Optimisation des acquisitions et des vidages de données pour une constellation de satellites d'observation de la Terre

Projet ISAE COS

C. Pralet

2021-2022

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

Sujet du projet

Programmation mission pour:

- des constellations de 2, 8 ou 18 satellites (orbite héliosynchrone, environ 700 km d'altitude)
- en utilisant un réseau de 6 stations sol du CNES

Objectif: produire au sol

- un **plan d'acquisition** pour chaque satellite
- un **plan de vidage de données** (transmission des acquisitions réalisées vers les stations sol disponibles)

Plans à produire sur une **durée de 24h** (un plan d'une durée de 24h envoyé toutes les 8h au satellite, i.e. planification sur un horizon glissant)

Données d'entrée

Données statiques (constantes au cours de la durée de vie des satellites):

- un ensemble d'**utilisateurs** ayant contribué au satellite, avec pour chaque utilisateur un quota d'utilisation $\in [0, 1]$ fonction de sa contribution
- un ensemble de **satellites** avec pour chacun la liste de ses paramètres orbitaux
- un ensemble de **stations sol** (6 stations du réseau CNES), avec pour chacune ses coordonnées géographiques

Données toutes regroupées dans un **fichier XML** `scenario.mxl`

Parser déjà disponible pour lire ces données et générer des objets Java correspondants

Données d'entrée

Données dynamiques (qui changeront au cours de la durée de vie des satellites):

- l'**horizon de planification** (de durée potentiellement plus faible que 24h pour réaliser des tests)
- le **catalogue des acquisitions candidates** sur l'horizon de planification (demandes d'acquisition formulées par les utilisateurs)
- le **catalogue des acquisitions déjà enregistrées** à bord de chaque satellite au début de l'horizon de planification (acquisitions déjà réalisées mais pas encore vidées vers des stations sol)

Données d'entrée

Caractéristiques des acquisitions candidates:

- un **identifiant** unique (entier) et un nom
- un **niveau de priorité**: 0 (le plus important) ou 1 (le moins important)
- l'**utilisateur** demandant l'acquisition
- les coordonnées géographiques de la zone concernée
- la liste des **opportunités d'acquisition**, correspondant aux fenêtres temporelles de visibilité de la zone, avec pour chaque fenêtre:
  - le **satellite** associé à la visibilité
  - les **dates de début et de fin** de la fenêtre de visibilité
  - la **durée d'acquisition** si l'observation est réalisée dans cette fenêtre
  - l'**angle de roulis** requis par le satellite pour réaliser l'acquisition
  - la **probabilité de présence de nuages** sur la zone à observer (image potentiellement inexploitable si présence de nuages)
  - le **volume mémoire** occupé si l'acquisition est réalisée

Données d'entrée

Caratéristiques des acquisitions déjà enregistrées:

- un **identifiant unique** (entier)
- le **satellite** sur lequel l'acquisition est enregistrée
- l'**utilisateur** associé à l'acquisition
- le **niveau de priorité** de l'acquisition
- la **date de réalisation** de l'acquisition
- le **volume mémoire occupé** par l'acquisition

Données d'entrée

Egalement une liste de fenêtres temporelles disponibles pour réaliser des vidages de données (appelées des **fenêtres de visibilité station**), avec pour chacune:

- un **identifiant unique** (entier)
- le **satellite** et la **station** associés à la fenêtre de visibilité station
- les **dates de début et de fin** de la fenêtre

Données d'entrée "dynamiques" toutes regroupées dans un **fichier XML**

Parser déjà implémenté pour lire le fichier XML et générer des objets Java représentant ces données

Problème d'optimisation sous contraintes

Décisions à prendre pour construire un **plan d'acquisition**:

- sélection des acquisitions à réaliser parmi les acquisitions candidates
- pour chaque acquisition retenue, sélection d'un satellite chargé de la réaliser
- pour chaque acquisition retenue, sélection d'une date de réalisation

Décisions à prendre pour construire un **plan de vidage**:

- pour chaque satellite, sélection des vidages à réaliser parmi les vidages candidats
- pour chaque vidage retenu, sélection d'une station sur laquelle le réaliser
- pour chaque vidage retenu, sélection d'une date de début de vidage

Problème d'optimisation sous contraintes

Quelques **contraintes**:

