

# SUJETS PRIORITAIRES EDSYS - 2011

Cette année, comme l'an passé, l'école doctorale SYSTEMES a décidé de soutenir des sujets prioritaires en les faisant bénéficier d'une allocation de recherche de l'école doctorale à la rentrée Universitaire 2011/2012. Ces sujets ont été sélectionnés pour satisfaire des priorités thématiques des laboratoires d'accueil, sur des sujets plutôt amont.

Les étudiants intéressés par un sujet prennent directement contact avec les chercheurs.

- Génération de mouvements réalistes de systèmes anthropomorphes à partir de modèles mécaniques avancés
- Une approche basée sur la théorie des jeux pour l'analyse et la conception d'algorithmes de routage distribués.
- Vers une approche unifiée pour la cartographie et la reconnaissance de lieux et d'objets
- Partage de contrôle entre planificateur automatique et opérateur en situation d'immersion : application au cas des stratégies de mouvements au contact
- Gestion des risques par le retour d'expérience dans le processus de réponse à appel d'offres.
- Analyse de l'impact du temps sur la diagnosticabilité de systèmes à événements discrets
- Test de systèmes ubiquitaires avec prise en compte explicite de la mobilité
- Validation de modèles de simulation
- Commande Optimale Impulsionnelle : optimalité et robustesse
- Raisonnement sur les Distances pour l'Optimisation Combinatoire

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE -

## EQUIPE DE RECHERCHE

GEPETTO – Laas du CNRS

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Nicolas MANSARD (CR1)

Philippe SOUERES (DR2)

## CONTACTS

[nmansard@laas.fr](mailto:nmansard@laas.fr)

[soueres@laas.fr](mailto:soueres@laas.fr)

## SUJET DE THESE

## TITRE

Génération de mouvements réalistes de systèmes anthropomorphes à partir de modèles mécaniques avancés

## DESCRIPTION

On s'intéresse à la production de mouvements réalistes pour des mannequins numériques ou des robots humanoïdes. L'objectif de cette thèse est d'identifier dans quelle mesure la prise en compte de modèles proches de la mécanique du corps humain permet de générer des mouvements ressemblant à ceux de l'homme. En d'autres termes, on cherchera à identifier dans quelle proportion le comportement de l'homme repose sur des critères mécaniques ou dépend de critères comportementaux de plus haut niveau.

Le groupe Gepetto du LAAS-CNRS a récemment développé une méthode générale permettant de commander la dynamique de systèmes anthropomorphes pour effectuer des mouvements "corps-complet", tout en respectant des contraintes de nature différente (éviter d'obstacle, maintien de l'équilibre, etc). Dans cette approche, les structures mécaniques prises en compte sont constituées de corps rigides reliés par des liaisons pivot idéales commandées en couple.

On souhaite aujourd'hui étendre cette approche en prenant en compte des modèles mécaniques plus avancés, se rapprochant davantage du corps humain. Il s'agit d'une

part de considérer des structures présentant un plus grand nombre de degrés de liberté avec des modèles de liaisons plus complexes. D'autre part, on souhaite prendre en compte des modèles d'actionnement plus proches du système musculo-squelettique humain. Ces systèmes pourront aller de simples structures mécaniques de type "câbles-poulie", exprimant le lien entre la tension de muscles antagonistes et le couple exercé, à des modèles de musculaires plus avancés. Sur cette base, il s'agira de proposer des méthodes permettant de produire des mouvements complexes impliquant l'ensemble des liaisons du corps. Les applications potentielles de ce travail théorique concernent la robotique humanoïde, l'animation graphique et notamment la conception et suivi du cycle de vie d'un produit (PLM). La thèse se déroulera au LAAS-CNRS. Le doctorant pourra utiliser le système de capture de mouvement du laboratoire et les différents robots humanoïdes.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

Ce sujet est au centre de la thématique de la planification de mouvement et la commande des systèmes anthropomorphes qui constitue l'axe principal du groupe Gepetto. Il pose la question cruciale de la représentation dynamique complète de ce type de systèmes, jusqu'ici essentiellement étudiés à partir de modèles simplifiés de type le pendule inverse. Cette thèse a pour objet d'évaluer dans quelle mesure la prise en compte de modèles mécaniques anthropomorphes avancés peut faire émerger naturellement des caractéristiques du mouvement humain et par ce biais accroître le réalisme du mouvement des mannequins numériques et des robots humanoïdes.

