

Une heuristique de résolution d'un modèle d'ordonnancement à base de contraintes de la gestion opérationnelle du trafic ferroviaire

Joaquin Rodriguez, Grégory Marlière, Sonia Sobieraj

Université Lille-Nord de France, INRETS,
20, rue Elisee Reclus - BP 317, F-59666 Villeneuve d'Ascq ,France
{joaquin.rodriguez,gregory.marliere, sonia.sobieraj}@inrets.fr

Mots-Clés : *trafic ferroviaire, job-shop avec blocage, programmation par contraintes*

1 Introduction

Dans les zones de trafic dense des réseaux ferroviaires, les conflits de circulation et les retards qui en découlent peuvent produire d'importantes réactions en chaîne et ainsi provoquer d'autres retards beaucoup plus importants. L'opérateur qui contrôle le trafic doit sélectionner et évaluer des solutions alternatives qui réduisent ce phénomène d'amplification des retards. Cette tâche de l'opérateur peut être formulée comme un problème d'optimisation où les variables de décision sont le *choix des itinéraires* et le *choix de l'ordonnancement* des trains. Ce problème d'optimisation est à la fois un problème d'affectation de ressources et un problème d'ordonnancement. Ce type de problème d'optimisation combinatoire est difficile à résoudre avec des méthodes exactes pour des tailles d'instance issues de situations réelles. Pour traiter ce problème, nous avons développé un modèle et une heuristique de résolution qui utilisent de manière complémentaire la programmation par contraintes et la théorie de l'ordonnancement.

2 Modélisation et heuristique de résolution

Le principe de la modélisation se base, comme dans [5], sur l'idée qu'une circulation ferroviaire sur un secteur de contrôle peut être assimilée à un «job». Le mouvement du train est décomposé en une séquence de tâches exécutées sur des ressources unaires et qui doivent satisfaire des contraintes de blocage et de synchronisation. Cette caractéristique du problème d'ordonnancement des circulations ferroviaires en font un *problème de job-shop avec blocage* [3, 2].

Une partie des contraintes de notre modèle ont été décrites dans [4]. Nous considérons ici les résultats obtenus avec l'ajout de contraintes redondantes qui améliorent la réduction des domaines des variables et une heuristique de résolution. L'heuristique est une méthode constructive issue de [1]. À chaque étape de construction d'une solution, cette méthode mixe le choix entre un ordonnancement local de tâches et une affectation de ressources unaires. Plus précisément, chaque étape de construction d'une solution se compose des sous-étapes suivantes :

1. Identifier une ressource R ayant une « *criticité maximum* » à un instant t_{max} .
2. Identifier deux tâches non séquencées A et B qui demandent R durant t_{max} . Analyser les conséquences de chaque ordonnancement possible à partir du calcul des marges temporelles associées.
3. Identifier une tâche C qui contribue le plus à la criticité de R à l'instant t_{max} et qui peut être exécutée sur d'autres ressources.
4. Faire *un choix* parmi les alternatives suivantes :
 - (a) Contraindre la meilleure séquence de tâches ($A \prec B$ ou $B \prec A$) avec pour alternative la séquence opposée.
 - (b) Contraindre la tâche C à ne pas être exécutée avec la ressource R avec pour alternative l'exécution de C avec la ressource R.

La mesure de « criticité » de l'étape 1 et qui conditionne le choix de R et des tâches A,B,C se base sur l'agrégation pour chaque ressource des courbes des demandes individuelles de chaque tâche.

3 Expérimentations

Nous avons testé le modèle et cette technique de résolution sur des infrastructures et des scénarios d'exploitation de *nature différente*. Les données utilisées sont issues de trois cas d'application :

1. Le noeud de Pierrefitte-Gonesse au Nord de Paris où circulent trois catégories de trains : des TGV, des trains Grandes Lignes et des trains de marchandises. La longueur du parcours est de 18 kilomètres et la durée d'environ 5 minutes
2. La gare de Lille-Flandres qui est une gare terminus comportant 17 quais et qui est reliée à 7 lignes. Le trafic est composé de TGV, TER et trains Grandes Lignes. La longueur des parcours est de 4 kilomètres pour une durée moyenne de 6 minutes.
3. La ligne d'Utrecht-Den Bosch du réseau hollandais. Le trafic est composé de trains de voyageurs « inter-city » et de trains de marchandises. La longueur de la ligne est de 50 kilomètres, il y a 7 gares de passage et un arrêt pour les trains de marchandises.

Pour les expérimentations nous avons utilisé des instances de difficulté croissante. Les résultats montrent que l'heuristique de résolution améliore de façon significative la qualité des solutions et les temps de calcul lorsqu'on la compare à la méthode qui traite séparément le problème d'affectation des ressources du problème d'ordonnancement des tâches.

Références

- [1] John Christopher Beck. *Texture Measurements as a Basis for Heuristic Commitment Techniques in Constraint-Directed Scheduling*. PhD thesis, University of Toronto, 1999.
- [2] Andrea D'Ariano. *Improving Real-Time Train Dispatching : Models, Algorithms and Applications*. PhD thesis, Delft University of Technology, 2008. TRAIL Thesis Series no. T2008/6.
- [3] A. Mascis and D. Pacciarelli. Job-shop with blocking and no-wait constraints. *European Journal of Operational Research*, (143) :498–517, 2002.
- [4] J. Rodriguez. A constraint programming model for real-time train scheduling at junctions. *Transportation Research Part B : Methodological*, 41(1) :231–245, 2007.
- [5] Bernardo Spzigel. Optimal train scheduling on a single track railway. In M. (ed.) Ross, editor, *OR'72*, pages 343–352. North Holland Publishing Co., 1973.