

Allocation de chemins avec des préférences conflictuelles sous forme de graphes pour le partage d'orbites

Sara Maqrot, Gauthier Picard, Cédric Pralet, Stéphanie Roussel

ONERA/DTIS, Université de Toulouse, France
prénom.nom@onera.fr

Mots-clés : *allocation de ressources, partage équitable, graphes, constellation de satellites.*

1 Modélisation du problème d'allocation de portions d'orbite

Les constellations de satellites d'observation de la Terre constituent aujourd'hui un enjeu majeur pour collecter davantage de données sur des zones d'intérêt liées à des besoins différents tels que la défense, l'environnement ou la science. Comme décrit dans [2], les constellations soulèvent de nombreux défis. Nous abordons ici celui dans lequel des utilisateurs peuvent demander a priori l'exclusivité sur des portions d'orbite, afin de disposer de temps satellite pour réaliser des prises de vue sans avoir à passer systématiquement par l'arbitrage d'un opérateur central. L'objectif de notre étude est d'allouer des portions d'orbite aux utilisateurs, sachant que chaque utilisateur a des requêtes d'observation définies par un point d'intérêt (POI) à observer avec une fréquence de revisite donnée.

Par exemple, un utilisateur peut vouloir disposer d'une portion d'orbite au dessus de Lyon à 8h et à 12h pendant plusieurs jours. Dans la figure 1(i), on considère deux utilisateurs a et b qui ont chacun une requête et veulent observer deux POIs à 8h et à 12h. Les portions d'orbite candidates pour a et b sont respectivement notées a_1, \dots, a_4 et b_1, \dots, b_4 . Les portions d'orbite candidates pour observer des POIs proches peuvent par ailleurs se chevaucher temporellement, créant ainsi des conflits d'allocation, comme sur la figure 1(i) où chaque a_k est en conflit avec b_k pour $k \in [1..4]$. Pour un POI donné, l'utilisateur peut également avoir des préférences sur les séquences de portions d'orbite allouées. Par exemple, l'enchaînement $[a_1, a_3]$ peut être préféré à l'enchaînement $[a_2, a_4]$ qui est lui-même préféré à $[a_1, a_4]$.

Nous avons modélisé ce problème sous forme de graphes orientés acycliques (DAGs) pondérés qui appartiennent à des agents. La figure 1(ii) illustre les graphes associés au problème de la figure 1(i), avec un nœud par portion d'orbite candidate et un arc par enchaînement possible de réservations (arc étiqueté par une utilité représentant une préférence de l'utilisateur). Les conflits d'allocation entre portions d'orbite (nœuds du graphe) sont représentés en gris. Une allocation est une sélection d'un chemin dans chaque graphe de manière à ce que tous les chemins sélectionnés soient sans conflit. Nous considérons deux fonctions objectifs pour les allocations, avec d'une part la maximisation de l'utilité totale des chemins sélectionnés et d'autre part l'allocation des chemins de la manière la plus équitable possible.

2 Techniques d'allocation de ressources

Nous proposons quatre techniques pour l'allocation des ressources de la constellation. La première technique correspond à un algorithme utilitariste glouton qui fournit des allocations de bonne qualité avec un temps de calcul très réduit. La deuxième technique est un algorithme utilitariste classique basé sur un modèle MILP utilisable pour obtenir des allocations optimales du point de vue de l'utilité globale. La troisième technique est l'approche égalitariste leximin ; elle consiste à comparer les profils d'utilités triés dans un ordre lexicographique (de l'agent le