Ce sujet est essentiellement théorique, mais les résultats escomptés pourront être implémentés sur des mannequins numériques et des robots humanoïdes réels et permettre des applications réellement innovantes.

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE -

## EQUIPE DE RECHERCHE

MRS - Laas du CNRS

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Olivier brun  
Balakrishna PRABHU

## CONTACTS

[Olivier.brun@laas.fr](mailto:Olivier.brun@laas.fr)

[balakrishna.prabhu@laas.fr](mailto:balakrishna.prabhu@laas.fr)

## SUJET DE THESE

## TITRE

Une approche basée sur la théorie des jeux pour l'analyse et la conception d'algorithmes de routage distribués.

## DESCRIPTION

Les problèmes de routage sont omniprésents dans de nombreux contextes applicatifs, et notamment dans les grands systèmes distribués (les fermes de serveurs, par exemple) et les réseaux de communication, qu'il s'agisse de l'Internet, de réseaux sans fil ou de réseaux de capteurs. Ces problèmes se posent en effet dès qu'un ensemble de ressources doivent être partagées entre des flux d'activités concurrentes. Ils consistent à adapter les ressources utilisées à la demande de manière à optimiser un certain critère, qui est généralement lié à la performance perçues par les utilisateurs du système.

La plupart des travaux sur le sujet se sont intéressés à des algorithmes centralisés permettant le calcul d'une stratégie de routage optimale. Quand la taille du système n'est pas trop grande, un seul agent de routage peut alors mettre en oeuvre cette stratégie, que l'on peut voir comme un optimum social dans le sens où elle optimise la performance du système pour tous les flots. En pratique, il n'est généralement pas possible d'utiliser un seul agent de routage pour des raisons de scalabilité, et il faut se résoudre à utiliser un schéma de routage distribué utilisant plusieurs agents de

routage. En dehors du gain en scalabilité, un des avantages est la robustesse face aux pannes ou aux perturbations des conditions de fonctionnement du système. Cependant, la conception et la mise en oeuvre de stratégies distribuées de routage posent de nombreux défis.

Un des principaux défis concerne la perte de performance induite par le passage à une architecture décentralisée. En effet, si dans l'architecture distribuée chaque agent de routage réalise de manière autonome une optimisation pour son propre trafic, on peut s'attendre à ce que la performance globale obtenue soit pire que dans une approche centralisée. Dans ce contexte, les questions principales qui se posent sont les suivantes:

- Peut-on obtenir des garanties de performance pour ces stratégies de routage décentralisées ?
- Comment peut-on améliorer les performances de ces algorithmes ?

Il s'agit des deux questions fondamentales qui seront étudiées dans la thèse.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

Puisque le comportement égoïste des agents de routage peut conduire à des dégradations de performance inacceptables, une approche naturelle consiste à introduire de la coordination entre eux pour une prise de décision collective. Ce type de problème peut être traité en utilisant des approches d'optimisation globale distribuée [13]. Toutefois, ceci peut induire des surcoûts de communication et de synchronisation non négligeables pour de grands systèmes. Une approche alternative consiste à conserver une architecture basée sur des agents de routage autonomes, mais à les concevoir de manière à ce que la solution décentralisée soit efficace par rapport à sa contrepartie centralisée.

