toutes les combinaisons de réservations possibles. Depuis un nœud source fictif, on génère une couche de nœuds par utilisateurs. Les nœuds d'une couche représentent les dates de fin de réservation pour l'utilisateur correspondant. Lorsqu'au moins deux utilisateurs réservent sur le passage, leurs réservations doivent être séparées du temps de transition. Lorsque le temps disponible ne permet plus aucune réservation, le nœud est directement relié à un nœud puits fictif. En construisant ainsi le DAG, on associe aux arcs, les points d'intérêts observables. Fig. 2 représente le DAG pour un passage survolant les zones de 3 utilisateurs.

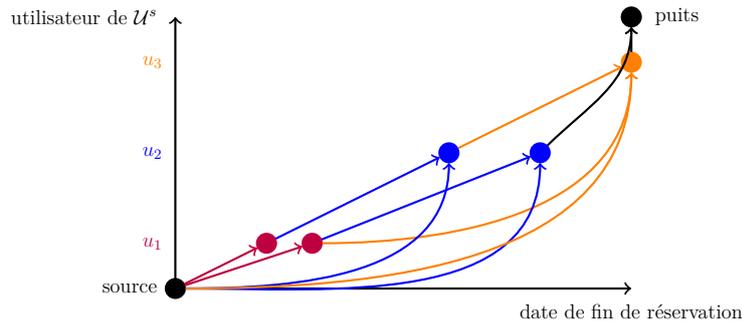


FIG. 2 – Exemple du DAG d'un passage de satellite survolant les zones de 3 utilisateurs

Une solution du problème globale revient alors à sélectionner un chemin de réservation par DAG. Pour cela, nous utilisons un modèle Arc Flow qui détermine un chemin de réservation par DAG et un chemin d'observation par point d'intérêt. Le respect des contraintes de réservation liées aux passages est assuré par la construction des DAGs. Les chemins d'observation permettent quant à eux de calculer l'insatisfaction. Le modèle permet de résoudre en quelques minutes des instances de taille réelle. Ces travaux sont réalisés avec le support du Programme d'Investissements d'Avenir (projet BPI LiChIE mené par AIRBUS Defence and Space).

Références

- [1] S. Roussel, G. Picard, C. Pralet, S. Maqrot, Conflicting bundle allocation with preferences in weighted directed acyclic graphs : Application to orbit slot allocation problems, *Systems* 11 (6) (2023) 297.
- [2] S. Squillaci, C. Pralet, S. Roussel, Scheduling complex observation requests for a constellation of satellites : Large neighborhood search approaches, in : *International Conference on Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research*, Springer, 2023, pp. 443–459.