- acquisition uniquement pendant les **fenêtres de visibilité des zones**
- vidage uniquement pendant les **fenêtres de visibilité station**
- pour un satellite donné, **au plus une acquisition réalisée à chaque instant** (un seul instrument d'acquisition)
- **durée de transition** requise entre deux acquisitions successives (besoin de changer l'attitude du satellite pour passer de la 1ère à la 2nde)
  Hypothèse simplificatrice: durée de transition fonction de l'écart en termes d'angle de roulis et d'une vitesse angulaire moyenne en roulis du satellite
- pour un satellite donné, **au plus un vidage de donnees réalisé à chaque instant** (un seul canal d'émission de données vers le sol)
- pour une station donnée, **au plus une acquisition reçue** à chaque instant (hypothèse d'une seule antenne sol au niveau de chaque station)
- date de début de vidage des données d'une acquisition située **après** la date de réalisation de l'acquisition associée

Problème d'optimisation sous contraintes

"Quelques" **critères** utilisables:

- **priorité** des acquisitions réalisées (une acquisition de priorité 0 toujours préférée à n'importe quel groupe d'acquisitions de priorité 1)
- préférence pour les plans d'acquisition **maximisant le nombre d'images exploitables** (prise en compte de la couverture nuageuse)
- préférence pour les plans de vidages qui réservent **le moins de créneaux de vidage** sur des stations sol
- préférence pour la réalisation des **acquisitions au plus tôt**
- préférence pour la réalisation des **vidages au plus tôt**
- ...

Eléments fournis

Dans les **fichiers Java fournis**, déjà des exemples montrant comme réaliser une chaîne d'optimisation pour obtenir des plans d'acquisition et de vidage

Fichier `BadAcquisitionPlannerMIP.java`:

- lecture du scénario
- génération d'un fichier OPL `.dat` par satellite décrivant les données d'entrée
- résolution à l'aide de CPLEX avec un fichier `.mod` contenant un modèle du problème d'optimisation des acquisitions
- plans d'acquisition trouvés écrits dans des fichiers (format prédéfini)

Fichier `BadAcquisitionPlannerGreedy.java`:

- lecture du scénario
- utilisation d'un algorithme glouton très basique qui tente de planifier à chaque étape une acquisition candidate choisie aléatoirement
- plans d'acquisitions trouvés écrits dans des fichiers (format prédéfini)

