

MAORE

Méthodes Algorithmiques pour l'Ordonnancement et les Réseaux

Effectifs
au 30/06/2013 :
8 permanents (4 ETP)
3 doctorants (3 ETP)

Nombre de thèses soutenues
entre le 01/01/2008
et le 30/06/2013 : 4 + 1 HDR

Responsable :
Rodolphe Giroudeau
puis **Miklos Molnar**

Page Internet de l'équipe :
[http://www.lirmm.fr/
recherche/equipes/maore](http://www.lirmm.fr/recherche/equipes/maore)

RECHERCHE OPERATIONNELLE, OPTIMISATION COMBINATOIRE,
COMPLEXITE, APPROXIMATION, RESEAUX, ORDONNANCEMENT,
SIMULATION

Présentation

L'évolution des réseaux et des systèmes soulève sans cesse des questions nouvelles. Les modèles classiques ne suffisent plus pour y répondre. Les nouvelles contraintes et caractéristiques doivent être traduites dans le modèle pour pouvoir en dériver des solutions pertinentes d'un point de vue pratique. Les membres de l'équipe MAORE étudient donc des problèmes d'optimisation combinatoires relatifs à la modélisation de ces réseaux et systèmes distribués de nouvelle génération. Nos thèmes d'application privilégiés concernent principalement la modélisation des communications (réseaux ad'hoc, réseaux de capteurs, ordonnancement) et la résolution de problèmes d'optimisation associés. Notre démarche consiste à analyser la complexité des problèmes (classique, paramétrée), de les résoudre par des méthodes approchées (avec ou sans garantie de performance) ou des méthodes exactes. Malgré le fait que nos travaux soient d'ordre théorique, le réalisme souhaité de nos modèles et la généralité de nos méthodes nous permettent d'entretenir des collaborations académiques avec des chercheurs de thématiques diverses et industrielles fructueuses.

Evolution de l'équipe

L'équipe MAORE a été créée en 2010 sur la base de l'ancienne équipe APR (Algorithmes et Performance des Réseaux). Durant la période 2008-2013, l'équipe a vu le départ à la retraite du professeur Olivier Cogis (octobre 2011, IUT de Montpellier) et du maître de conférences Ehoud Ahronovitz (équipe APR, septembre 2008, UM2,) et le départ pour cause de changement de thématique du directeur de recherche Inria Alain Jean-Marie (septembre 2011, LIRMM). Elle a également intégré en son sein le professeur Miklos Molnar (IRISA Rennes 2010) et le maître de conférences Marin Bougeret (Grenoble SCOP 2011). Tous deux sont affectés à l'IUT de Montpellier. Les membres de l'équipe sont tous des enseignants-chercheurs qui interviennent dans deux universités (UM2 (Fac des Sciences et IUT de Montpellier) et UM3).

Organisation et Vie de l'équipe

Plusieurs groupes de travail sont organisés dans l'équipe : un groupe sur des problèmes d'ordonnancement, un sur les problèmes de recouvrement des graphes (et de problèmes liés) et un troisième qui travaille dans le domaine des réseaux de capteurs. Les membres de l'équipe se réunissent en plénier plusieurs fois dans l'année, la politique scientifique, le budget et les relations administratives (classement des sujets pour le concours des allocations, thématique pour les candidatures, ...) vis à vis des divers organismes (LIRMM, ANR, CNRS, ...) sont abordés. Enfin les membres de l'équipe participent aux séminaires communs du pôle Algo/calcul du département Informatique.

Activités scientifiques

Bien que les sujets abordés puissent être très variés, les modèles utilisés s'appuient souvent sur les graphes et les problèmes à résoudre sont en général des optimisations combinatoires. Les membres de l'équipe possèdent donc une culture et des compétences assez complémentaires dans les domaines des différentes théories liées à l'algorithmique (graphes, complexité, approximabilité, programmation linéaire en nombres entiers PLNE etc.). La proximité d'équipes spécialisées comme ALGCo nous permet aussi de diversifier et de compléter nos compétences.

Pour présenter les activités de l'équipe, on a choisi la classification qui nous semblaient la plus naturelle, par thème d'application : les problèmes liés aux communications dans les réseaux et les problèmes d'ordonnancement pour les architectures parallèles. Pour vérifier la robustesse de nos méthodes ou tout simplement pour le plaisir d'aider à la résolution d'un problème académique ou industriel, il arrive souvent que nous abordions des problèmes sortant de ces deux axes directeurs.

