

Systemes de transport intelligents

Responsable du projet :

Teodor Gabriel Crainic

Centre de recherche sur les transports / Management et technologie

Université de Montréal / UQAM

Tél.: (514) 343-7143

Fax : (514) 343-7121

Courriel : theo@crt.umontreal.ca

Chercheurs principaux :

Michael Florian

de Montréal

Centre de recherche sur les transports, Université

Michel Gendreau

de Montréal

Centre de recherche sur les transports, Université

Bernard Gendron

de Montréal

Centre de recherche sur les transports, Université

Rudolph Keller

de Montréal

Centre de recherche sur les transports, Université

Description du projet

Problématique et contexte

Depuis une dizaine d'années, on assiste à travers le monde à une évolution très rapide du monde des transports. Cette évolution résulte de la prise de conscience de l'impossibilité de continuer à construire de nouvelles infrastructures pour faire face à l'augmentation constante de la demande. On a donc vu émerger notamment en Europe, au Japon et aux États-Unis un nouveau paradigme pour le développement des systèmes de transport : les Systèmes de Transport Intelligents (STI). De façon générale, les STI reposent sur l'utilisation des derniers développements dans les domaines de l'informatique, de la recherche opérationnelle et des télécommunications pour exploiter en temps réel les informations disponibles, ceci dans le but de tirer le meilleur parti des infrastructures existantes. Un aspect important de l'approche STI est qu'elle vise à aborder de façon intégrée et cohérente l'ensemble des transports, tant de personnes que de marchandises, sur un territoire donné. La mise en œuvre de STI nécessite donc des recherches et des développements considérables tant au niveau

Le C.R.T. a reconnu l'importance des STI pour l'avenir des transports et de la recherche en transport en fondant en 1994 un laboratoire qui leur est consacré. Ce laboratoire vise à stimuler et à coordonner les travaux des chercheurs C.R.T. dans ce domaine, tout en leur assurant une plus grande visibilité sur les plans national et international.

Objectifs

Le principal objectif de ce projet est la poursuite des travaux réalisés depuis la mise en place du Rcm₂ dans le domaine des STI. Ces travaux se sont articulés autour de deux thèmes principaux :

- 1) les modèles d'affectation dynamique et de simulation mésoscopique du trafic routier ;
- 2) les applications STI en transport des marchandises ("Commercial Vehicle Operations") qui visent les firmes privées de transport.

Dans les deux cas, nous visons le développement de modèles pertinents pour les situations considérées et d'algorithmes performants pour résoudre ces modèles quand on les applique à des cas réels non triviaux (il s'agit donc en général de problèmes de taille assez importante).

Nous voulons aussi ajouter cette année un troisième volet à ces recherches. Celui-ci portera sur le développement de simulateurs d'expérimentation ("testbeds") permettant de représenter et de tester de façon intégrée l'ensemble des éléments composant l'architecture STI déployée sur un territoire donné, notamment les systèmes de gestion et de contrôle de la circulation, les systèmes de guidage des usagers, les systèmes de gestion de flottes de véhicules commerciaux ou d'urgence. Il est important de souligner que l'objectif visé ici n'est pas la mise en œuvre complète de tels simulateurs qui représenterait un travail considérable, mais plutôt le développement des concepts et outils informatiques de base permettant de faire ceci à moyen terme.

Méthodologie

La conception et le déploiement des Systèmes Intelligents de Transport (SIT) requièrent la prise en compte explicite des variations temporelles de la demande, des conditions et de l'intensité du trafic. Afin d'évaluer diverses stratégies de contrôle du trafic, il faut utiliser des modèles dynamiques dont la résolution est difficile. En particulier, la formulation du modèle dynamique d'affectation de trafic comme un problème d'inégalité variationnelle à dimension infinie demande la résolution du problème de "chargement de réseau", qui consiste à déterminer sur un réseau temporel congestionné les flots et les temps de parcours des arcs et des chemins, étant donné les taux de flot pour chaque chemin pour une période déterminée. Nous proposons deux approches

chemins efficaces. La recherche est orientée dans plusieurs directions : résolution du problème de chargement du réseau par simulation d'événements en considérant des capacités explicites des arcs (M.Sc. Er-Rafia), utilisation du modèle de transmission de cellules de C. Daganzo pour résoudre ce problème par une simulation basée sur la discrétisation du temps et de l'espace (Ph.D. Velan) et une approche basée sur une simulation d'un réseau de files d'attente (Ph.D. Mahut). Nous prévoyons des résultats importants pendant la première moitié de ce projet. Nous avons aussi réalisé une implantation parallèle du microsimulateur AIMSUN2 qui sera essentielle pour la validation des résultats des approches mésoscopiques décrites.