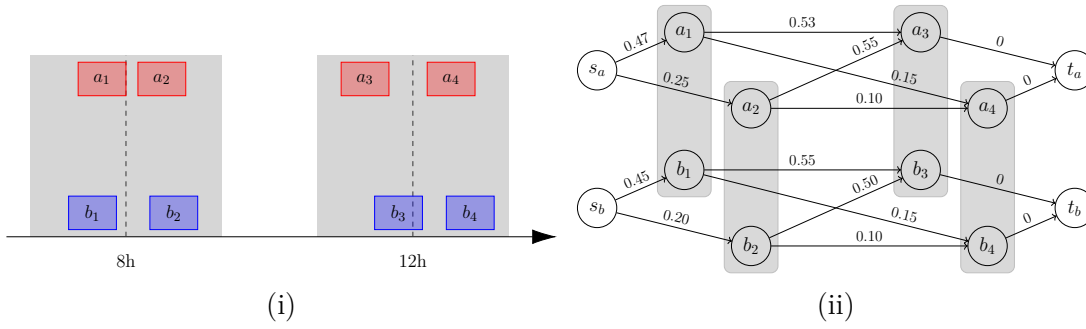


FIG. 1 – (i) Problème d’allocation de portions d’orbites. (ii) Graphes associés à l’exemple

moins bien servi à l’agent le mieux servi) afin de maximiser la pire utilité, puis la deuxième pire utilité, et ainsi de suite [1]. Cette approche est implémentée en résolvant une succession de modèles MILP. Pour réduire le temps de calcul, nous proposons une version approchée du leximin qui fonctionne par itération d’une approche maximin. Son objectif est de maximiser l’utilité $u(a)$ de l’agent a le moins bien servi, puis de maximiser l’utilité $u(b)$ de l’agent b le moins bien servi parmi les agents restants (et avec la contrainte d’utilité supérieure à $u(a)$ pour a), et ainsi de suite. A nouveau, cette approche est implémentée en résolvant une succession de modèles MILP, mais cette fois avec moins de variables 0/1 que dans l’approche leximin pure.

3 Expérimentations

Pour évaluer la performance de ces méthodes, nous avons réalisé des expérimentations sur 240 instances avec des constellations impliquant de 16 à 128 satellites, différents points d’intérêts et différents types de fonctions d’utilités. Les résultats nous ont permis de comparer les quatre techniques proposées sur les deux critères d’utilité et d’équité, comme illustré par la figure 2. Au niveau des perspectives, une cinquième technique fonctionnant par réparation de conflits itérative est également à l’étude. Ces travaux sont réalisés avec le support du Programme d’Investissements d’Avenir (projet BPI PSpC LiChIE mené par AIRBUS Defence and Space).

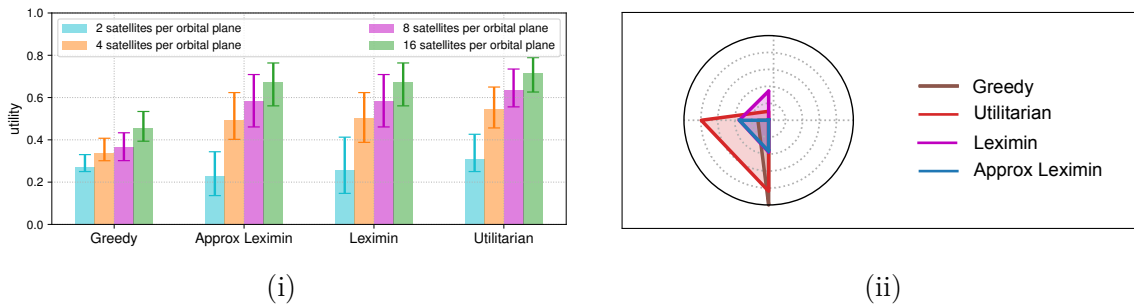


FIG. 2 – (i) Utilité moyenne (somme normalisée des utilités individuelles) obtenue pour quatre constellations. (ii) Profils d’utilité pour l’une des instances (sud : meilleure utilité sur tous les agents ; ouest : deuxième meilleure utilité ; nord : troisième meilleure utilité ; est : pire utilité)

Références

[1] Hervé Moulin. *Fair division and collective welfare*. MIT Press, 2003.

[2] Gauthier Picard, Clément Caron, Jean-Loup Farges, Jonathan Guerra, Cédric Pralet, and Stéphanie Roussel. Autonomous agents and multiagent systems challenges in earth observation satellite constellations. In *Proceedings of the 20th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems*, pages 39–44, 2021.