

Méthodes de recherche à voisinage large pour ordonnancer les activités d'une constellation de satellites

Samuel Squillaci, Stéphanie Roussel, Cédric Pralet

ONERA/DTIS, Université de Toulouse, F-31055 Toulouse, France
{samuel.squillaci,stephanie.roussel,cedric.pralet}@onera.fr

Mots-clés : *satellites, ordonnancement, recherche à voisinage large*

1 Problématique

Nous considérons un ensemble de requêtes d'observation de la Terre à réaliser à l'aide d'une constellation de satellites en orbite basse. Les requêtes peuvent être complexes, *i.e.* elles nécessitent la réalisation de plusieurs observations à choisir parmi un ensemble d'opportunités. Le problème que nous considérons consiste à décider des observations réalisées par chaque satellite de manière à maximiser le score global associé aux requêtes satisfaites [1, 4], ce qui s'apparente à un *Team Orienteering Problem with Time Windows (TOPTW)*. Dans ce travail, nous proposons deux approches de recherche à voisinage large (méthode de type LNS). La première considère un voisinage exploré à l'aide d'une heuristique, alors que la seconde utilise un voisinage reposant sur des appels à un solveur de programmation par contraintes. Ces deux approches ont été évaluées sur des jeux de données réalistes et de grande taille.

2 Modélisation du problème

Chaque observation candidate possède une fenêtre temporelle de réalisation autorisée qui dépend des orbites des satellites. Chaque satellite peut réaliser une séquence d'observations, sachant qu'entre deux observations successives une manœuvre de dépointage de durée non nulle est requise. Les requêtes considérées sont *hétérogènes*, avec des requêtes *one-shot* monoscopiques et stéréoscopiques (respectivement une photo de la zone à observer et deux photos par le même satellite), des requêtes vidéo (séquence de prises de vue de durée longue sur une zone) et des requêtes périodiques (réalisation répétitive d'observations sur une zone cible).

Afin de représenter les différentes alternatives pour satisfaire les requêtes, nous avons défini des *modes de réalisation* d'une requête. Chaque mode décrit des observations élémentaires à réaliser et est accompagné d'un score (score fonction des conditions météo pour chaque observation, du respect de la période pour les requêtes périodiques...). Une solution au problème est alors définie par un ensemble de modes de réalisation choisis pour les requêtes et par l'ordonnancement, sur chaque satellite, des activités à réaliser découlant de ces choix de modes.

3 Deux méthodes de recherche à voisinages larges

Voisinage centré sur les requêtes Pour résoudre le problème présenté ci-dessus, nous avons défini un premier algorithme de recherche à voisinage large centré sur les modes de réalisation des requêtes. Plus précisément, à partir d'une solution initiale, l'algorithme va itérativement enlever des requêtes du plan et remplir à nouveau ce plan en tentant de planifier des modes de réalisation de requêtes non satisfaites. Ce remplissage du plan se fait de manière gloutonne en choisissant le mode d'une requête non satisfaite avec le plus haut score. A chaque réinsertion, on teste la faisabilité des observations assignées à chaque satellite en appelant un

solveur incomplet. Si un mode ne peut pas être inséré, alors on interdit pour la suite de la recherche gloutonne les modes contenant les observations à l’origine de cette infaisabilité.

Voisinage centré sur les composantes connexes Dans la seconde approche introduite, les observations sont partitionnées en un ensemble de *composantes connexes*, où chaque composante regroupe des observations dont les fenêtres de réalisation sont temporellement connectées les unes aux autres. L’algorithme va itérativement détruire (partiellement ou totalement) les observations séquencées dans k composantes connexes et réinsérer des observations en maximisant la somme des récompenses des nouveaux modes planifiés. Ce voisinage s’inspire des mouvements d’échange de clients entre véhicules utilisés dans les problèmes de tournées. Les contraintes du problème étant plus complexes que dans un problème de tournée standard, nous utilisons un outil de programmation par contraintes pour chercher le meilleur échange possible d’observations entre les k composantes connexes considérées à chaque itération.

4 Implémentation et expérimentations

Les instances considérées sont composées de plusieurs centaines de requêtes hétérogènes ciblant des zones en Europe, et les scores des modes de réalisation dépendent des conditions de couverture nuageuse (données météo réelles). La méthode de recherche avec voisinage sur les requêtes et réparation gloutonne (méthode *LNS-greedy*) utilise l’algorithme *ImaxLNS* [2] pour évaluer très rapidement la faisabilité de chaque nouvelle insertion d’observation. La méthode de recherche avec voisinage sur les composantes connexes utilise CpOptimizer 20.1 pour résoudre le problème d’optimisation induit par le voisinage (méthode *LNS-CP*). Pour chacun des algorithmes, des solutions indépendantes sont construites en parallèle sur 20 cœurs de calculs et la meilleure solution est conservée. Le tableau 1 illustre les résultats obtenus avec un temps maximum de 5 minutes. Les colonnes *CP* et *BPCCAS* donnent les résultats obtenus avec des approches de référence préexistantes [3]. Ces résultats montrent que les approches de recherche à voisinage large sont très efficaces pour ce problème. Pour les travaux futurs une des pistes consiste à considérer la version du problème dans laquelle les temps de transition entre observations dépendent des dates auxquelles les transitions sont enclenchées.

Instance	#observations	meilleur score	Ecart d’optimalité (gap) en pourcent			
			CP	BPCCAS	LNS-greedy	LNS-CP
i1	39097	138.5	0.17	0.0	0.0	0.0
i2	45342	300.2	0.4	0.12	0.1	0.0
i3	51606	92.4	0.24	0.18	0.0	0.0
i4	49676	438.0	0.29	0.29	0.01	0.0

TAB. 1 – Résultats sur quatre instances contenant des ensembles de requêtes hétérogènes

Ces travaux sont réalisés avec le support du Programme d’Investissements d’Avenir (projet BPI PSPC LiChIE mené par AIRBUS Defence and Space).

Références

- [1] L. He, X. Liu, G. Laporte, Y. Chen, and Y. Chen. An improved adaptive large neighborhood search algorithm for multiple agile satellites scheduling. *Computers & Operations Research*, 100 :12–25, 2018.
- [2] C. Pralet. Iterated maximum large neighborhood search for the traveling salesman problem with time windows and its time-dependent version. *To appear in Computer & Operations Research*.
- [3] Samuel Squillaci, Stéphanie Roussel, and Cédric Pralet. Parallel scheduling of complex requests for a constellation of earth observing satellites. In *11th International Conference on Prestigious Applications of Intelligent Systems (PAIS)*, 2022.
- [4] X. Wang, G. Wu, L. Xing, and W. Pedrycz. Agile earth observation satellite scheduling over 20 years : formulations, methods and future directions. *IEEE Systems Journal*, pages 1–12, 2020.