Dans le cadre des applications STI en transport des marchandises (CVO) nous travaillons actuellement aux problèmes fondamentaux de synthèse de réseaux. Cette classe de problèmes donne lieu à des formulations de programmation mathématique entière mixte, avec une structure de réseaux multiproduits avec capacités et contraintes additionnelles. Ces formulations sont difficiles tant au sens de la complexité mathématique que pour les applications de taille réaliste (nombre d'arcs et de produits). Nous travaillons actuellement sur des problèmes, statiques et déterministes selon trois volets complémentaires : (i) Bornes et coupes. Nous avons proposé des bornes inférieures ("lagrangiennes") qui sont à la fois serrées et dont l'évaluation est rapide grâce à l'utilisation de méthodes sophistiquées d'optimisation non différentiable. Nous travaillons à améliorer la qualité des bornes supérieures obtenues à partir des mêmes relaxations (M.Sc. Hernu). Un travail majeur concerne le développement et l'analyse, théorique et analytique, d'inégalités valides afin de : (a) obtenir une meilleure compréhension de la structure mathématique du problème; (b) développer des méthodes de coupe ; (c) améliorer la qualité des bornes et la convergence des procédures d'énumération (Ph.D. Chouman). (ii) Métaheuristiques. Les méthodes de recherche avec tabous ("Tabu Search" - TS) sont au cœur de ce volet. Nous avons développé une approche originale et efficace (surtout lorsque le nombre de produits croît) qui intègre les principes de génération de colonnes et de "pivotage" à une structure de TS dans l'espace des variables de flot. Nous travaillons à la mise au point d'une méthode qui explore l'espace des solutions à partir des variables binaires de design par des mouvements définis par des cycles d'augmentation de flot (Ph.D. Ghamlouche). Nous étudierons également les méthodes basées sur les listes de candidats d'élite ("scatter search"), ainsi que des stratégies d'intensification et de diversification de la recherche (M.Sc.). (iii) Méthodes d'évaluation et de séparation progressive ("Branch-and-Bound" -B&B) visant à trouver des solutions "optimales" au problème de design. Les questions principales : (a) stratégies d'exploration de l'arbre, de sélection des candidats et de branchement ; (b) intégration d'inégalités valides ; (c) utilisation simultanée de bornes obtenues par des méthodes exactes et de TS (2

d'implanter et de tester une structure décisionnelle hiérarchique distribuée. Le but de cette architecture est de permettre la décomposition (spatiale, fonctionnelle, temporelle ou selon plusieurs dimensions à la fois) des décisions (de guidage, par exemple) qui ne pourraient pas être réalisées de façon centralisée à des échelles réalistes de réseaux. Le défi est à la fois informatique - génie logiciel et calcul parallèle- et de recherche opérationnelle dans la recherche d'une solution globalement optimale (ou proche de l'être) à partir de décisions locales/distribuées. (Ph.D. Le Bouthillier).

Réseautage

Le projet implique maintenant des chercheurs de deux universités (P. Hansen s'est retiré) et de deux compagnies. Les chercheurs et les étudiants proviennent de deux domaines scientifiques : recherche opérationnelle et informatique.

Rapport d'étape 1999-2000

Historique

Ce projet fait partie des projets qui constituaient la demande originale de financement pour le rcm_2 . Le projet s'est poursuivi avec le soutien des Consultants INRO Inc.

Sur le plan scientifique, les travaux prévus dans le domaine de l'affectation dynamique et de la simulation du trafic ont été réalisés selon les plans originaux. En ce qui concerne les travaux dans le domaine du transport des marchandises, ceux-ci ont été réorientés en partie vers les problèmes plus fondamentaux de synthèse de réseaux qui couvrent une vaste gamme d'applications (thèses d'Ilfat Ghamlouche et Mervat Chouman). Nous avons aussi étudié les problèmes de synthèse de réseaux de services en contexte ferroviaire.

Une remarque importante s'impose en ce qui concerne les retombées concrètes des travaux menés dans le cadre de ce projet : la grande majorité des étudiants impliqués ont amorcé leurs études de doctorat à peu près au moment de la formation du rcm_2 . C'est donc dire que c'est véritablement cette année qu'ils atteignent leur vitesse de croisière en recherche et qu'ils commencent à être en mesure de produire des résultats vraiment intéressants qui méritent d'être mis sous la forme d'articles pouvant être publiés.

Publications

Articles dans des revues avec comité de lecture

Adamo, Y., Astarita, V., Florian, M., Mahut, M., Wu, J.H. (1999). *Modelling the Spill-Back*

(eds.), *Equilibrium and Advanced Transportation Modelling*, Kluwer Academic Publishers, pp. 1-26.

Crainic, T.G. (1999), *Network Design in Freight Transportation*, European Journal of Operational Research, à paraître.