Dans une telle approche, les décisions de routage sont prises par chaque agent de routage indépendamment, en fonction de ses propres objectifs individuels. Ceci conduit à un jeu de routage – coopératif ou non-coopératif – entre les agents de routage [4,12]. La théorie des jeux fournit le cadre théorique naturel pour étudier de tels problèmes. En particulier, elle peut être utilisée pour étudier la convergence vers des points d'équilibre (des stratégies de routage), appelés équilibres de Nash, tels qu'une déviation unilatérale ne permet à aucun agent de routage d'améliorer les performances du trafic qu'il route. Une mesure standard de l'inefficacité du routage distribuée est alors le «Prix de l'Anarchie» (PdA) [8], qui est défini comme le ratio dans le pire des cas entre la performance obtenue par l'algorithme distribué et la performance optimale. De nombreux travaux ont été consacrés ces dernières années à l'évaluation du PdA. Toutefois, pour des réseaux ayant des topologies générales, les

résultats connus sont des résultats asymptotiques (i.e. lorsque chaque job/paquet peut choisir lui même sa route) limités à des fonctions coûts polynomiales [6]. Pour des fonctions plus générales, les seuls résultats connus concernent des topologies de type «liens parallèles» [5,7,10,2,3].

Plusieurs méthodes ont été proposées pour converger vers des équilibres de Nash efficaces. Des stratégies basées sur l'affectation de prix aux ressources ont été étudiées dans [14]. Une autre méthode pour améliorer l'efficacité des algorithmes de routage distribués est basé sur ce que l'on appelle les jeux de Stackelberg [11], dans lesquels des agents contrôlés de manière centralisée influencent par leurs décisions de routage les actions prises par les agents égoïstes pour forcer la convergence vers une solution optimale.

Pour évaluer les performances des algorithmes de routage distribués, il s'agira de calculer ou de borner le «Prix de l'Anarchie». L'idée principale que nous voulons explorer consiste à aborder cette question dans le cadre des jeux symétriques (e.g. tous les flux ont le même trafic). Des résultats récents ont en effet montré, pour des topologies simples, que ces jeux sont extrémaux dans le sens où c'est pour eux que les performances les pires sont obtenues [2,3]. De plus, ils se prêtent plus facilement à l'analyse, notamment avec l'utilisation de fonctions potentiels [9].

Le travail de thèse consistera donc, pour des topologies générales, à caractériser les conditions de symétrie sous lesquelles les performances les pires sont obtenues, puis à borner ces performances et à calculer le prix de l'anarchie. Un second volet du travail de thèse concernera la détermination des objectifs devant être assignés aux agents de routage autonomes pour converger vers des stratégies de routage offrant des performances proches de l'optimum social.

Il s'agit clairement d'un sujet de nature théorique, même si les retombées applicatives pour la gestion dynamique des ressources dans les réseaux de communication et les systèmes distribués peuvent être considérables.

## Bibliographie

- [1] E. Altman, U. Ayesta, and B. J. Prabhu. Load balancing in processor sharing systems. To appear in *Telecommunication Systems*, 2009.
- [2] U. Ayesta, O. Brun, and B. J. Prabhu. Price of anarchy in non-cooperative load-balancing. LAAS Research Report, submitted to *Performance Evaluation Journal*, under 1<sup>st</sup> revision.
- [3] U. Ayesta, O. Brun, and B. J. Prabhu. Price of anarchy in non-cooperative load-balancing. In *Proceedings of IEEE Infocom Mini-Conference*, 2010.

- [4] R. Cominetti, J. R. Correa, and N. E. Stier-Moses. The impact of oligopolistic competition in networks. *Operations Research*, Published online in Articles in Advance, DOI: 10.1287/opre.1080.0653, June 2009.
- [5] S. El-Zoghdy, H. Kameda, and J. Li. Numerical studies on a paradox for non-cooperative static load balancing in distributed computer systems. *Computers and Operations Research*, (33):345–355, 2006.
- [6] T. Roughgarden. How bad is selfish routing ? *Journal of the ACM*, 49(2), 2002.
- [7] Y. Korilis, A. Lazar, and A. Orda. Capacity allocation under noncooperative routing. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 42(3):309–325, March 1997.
- [8] E. Koutsoupias and C. H. Papadimitriou. Worst-case equilibria. In *STACS 1999*, 1999.
- [9] D. Monderer and L. S. Shapley. Potential games. *Games and Econ. Behavior*, 14:124–143, 1996.
- [10] A. Orda, R. Rom, and N. Shimkin. Competitive routing in multi-user communication networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1:510–521, October 1993.
- [11] Korilis, Y. A., Lazar, A. A., Orda A. Achieving network optima using Stackelberg routing strategies. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 5(1), Feb 1997.
- [12] Altman, E. and Boulogne, T. and El-Azouzi, R. and Jimenez, T. and Wynter, L. A survey on networking games in telecommunications. *Computers & Operations Research*. 33(2), 2006.
- [13] Mosk-Aoyama, D. and Roughgarden, T. and Shah, D. Fully distributed algorithms for convex optimization problems. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 4731. 2007.
- [14] Korilis, Y.A. and Orda, A. Incentive compatible pricing strategies for QoS routing. *INFOCOM'99*, Vol. 2, 2002.