Algorithmes et optimisation dans les réseaux

La recherche des solutions aux problèmes d'optimisation dans les réseaux est une des activités majeures de l'équipe. L'organisation pour la seconde fois de la conférence francophone Algotel (70 personnes sur la Grande-Motte du 29 mai au 1^{er} juin 2012 avec le soutien financier de UM2, LIP-ENS, Alcatel, Orange, Inria) montre notre visibilité sur ce thème.

Parmi les nouvelles questions formulées, nous avons mis l'accent sur deux thèmes :

1. optimisations dans les réseaux de capteurs ad hoc,
2. routage multicast dans des réseaux nouvelles générations ou futurs réseaux (NGN).

Les réseaux de capteurs ont générés de nouveaux problèmes liés aux contraintes technologiques. L'autonomie énergétique des capteurs, la sûreté de fonctionnement, la durée de vie d'un réseau en sont les plus classiques.

Pour répondre aux défis liés à ces réseaux, nous nous sommes confrontés aux problèmes suivants :

1. couverture d'un espace par des capteurs, prolongation de la durée de vie du réseau
2. collecte des données en alternant des routes,
3. routage probabiliste dans des réseaux dynamiques.

Pour chacun de ces problèmes, leur résolution permet une augmentation de la durée de vie d'un réseau, une redondance assurant une meilleure fiabilité ou répondre aux besoins technologiques des mesures. Ainsi nous avons proposé une solution quasi-optimale pour la k-couverture dans des réseaux de capteurs multifonctionnels. La solution prolonge la durée de vie du réseau via l'alternance des sous-ensembles de capteurs en assurant la qualité souhaitée des mesures pour chaque fonctionnalité. [MGGahuc12]. De même la collecte de données nécessite une énergie non négligeable. Une construction particulière d'arbres de collecte et l'alternance de ces arbres pour acheminer les données peuvent aussi prolonger la vie du réseau. [BDPMGstj12]

Dans les réseaux mobiles et dynamiques, les routes instables causent des échecs fréquents. Pour minimiser le nombre d'échecs nous avons développé un algorithme qui sélectionne les routes les plus stables en utilisant un routage probabiliste [MMahnpd11]

Nous avons obtenu des résultats significatifs pour trouver des routes avantageuses multicast. Habituellement, le routage multicast est basé sur des sous-arbres. Cependant, certaines techniques (comme le routage optique ou explicite) ne nécessitent pas une route correspondant à un sous-graphe de la topologie. Cette question devient importante quand il y a des contraintes imposées au routage. Nous avons proposé des calculs de routes plus efficaces que les traditionnels arbres.

Par exemple, dans le cœur des réseaux, on trouve des solutions tout optiques. Le routage multicast WDM (multiplexage en longueur d'onde ou Wavelength Division Multiplexing) doit prendre en considération certaines contraintes optiques (disponibilité de longueurs d'onde, de convertisseurs, d'amplificateurs, de splitters, etc.) qui peuvent déformer les routes optimales. Une autre famille de contraintes est liée à la satisfaction des exigences de Qualité de Services (QoS). Là aussi, les applications multimédia avec QoS utilisent le routage multicast sous contrainte. Une nouvelle structure appelée «hiérarchie» a été définie pour ce genre d'applications. Cette structure connexe offre des solutions réalisables et souvent plus avantageuses que les solutions connues de la littérature (son coût est plus faible que celui des arbres de recouvrement). Nous avons démontré que la solution optimale sous différentes contraintes est une hiérarchie. Une introduction et des définitions exactes ont été rédigées [Mrr11]. La généralisation du routage optique correspond au problème de recouvrement d'un sous-ensemble de nœuds dans un graphe sous contraintes de degré. La formulation exacte de la solution (qui n'est pas un sous-graphe) est non triviale. Dans le cadre d'une thèse dans l'équipe, la formulation par un PLNE de cette nouvelle structure optimale a été résolue. Les calculs nous ont permis de chiffrer le gain non négligeable qu'apporte les hiérarchies par rapport aux arbres. Les différences portent aussi sur l'existence d'une solution et sur l'approximabilité du problème de recouvrement. Un algorithme avec une garantie de performance a été trouvé. La route optique (lighthierarchy) correspondante a été présentée comme présentation invitée dans [CMZpgc10]. Actuellement, nous travaillons intensivement sur le routage multicast optique sans splitters (sans nœuds de branchement).