Crainic, T.G. (1999), *Long Haul Freight Transportation*, Handbook of Transportation Science, Hall, R.W. (Ed.), Kluwer, Norwell, MA, à paraître.

Crainic, T.G., Frangioni, A., Gendron, B. (1998), *Bundle-Based Relaxation Methods for Multicommodity Capacitated Fixed Charge Network Design Problems*, publication CRT-98-45, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, soumis à la revue Discrete Applied Mathematics.

Crainic, T.G., Gendreau, M. (1998), *Cooperative Parallel Tabu Search for Capacitated Network*, publication CRT-98-71, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, soumis à la revue Journal of Heuristics.

Crainic, T.G., Gendreau, M., Farvolen, J.M. (1999) ,*A Simplex-based Tabu Search for Capacitated Network Design*, INFORMS Journal on Computing, à paraître.

Crainic, T.G., Toulouse, M. (1998), *Parallel Metaheuristics, Fleet Management and Logistics*, T.G. Crainic, G. Laporte (eds.) Kluwer Academic, Norwell MA, pp. 205-251.

Gendron, B., Crainic, T.G., Frangioni, A. (1998), *Multicommodity Capacitated Network Design, Telecommunications Network Planning*, B. Sanso, P. Soriano (eds.), Kluwer Academic, Norwell MA, pp. 1-19.

Xu, Y., Wu, J.H., Florian, M., Marcotte, P., Zhu, D.L. (1999), *Advances in the Continuous Dynamic Network Loading Problem*, à paraître dans Transportation Science.

Conférences avec comité de lecture

Wu, J.H., Florian, M., Xu, Y.W., Rubio-Ardariáz, J.M., *A Projection Algorithm for the Dynamic Network Equilibrium Problem*, Proceedings of International Conference on Traffic and Transportation Studies, Yang, Z., Wang, C.P. et Mao B.H. (eds), ASCE, pp. 379-390.

Florian, M., Chabini, L., Le Saux, É., *Parallel and Distributed Computation of Shortest*

Wu, J.H., Florian, M., Xu, Y.W., Rubio-Ardanaz, J. (1998), *A Projection Algorithm for the Dynamic Network Equilibrium Problem*, Proceedings of International Conference on Traffic and Transportation Studies, Yang, Z., Wang, C.P., Mao, B.H. (eds), ASCE, pp. 379-390.

Conférences - Présentations

Adamo, V., Florian, M., Mahut, M., Wu, J.H., *A Framework for Introducing Spill back in Link Based Dynamic Network Loading Models*, TRISTAN III Conference, Puerto Rico, 1998.

Wu, J.H., Florian, M., Rubio-Ardanaz, J.M., *The Continuous Dynamic Network Loading Problem: Recent Computational Results*, TRISTAN III Conference, Puerto Rico, 1998.

Adamo, V., Astarita, V., Wu, J.H., Mahut, M., Florian, M., *Analytical and Applicative Framework for Spillback Congestion Modeling in the Continuous Time Link-Based Dynamic Network*, INFORMS Conference, Montréal, 1998.

Chabini, I., Florian, M., Tremblay, N., Barcelo, J., Ferrer, J., *Application of the AIMSUN2/RB Microsimulator in Montréal*, INFORMS Conference, Montréal, 1998.

Mahut, M., *Speed Maximizing Car Following Models Based on Size Stopping Rules*, TRB 1999 Annual Conference, 1999.

Crainic, T.G. (1998), *Network Design in Freight Transportation*, Joint Workshop IFIP WG 7.6 - IIASA on Advances in Modeling : Paradigms, Methods and Applications, Laxenburg, Austria.

Crainic, T.G., Toulouse, M. (1998), *Parallel Metaheuristics Tutorial*, PAREO'98, Versailles, France.

Bourbeau, B., Crainic, T.G., Frangioni, A., Gendron, B. (1998), *Relaxation Methods for Multicommodity Capacitated Network Design*, TRISTAN III Conference, Puerto Rico.

Crainic, T.G., Powell, W.B. (1998), *Static and Dynamic Service Network Design*, TRISTAN III Conference, Puerto Rico.

Crainic, T.G., Gendreau, M. (1998), *Metaheuristics for Multicommodity Capacitated Network Design*, C098, Bruxelles, Belgique.

Ghamlouche, I., Crainic, T.G., Gendreau, M. (1998), *Improving Tabu Search Heuristics for Multicommodity Fixed Charge Network Design*, INFORMS, Montréal.

Le Bouthillier, A., Crainic, T.G., Gendreau, M. (1998), *Memory Management Strategies for Cooperative Multithread Parallelism*, INFORMS, Montréal.

Powell, W.B., Simao, H.P., Papadaki, K., Cheung, R.K., Crainic, T.G. (1998), *Dynamic Service Network Design*, INFORMS, Montréal.