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE -

## EQUIPE DE RECHERCHE

RIS

Laas du CNRS

["Robotics et InteractionS" \(RIS\)](#)

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Christopher MEI

Simon LACROIX

## CONTACTS

[christopher.mei@laas.fr](mailto:christopher.mei@laas.fr)

[simon.lacroix@laas.fr](mailto:simon.lacroix@laas.fr)

## SUJET DE THESE

### TITRE

"Vers une approche unifiée pour la cartographie et la reconnaissance de lieux et d'objets"

### DESCRIPTION

Créer des représentations de l'environnement (cartes) contenant des informations sémantiques est un domaine de recherche actif pour l'autonomie et l'interaction en robotique. Le problème de la cartographie (SLAM: Simultaneous Localization and Mapping) est souvent traité de manière séparée de la reconnaissance de lieux et d'objets. Hors la résolution du problème de reconstruction mène naturellement à inférer des structures géométriques propices à être exploitées pour la reconnaissance. De plus le problème d'association de données mène naturellement à des représentations sous forme de graphe de co-visibilité [5] permettant de traiter de manière unifiée cartographie, reconnaissance de lieux et d'objets.

Ce sujet de thèse a pour objectif d'étudier les graphes de co-visibilité créés dans le contexte du SLAM.

Dans un premier temps, le thème étudié sera l'analyse de la reconnaissance de lieux comme un problème de reconnaissance probabiliste de sous-graphe de manière fiable (minimisation du nombre de faux positifs) et efficace (calcul temps-réel). Cette étude nécessitera d'analyser la comparaison de graphe avec des informations de nature diverses: apparence, structure géométrique et répétabilité notamment.

La reconnaissance d'objets pourra être analysée comme l'identification de sous-graphes similaires récurrents (problème de généralisation de l'apparence et de la structure de sous-graphes).

Le sujet sera abordé du point de vue de la robotique mobile et distribuée. En particulier les ambiguïtés d'interprétation pourront être placées dans le contexte de l'interaction avec l'environnement (identification d'objets déplacés voire déplacements d'objets par le robot, la position étant connue grâce à la carte construite), d'exploitation de données de capteurs venant de différentes plates-formes mobiles (aspects distribués) et de données de nature différentes (ex: télémètre laser, LIDAR).

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

Ce travail de thèse s'insère dans le contexte de la reconnaissance de lieux [1] avec comme objectif la fiabilité (robustesse vis-à-vis de l'aliasing perceptuel) pour la robotique [2]. Récemment des travaux en classification d'images ont cherché à exploiter les liens géométriques entre les images pour améliorer les résultats des requêtes [3,4]. En particulier nous avons montré dans [5] que le processus même de cartographie crée un graphe de co-visibilité qui peut être exploité directement pour améliorer de manière importante les résultats de reconnaissance de lieux mais sans interprétation probabiliste claire. Cette thèse permettrait de créer un fondement théorique solide pour exploiter cette représentation.

La répétition de sous-graphes comme moyen d'identifier des objets de manière non-supervisée est liée à la thématique de la fouille de données [6], de la vision par ordinateur [7] et l'analyse de graphe [8]. La spécificité de la robotique dans ce contexte vient de la possibilité d'exploiter les informations géométriques produites par la cartographie, de planifier et choisir les points de vue et d'utiliser des informations distribuées pour améliorer la reconnaissance ou d'interagir avec l'environnement.

