

Algorithme d'optimisation pour les problèmes de tournées et d'horaires

Responsable du projet :

François Soumis

GERAD et École Polytechnique de Montréal

Tél. : (514) 340-6053 poste 6044

Fax : (514) 340-5665

Courriel : soumis@crt.umontreal.ca

Chercheurs principaux :

Jean-François Cordeau

Jacques Desrosiers

Guy Desaulniers

Gilbert Laporte

Odile Marcotte

Gilles Pesant

GERAD et École des Hautes Études Commerciales

GERAD et École des Hautes Études Commerciales

GERAD et École Polytechnique de Montréal

CRT et École des Hautes Études Commerciales

GERAD et Université du Québec à Montréal

CRT et École Polytechnique de Montréal

Introduction:

Nous développons depuis plusieurs années au GERAD et au CRT le logiciel GENCOL qui utilise la méthode de génération de colonnes pour résoudre les grands problèmes de tournées et d'horaires pour les véhicules ou leurs équipages. Ce logiciel est maintenant utilisé par plusieurs chercheurs du GERAD, du CRT, du CRM et d'autres universités au Canada, aux États-Unis et en Europe. Il est aussi commercialisé à travers le monde par deux entreprises montréalaises : AD OPT commercialise des applications en transport aérien et ferroviaire; GIRO commercialise des systèmes utilisant GENCOL en transport en commun et en transport scolaire.

Une première recherche impliquant deux des chercheurs est en cours dans le cadre du rcm_2 pour faciliter l'obtention de solutions entières pour les problèmes simples de tournées d'autobus. Ce nouveau projet qui ajoute 5 chercheurs à l'équipe propose de poursuivre les développements fondamentaux sur GENCOL pour faciliter l'obtention de solutions entières et de les généraliser pour les problèmes plus complexes de rotations d'équipages aériens et d'horaires de personnel travaillant sur des quarts.

de ravitaillement ou d'entretien des véhicules et même la convention collective des employés.

Ces problèmes posent un défi aux chercheurs par leurs difficultés et leurs importances économiques. Une première difficulté est leurs tailles. Les applications à traiter comportent des centaines de tâches et même des milliers. Ces problèmes admettent des millions de millions de chemins réalisables. Ces chemins sont si nombreux qu'il est impossible de tous les énumérer. Une autre difficulté majeure est que les solutions doivent être en nombres entiers. Les fractions de véhicules ou d'employés n'ont pas de sens. L'importance économique découle des budgets d'opération gigantesques des grands réseaux de transport. Les coûts d'opération d'une flotte d'avions ou des équipages dépassent le milliard dans une grande compagnie. Des gains de productivité de quelques pour-cent représentent donc des dizaines de millions annuellement.

Les éléments principaux utilisés par le logiciel GENCOL pour résoudre ces problèmes sont les suivants. La solution optimale entière est obtenue par énumération implicite en explorant un arbre de branchement où à chaque nœud on résout une relaxation linéaire du problème. Ce problème est résolu par génération de colonnes. Cette méthode résout alternativement un problème maître et des sous-problèmes jusqu'à l'obtention de la solution optimale. Le problème maître résolu avec l'algorithme du simplexe consiste à couvrir les tâches avec un ensemble restreint de colonnes. Des sous-problèmes génèrent des chemins à ajouter au problème maître pour améliorer la solution courante. Ce sont des problèmes de plus courts chemins dans un graphe et ils sont résolus par programmation dynamique.

Objectifs généraux de recherche

L'objectif principal est d'améliorer GENCOL en y ajoutant plusieurs nouveaux concepts.

Plans de coupure

Il s'agit d'ajouter à la relaxation linéaire du problème des contraintes supplémentaires qui éliminent les solutions fractionnaires tout en conservant toutes les solutions entières. Ce projet a été entrepris depuis un an grâce au soutien du réseau rcm_2 . Le rapport décrit cette recherche de façon plus détaillée et présente l'état des travaux.