L'entrée en jeu de la QoS (respect du délai, de sa variation, des taux de pertes, etc.) et la présence de plusieurs contraintes et critères dans le routage sont des défis importants pour la mise en œuvre des applications multimédia. Nous avons démontré, que les routes multicast sous multiples contraintes ne sont pas forcément des arbres. Ce sont des hiérarchies de recouvrement. Les résultats ont été publiés dans des journaux et des conférences internationales [MBLcn12, BLMjn12, BLMg10].

Ordonnancement

Nous étudions au sens de la complexité et de

l'approximation des problèmes d'ordonnement en présence de plusieurs types de communication. La prise en compte des communications est nécessaires du fait des nouvelles architectures de processeurs, et induit des nouveaux challenges algorithmiques. Ainsi nous mesurons la difficulté intrinsèque du problème central de l'ordonnement (tâches unitaires et communication unitaire) selon plusieurs fonctions de communication. Les fonctions de communication retenues portent sur les communications homogènes, sur les réseaux de processeurs, et sur les tâches rigides.

Le modèle avec communications homogènes est un modèle très largement étudié comme en témoigne le grand nombres d'articles dans la littérature.

La plupart des résultats portent sur le problème central (durée et communication unitaires). Nous nous sommes intéressés aux problèmes des grands délais de communications. Les problèmes sont parmi les plus difficiles dans la théorie de l'ordonnement. Il n'existe que peu de résultats sur ces problèmes [GKPMtcs08].

Nous étudions le modèle d'ordonnement avec des contraintes de localité. Ce modèle prend en compte l'hétérogénéité du graphe de processeurs (graphe peu dense, et structuré) au contraire des hypothèses classiques. Le placement des tâches joue un rôle fondamental pour l'ordonnement. Nous avons étudié des graphes de processeurs structurés (grille, étoile, chaîne,...). Dans ce modèle, le placement des tâches devient une caractéristique fondamentale pour développer des algorithmes efficaces [GKBCrairo12, GBaop11, GKV4or11].

Les problèmes d'ordonnement se trouvent aussi au cœur de la résolution de problèmes posés à d'autres chercheurs. Aussi nos compétences sur ce thème ont induit de nombreuses collaborations.

Nous avons proposé un modèle d'ordonnement sur un mono-processeur avec des caractéristiques très spécifiques (issue d'une problématique avec les roboticiens du LIRMM, sur l'acquisition de données pour une torpille en immersion). Nous avons utilisé le modèle des tâches-couplées en présence d'un graphe de compatibilité extension d'un modèle déjà étudié. Ce modèle considère un ensemble de tâches constituées de deux sous-tâches de durées quelconque (a et b), et entre ces deux tâches une durée incompressible et indilétable. Nous avons classé au sens de la complexité et de l'approximation la quasi-totalité des problèmes lorsque l'on ajoute la contrainte de incompatibilité qui modélise les interférences possibles entre les tâches. [GDKSaor12, GSKcie11, GDSKjs11, SGKendm10]

Nous avons considéré le problème de tournée de véhicules (limité en nombre) en présence de fenêtres temporelles. Ce travail est issu d'une collaboration avec le CEMAGREF (thèse commune) portant sur l'ordonnement de tâches phytosanitaires Pour résoudre ce problème, nous utilisons une méthode exacte : nous utiliserons la génération de colonnes avec une stratégie de branch and price. Nos tests ont porté sur les instances de Solomon (benchmarks reconnus). Nous avons obtenu les meilleurs résultats connus en terme de temps de résolutions dans le cas où une limite de temps est imposée sur la durée du trajet. Ces résultats ont été étendus pour la version non-

limitée et nous sommes les seuls à fermer des instances (i.e. obtenir une solution exacte en temps donné), [GFNH4or13, GFHnt10, HFGKNo09, GHNSo12].

Les grands systèmes logiciels utilisés dans l'industrie sont utilisés sur de longues périodes de temps et doivent par conséquent être modernisés de manière régulière. Cette modernisation comprend des activités de maintenance telles que la correction ou la réorganisation ainsi que des activités d'évolution pour faire face à de nouveaux besoins ou intégrer de nouvelles technologies. Elle permet d'éviter l'érosion du système et une perte de qualité. Une analyse complète de ces systèmes est cependant devenue infaisable du fait de leur grande taille et de leur complexité conceptuelle.