Ce travail d'amont s'insère dans les thématiques de recherche du groupe RIS en permettant de produire une carte sémantique exploitable pour l'interaction haut niveau homme-robot et robot/robot.

[1] Sivic, J. and Zisserman, A.

**Video Google: A Text Retrieval Approach to Object Matching in Videos**

Proceedings of the International Conference on Computer Vision, 2003

[2] M. Cummins and P. Newman

**FAB-MAP: Probabilistic Localization and Mapping in the Space of Appearance**

International Journal of Robotics Research, 2008.

[3] Chum, O. and Philbin, J. and Sivic, J. and Isard, M. and Zisserman, A.

**Total Recall: Automatic Query Expansion with a Generative Feature Model for Object Retrieval**

Proceedings of the International Conference on Computer Vision, 2007

[4] P. Turcot and D. G. Lowe

**Better matching with fewer features: The selection of useful features in large database recognition problems**

ICCV Workshop on Emergent Issues in Large Amounts of Visual Data (WS-LAVD), 2009

[5] C. Mei, G. Sibley and P. Newman

**Closing Loops Without Places**

IROS 2010

[6] The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine

**S Brin and L Page**

1998

[7] G. Kim, C. Faloutsos, and M. Hebert

**Unsupervised Modeling of Object Categories Using Link Analysis Techniques**

IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2008

[8] N. Shervashidze and K. M. Borgwardt

**Fast subtree kernels on graphs**

NIPS 2009

Le sujet est plutôt théorique et suppose des connaissances préalables en théorie des graphes et sur l'inférence dans les réseaux bayésiens. Il devrait permettre de développer des outils fondamentaux permettant de faire le lien entre les représentations cartographiques - exploitables pour la navigation- et la reconnaissance de lieux et d'objets - utiles pour une interaction homme-machine de haut niveau. La thèse nécessitera l'exploitation de quantité de données importantes pour les aspects probabilistes et devrait déboucher sur des validations expérimentales sur robot simple et de manière distribuée (par exemple sur des données hétérogènes: robots mobiles et robots aériens).

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE -

## EQUIPE DE RECHERCHE

DIDS : Décision et Interaction Dynamiques des Systèmes – LGP UPRES EA n°1905

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Jean-Yves FOURQUET  
Philippe FILLATREAU

## CONTACTS

[fourquet@enit.fr](mailto:fourquet@enit.fr)

[philippe.fillatreau@enit.fr](mailto:philippe.fillatreau@enit.fr)

Mots clefs : Robotique, scénarios interactifs, planification automatique, haptique, partage de contrôle, humain virtuel.

## SUJET DE THESE

## TITRE

Partage de contrôle entre planificateur automatique et opérateur en situation d'immersion : application au cas des stratégies de mouvements au contact

## DESCRIPTION

Contexte :

Dans le domaine de la simulation de processus, on s'intéresse au positionnement relatif ou au mouvement d'objets et de ressources : machines, robots, humains qui les manipulent. C'est le cas notamment de scénarios dans le PLM (Product Lifecycle Management : étapes de montage ou maintenance, par exemple), la robotique mobile d'intervention en milieu hostile ou la coordination de véhicules automatiques.

Tous ces scénarios impliquent naturellement une étape dont l'objectif est : *trouver un chemin, une trajectoire, un mouvement pour montrer la faisabilité de scénarios, pré-calculer ce que sera l'exécution d'une tâche.*

Historiquement, cette question a donné lieu dans un premier temps, à partir des années 80, au développement de méthodes de planification automatique de mouvements au sein de la communauté robotique [1]. Le verrou principal est lié à la complexité des données 2D puis 3D qui représentent les objets et leur environnement. Les principales approches se sont appuyées sur les différentes façons de caractériser l'espace libre, par des méthodes cartographiques (pavage régulier ou non, exact polyédrique ou approché), ou topologiques par la recherche d'une composante connexe parcourable.