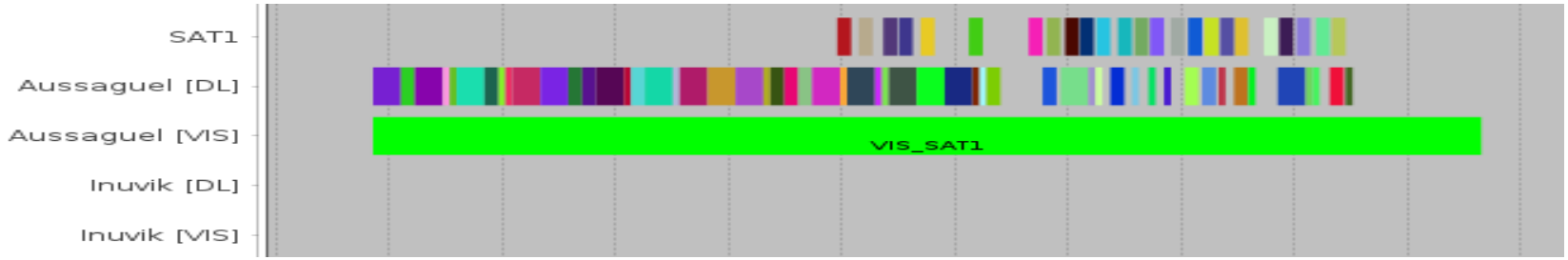
Eléments fournis

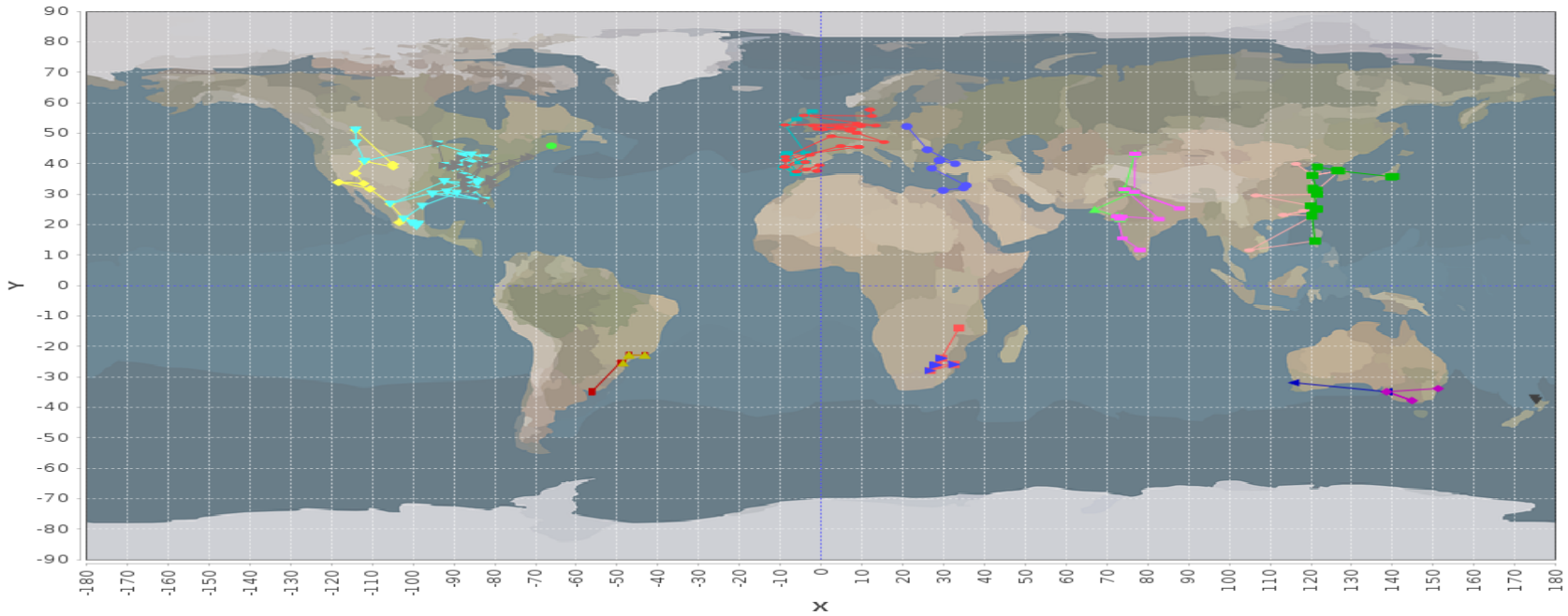
Fichier `BadDownloadPlanner.java`:

- lecture du scénario et du plan d'acquisition généré à l'étape précédente
- application d'une règle de décision qui insère des vidages dans un ordre chronologique (parcours des acquisitions à vider par date de réalisation croissante et parcours des visibilités station dans l'ordre chronologique)
- problème à traiter: règle de décision qui fonctionne pour la constellation à 2 satellites mais qui peut conduire à des plans infaisables dans le cas général (conflits d'accès aux stations non pris en compte)
- plan de vidage trouvé écrit dans un fichier texte (format prédéfini)

Eléments fournis

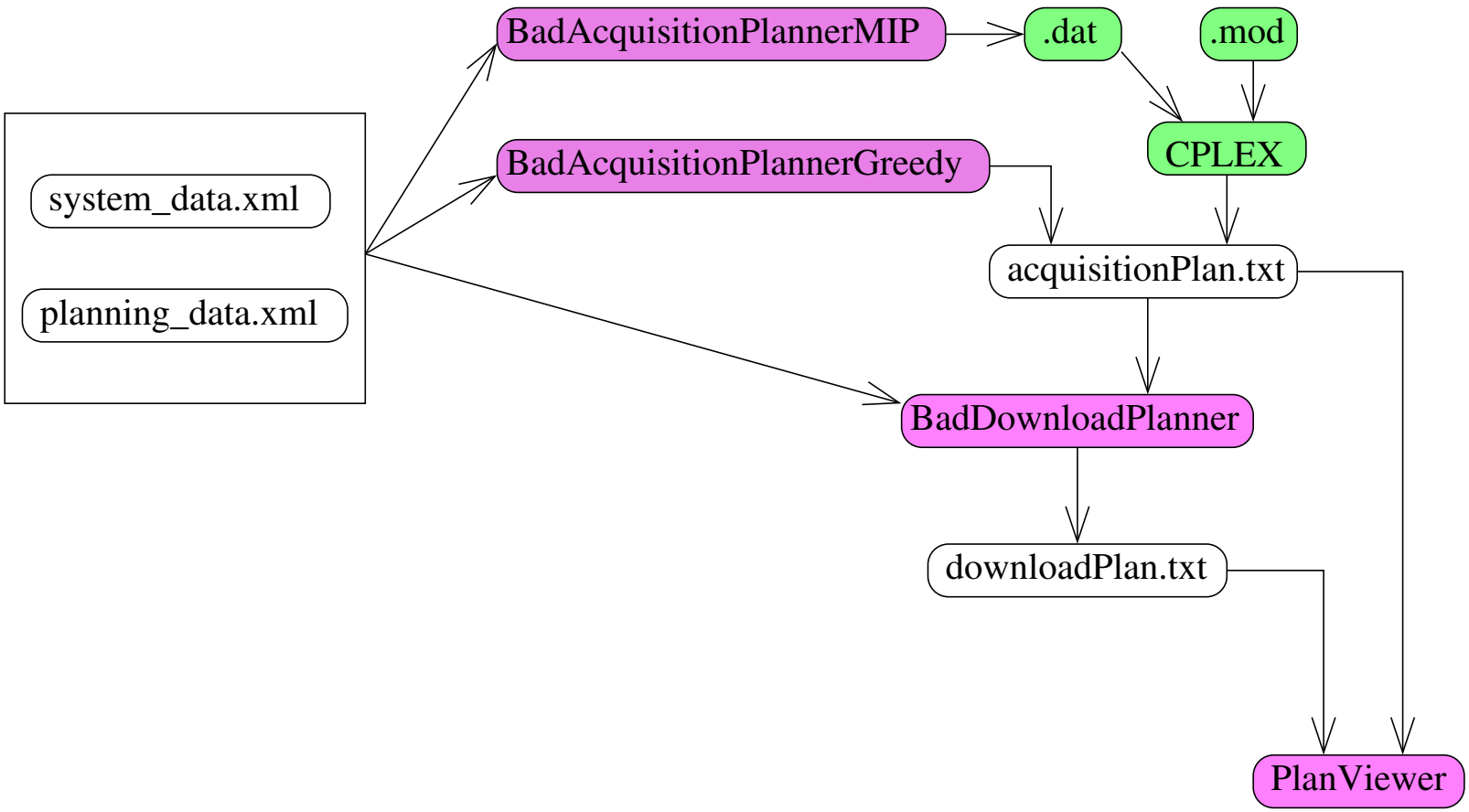
Outil de visualisation des plans prenant en entrée les fichiers de scénario, les fichiers de plan d'acquisition, les fichiers de plan de vidage