Fixer des variables

Il s'agit d'identifier à chaque nœud de l'arbre d'énumération les variables dont la valeur peut être fixée. Certaines variables peuvent être fixées si leur coût réduit est inférieur à l'écart entre la borne inférieure et la borne supérieure. La difficulté est de calculer les coûts réduits et les bornes dans le contexte de la génération de colonnes où il faut

Résolution des sous-problèmes avec la programmation par contrainte

Cette méthode permet de modéliser rapidement des contraintes complexes. Elle produit rapidement de bonnes solutions entières pour les problèmes très contraints. Elle pourrait présenter des avantages par rapport aux approches de plus courts chemins avec contraintes de ressources pour modéliser certaines conventions collectives.

Objectifs spécifiques et plan de travail

La recherche est réalisée en travaillant par domaine d'application. L'ajout des nouveaux concepts et leur validation sont réalisés graduellement en travaillant d'abord sur les problèmes simples et en passant ensuite aux applications plus complexes.

Tournées d'autobus

Ce problème consiste à construire des routes d'autobus provenant de plusieurs dépôts pour effectuer un ensemble de voyages. Ce problème est assez simple car les sous-problèmes sont des problèmes de plus courts chemins sans contrainte. Il est l'objet de travaux depuis près d'un an par O. Marcotte, F. Soumis et le chercheur post-doctoral A. Hadjar. Le développement des couples de cycles impairs et la fixation de variables suivant le critère des coûts réduits ont permis de porter de 150 à 500 tâches la taille des problèmes résolus optimalement avec GENCOL. Ce travail devrait être complété à la fin de 1999. Les travaux se poursuivront en adaptant ces idées pour obtenir une meilleure version heuristique de GENCOL, produisant de bonnes solutions entières pour les problèmes de 1000 tâches ou plus. Cette phase nécessitera environ 6 mois.

Rotations d'équipages aériens

Le problème consiste à construire les rotations des pilotes ou des agents de bord pour effectuer un ensemble de vols. Une rotation est une suite de vols qu'un équipage effectuera durant quelques jours en partant de sa base et en y revenant. Ce problème est beaucoup plus complexe que le précédent car une rotation doit satisfaire de nombreuses règles de la convention collective sur la durée maximale de travail et sur les repos requis.

Le premier objectif est d'adapter les coupes de cycles impairs et la fixation de variables basées sur le critère de coût réduit à ces problèmes beaucoup plus complexes. Ce sera une contribution importante car jusqu'ici les coupes ont été développées pour des problèmes académiques présentant des structures beaucoup plus simples. Ces travaux seront réalisés par l'équipe précédente à laquelle s'ajoutera J. Desrosiers qui connaît bien ce problème et un étudiant de M.Sc. Les travaux nécessiteront 2 ans.

présente donc un potentiel de gain de l'ordre de 10 000 000 \$ annuellement dans une grande compagnie aérienne. Les deux recherches précédentes ont donc un grand potentiel de retombées.

Horaires de personnel travaillant sur des quarts

AD OPT a développé un système composé de plusieurs modules qui détermine les quarts de travail, les affecte au personnel et y place les différents types d'activités. Ce système est commercialisé dans une dizaine de pays pour fabriquer les horaires de travail des contrôleurs aériens.

L'objectif sera de développer un système qui construit des quarts sur mesure pour chaque personne et y place les activités en une seule opération. Ce système sera réalisé avec GENCOL en utilisant la programmation par contraintes pour traiter les sous-problèmes. Le défi sera d'intégrer GENCOL, les coupes, la fixation de variables et la programmation par contraintes pour résoudre efficacement ces problèmes. Un étudiant de doctorat travaillera sur la résolution du problème maître et l'obtention de solutions entières et un étudiant de maîtrise travaillera sur la résolution des sous-problèmes avec la programmation par contraintes. À ces étudiants s'ajouteront le stagiaire post-doctoral A. Hadjar à compter de juillet 2000, les professeurs F. Soumis, G. Desaulniers et J.-F. Cordeau, qui travaillent déjà ensemble sur une version réduite de ce projet, et les professeurs G. Laporte et G. Pesant qui ont déjà travaillé ensemble sur un problème similaire. Deux ans seront nécessaires pour réaliser ces travaux.

Ces travaux permettront de réaliser un logiciel beaucoup plus général qui pourra être adapté à de nouveaux marchés verticaux (corps policier, personnel infirmier, personnel au sol des compagnies aériennes, ...). Ceci ouvre un grand potentiel de retombées.