Ces méthodes ont évolué. De démarches déterministes et basées sur des cartographies exactes, elles ont abouti aujourd'hui à des familles de recherche probabiliste de graphes parcourant l'espace libre : ces dernières familles de méthodes font le pari initial d'un jet équiprobable de points admissibles puis l'adaptent à la situation étudiée au moyen d'heuristiques qui guident ce jet de points.

Parmi les sources de complexité et les difficultés théoriques qui demeurent à résoudre, on peut distinguer :

- la planification des mouvements de l'humain qui demeure un verrou scientifique essentiel : en effet, on ne sait pas aujourd'hui caractériser un mouvement humain réaliste.
- le caractère aveugle des méthodes probabilistes : les variations autour du principe d'exploration uniforme (équiprobabilité du jet de points) qui constitue le fondement de ces méthodes ne permet pas de hiérarchiser, diriger efficacement les recherches. Le compromis entre exploration aveugle et utilisation des propriétés des objets reste à construire.

Depuis une dizaine d'années, l'évolution des périphériques sensori-moteurs, de leur couplage à des contenus 3D, l'émergence de la Réalité Virtuelle (RV), permettent de placer un utilisateur dans une scène et d'agir en temps-réel sur les objets de la scène, en particulier en les mettant en mouvement et en détectant les collisions. C'est *l'immersion* en réalité virtuelle.

Ces apports constituent un renouvellement des moyens qui peuvent prétendre répondre au questionnement initial : *trouver un chemin et simuler les processus de manière réaliste.* Ils permettent d'envisager de répondre à deux difficultés essentielles rencontrées par la simulation et la planification automatique traditionnelle :

la présence insuffisante de l'humain dans les simulations : en effet, il n'est plus nécessaire de modéliser le mouvement humain, on peut jouer la scène et ce modèle est implicite.

la nécessité de faire appel à l'expertise humaine pour contrôler la planification : le retour sensori-moteur permet d'agir de manière similaire à ce qui est possible en

environnement réel. L'humain se localise et sait construire des stratégies de navigation. Il évalue la proximité d'un objet et ressent les contacts.

Cependant, ces outils ne rendent pas complètement obsolètes les techniques de planification et de guidage. Au contraire, dans des situations complexes ou d'apprentissage, il est nécessaire de montrer des pistes ou de guider sur des trajectoires, de tenir compte de l'encombrement morphologique de l'opérateur. A contrario, il est aussi nécessaire de permettre à l'humain en immersion de s'écarter des solutions proposées. Il est donc intéressant d'étudier les apports conjoints des deux approches.

Dans notre laboratoire, une première démarche originale [2] a été menée pour associer des moyens de planification automatique à une simulation interactive afin de mettre en oeuvre une coopération planificateur/humain. Celle-ci s'est appuyée sur :  
des méthodes et outils d'immersion en RV, notamment haptiques et de visualisation 3D

une re-formulation et intégration de techniques de planification probabilistes à base de RRT (Rapidly-exploring Random Tree ) d'optimisation heuristique en position (Algo A\*) et de pré-cartographie (octree),

Cette première expérience a permis :

- au delà de l'originalité de l'approche, de montrer l'intérêt de la démarche collaborative entre planificateur automatique et humain en immersion ;
- de révéler les pistes d'amélioration dans ce contexte nouveau.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

La piste la plus prometteuse concerne les stratégies de génération de mouvements qui utilisent le contact. Les points clefs du questionnement concerneront :

- la codification des stratégies de planification faisables au contact et à proximité du contact : les planificateurs automatiques construisent un graphe caractérisant une solution dans l'espace libre, donc hors du contact. Les stratégies humaines utilisent les retours sensoriels (sens du toucher, contact, effort). L'information de distance et d'effort est utilisée pour les insertions difficiles, les passages étroits, pour guider le déplacement relatif entre deux objets. Pour cette raison, il est nécessaire de dépasser l'approche classique de la planification *géométrique*, naturellement privée de l'information fournie par le contact, pour fournir des solutions utilisant les stratégies humaines de mouvement au contact. Ceci passe par la définition de modèles d'objets hiérarchiques, dotés de propriétés relatives au mouvement (surface de glissement, par exemple), la mise en oeuvre de chemins permettant un déplacement assisté par le contact, l'utilisation de la structure des objets pour choisir des modes de déplacement ou accélérer la détection de collision.
- la prise en compte de l'humain :