Eléments fournis

Chaîne d'optimisation obtenue avec les "BadPlanners":



Projet: les règles du jeu

Approche générale:

- **sujet ouvert**, avec une grande liberté sur les modèles et méthodes utilisables (pas de corrigé type, pas de question 1, question 2...)
- pratique de toute la **chaîne de l'optimisation**, allant de la formalisation des données d'entrée à la visualisation et l'analyse des solutions produites
- besoin de s'**interfacer** avec un code déjà existant

Logistique:

- **11h de projet réparties sur plusieurs séances**
- un "**sprint review**" (bilan d'avancement) au cours de chaque séance, pour discuter des idées, s'inspirer de bonnes pratiques d'autres groupes...

Note: on ne s'attend pas à ce qu'en 11h tous les aspects du problème soient traités! → à vous de choisir comment vous faites évoluer votre sujet

Projet: les règles du jeu

Groupes de **2 ou 3 élèves**

Fonctionnement entre groupes:

- possibilité de récupérer un morceau de code d'un autre groupe pour résoudre un sous-problème particulier, **mais dans ce cas obligation de faire une référence explicite au groupe fournisseur du code**

Projet: les règles du jeu

Phase finale:

- **soutenance de projet le 19 novembre**: pour chaque groupe, 15 min de présentation + 5 min de questions; objectif de défendre les qualités de votre système de programmation mission
- **rapport de projet au format pdf + une archive contenant les fichiers Java/OPL modifiés**; à déposer sur le LMS pour le **9 décembre**

Contenu attendu du rapport (**15 pages max**):

- inutile de présenter à nouveau le sujet du projet
- description de l'**utilisation de techniques** d'optimisation (modèles développés et méthodes d'optimisation utilisées)
- analyse des **performances** en termes de critères et de temps de calcul
- **comparaison entre méthodes** (par exemple avec les "BadPlanners")
- réutiliser au maximum le contenu déjà produit pour la soutenance

Conseils pour démarrer

Etape 1: faire tourner la chaîne d'optimisation déjà implémentée

Etape 2: définir des critères d'optimisation et intégrer leur calcul au code fourni

Etape 3: construction de votre système de programmation mission

Conseils pour démarrer

Quelques idées en vrac (liste non exhaustive):

- réflexion sur l'optimisation multi-critère (somme pondérée, hiérarchie...); possibilité de se concentrer sur priorité et couverture nuageuse
- planification pour chaque satellite ou planification pour la constellation
- modèle OPL fonctionnant pour plusieurs satellites (se limiter à deux satellites max)
- amélioration des règles gloutonnes, recherche locale, métaheuristiques
- réalisation d'un algorithme de vidage correct pour une grande constellation
- comparaison de plusieurs approches de résolution (programmation linéaire en nombre entiers, règles de décision...)
- décomposition de problème
- ...