Dans le présent travail, nous proposons d'aborder le problème sous l'angle de la théorie des graphes et l'exprimer comme un problème d'optimisation combinatoire. Les structures logicielles qui nous intéressent sont principalement basées sur des graphes étiquetés traduisant par exemple les appels de méthodes par d'autres méthodes, les accès aux attributs ou les mentions de types dans des méthodes, les inclusions de classes les unes dans les autres, etc.

Nous avons proposé plusieurs fonctions objectifs qui tentent de capturer la notion de mesures de qualité lié à la remodularisation. Dans ce cadre, plusieurs résultats de complexité et d'approximation ont été proposés [WBGKisco12, WBGKapex12].

Faits marquants

- Développement au cours de la période de collaborations industrielles avec les entreprises locales : Pradeo (Ensemble d'outils de protection pour la sécurité informatique), Flowxy (optimisation de l'utilisation de la bande passante et préservation des ressources systèmes) et Excambia (Aide à la conception du moteur de recherche de troc multipartite).
- Meilleurs temps de calculs pour le problème de tournée de véhicules avec fenêtre temporelles avec un nombre limité de véhicules et première fermeture de nouvelles d'instances de Solomon (Benchmark de référence pour les problèmes de tournées de véhicules) (collaboration avec le CEMAGREF -IRSTEA).
- Développement d'une nouvelle structure (hiérarchie) pour résoudre des problèmes de recouvrement des graphes sous contraintes. De nouveaux résultats positifs a contrario des structures arborescentes classiques sont démontrés (existence de solutions et approximabilité pour le problème avec contraintes de degrés). De plus, pour le problème de contraintes multiples, la solution exacte est une hiérarchie ce qui valide cette structure.

* Hamza Drid, Bernard Cousin, Miklos Molnar, Samer Lahoud. A survey of survivability in multi-domain optical networks. *Comput. Commun.*, 33:1005-1012, Mai 2010.

Collaborations externes

- Université de Liévin (Belgique) : **complexité et algorithmes d'approximation avec garantie de performance pour la conception de circuits en micro-électronique**
- Cirrelt (Montréal) : Méthodes exactes pour des problèmes fortement combinatoire (Conception de circuits en micro-électronique), post doc.
- BME Budapest (Hongrie) : projet PHC Balatan sur les réseaux de capteurs.
- Equipe SYSMIC (département MICRO du LIRMM sur le problème de conception de circuits en micro-électronique (Publications communes, organisation le 4 juin 2013 d'une journée Recherche Opérationnelle - Micro-électronique sur Montpellier, demande d'allocation commune)
- Equipe Marel (département INFO) sur le problème de la remodularisation de logiciel (ANR/thèse)
- Equipe ICAR (département INFO/ROB) sur l'interface de visualisation de contenus : infrastructure, optimisation et QOS d'un réseau de Grid Delivery dans un environnement incertain (ANR).

* *Approximation algorithms for multiple strip packing and scheduling parallel jobs in platforms*, M. Bougeret, P.F. Dutot, K. Janse, C. Robenek and D. Trystram, *Discrete Mathematics, Algorithms and Applications, DMAA*, 3(4):553-586, 2011

Publications majeures

- Boudet V., Durand S., Gonczy L., Mathieu J., Palaysi J., « Efficient Gatherings in Wireless Sensor Networks Using Distributed Computation of Connected Dominating Sets », *Sensors and Transducers Journal* 14-1, pp 297-307, 2012.
 - Molnar M., Bellabas A., Lahoud S. « The Cost Optimal Solution of the Multi-Constrained Multicast Routing Problem *Computer Networks* », Vol. 56, pp. 3136-3149, 2012
 - Bellabas A., Lahoud S., Molnar M. « Performance Evaluation of Efficient Solutions for the QoS Unicast Routing *journal of networks* », Vol. 7, pp. 73-80, 2012
 - F. Hernandez, D. Feillet, R. Giroudeau, O. Naud. « An exact method to solve the multi-trip vehicle routing problem with time windows and limited duration », *Accepté à 4OR*
 - Giroudeau R., Darties B., Simonin G., König J.- C. « Isomorphic Coupled Scheduling Problem for a Torpedo », *Journal of Scheduling* 14, 5 (2011) 501-509
-