- de sa morphologie pour les tâches qui requièrent la navigation des objets et de tout ou partie du corps humain. Le retour haptique n'est fourni qu'au niveau des mains. Il faut pouvoir indiquer/planifier/vérifier le cheminement d'un bras, d'une partie du corps pour des tâches par exemple de maintenance, s'inspirer de « motifs » de postures et mouvements humains pour guider la planification [3].
  - des stratégies de prises/saisies d'objets en manipulation humaine : passer du déplacement de l'objet à : comment manipuler ou « manuporter » cet objet ?
- les stratégies de collaboration (partage de contrôle [5][6]) entre planificateur, guidage et opérateur humain :
- en planification automatique, on cherche en général un chemin complet. Ici, on détournera certaines briques de la recherche de chemins pour fournir une planification partielle, des pistes, des morceaux faisables laissant à la charge de l'opérateur la vérification de ces pistes, la connexion de ces morceaux faisables dans les situations difficiles, l'initiative d'une relance du planificateur [4].
  - concernant le guidage : le planificateur fournira des informations, par retour visuo-haptique au minimum. L'objet de ce point est d'établir un mode de communication bi-directionnel efficace et d'aller au delà des solutions de guidage haptique local développées dans [2].

Ce travail se situe dans une approche amont dont les applications peuvent être diverses, tant les stratégies de recherche d'un mouvement faisable sont nombreuses dans les domaines industriels ou de la santé, par exemple.

## Références

- [1] H. Choset, K.M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L.E. Kavraki and S. Thrun, *Principles of Robot Motion - Theory, Algorithms, and Implementations*, MIT Press, 2005.
- [2] N. Ladeveze, J-Y. Fourquet , B. Puel , *Interactive Path Planning for Haptic Assistance in assembly tasks*, Computer and Graphics, 34(1), pages 17-25, février 2010.
- [3] K. Yamane, Y. Yamaguchi and Y. Nakamura. *Human motion database with a binary tree and node transition graphs*, Autonomous Robots, 30(1), pages 87-98, Janvier 2011.
- [4] D. Flavigné, M. Taix, E. Ferré. *Interactive Motion Planning for Assembly tasks* . IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2009), pages 430-435, Japon, 2009.
- [5] Y. Li, V. Patoglu and M. K. O'Malley. *Shared Control for Training in Virtual Environments: Learning Through Demonstration?* Proceedings of EuroHaptics, 2006,
- [6] G. Srimathveeravalli, V. Gourishankar and T. Kesavadas, *Comparative Study: Virtual Fixtures and Shared Control for Rehabilitation of Fine Motor Skills*, World Haptics Conference, pages 304-309, 2007.

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE -

## EQUIPE DE RECHERCHE

SDC LGP (UPRES EA n°1905)

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Daniel NOYES

Cédric BELER

## CONTACTS

[noyes@enit.fr](mailto:noyes@enit.fr)

[cedrick.belers@enit.fr](mailto:cedrick.belers@enit.fr)

tel : 05 62 44 27 00

## SUJET DE THESE

## TITRE

Gestion des risques par le retour d'expérience dans le processus de réponse à appel d'offres.

## DESCRIPTION

Mots clefs : Retour d'expérience, risque, appel d'offre, incertitude

L'appel d'offres (AO) est une procédure qui permet au maître d'ouvrage (MOA) de faire le choix du prestataire (maître d'œuvre) à qui il confiera une réalisation de travaux, fournitures ou services. Cette pratique est généralisée à tous les secteurs professionnels.

L'appel d'offre repose sur la mise en concurrence. Chaque répondant engage des ressources et du temps pour élaborer une proposition qui risque de ne pas être retenue. Le processus de réponse à appel d'offre (PRAO) est fortement contraint car, pour être acceptées, les propositions doivent satisfaire aux exigences du Cahier des Charges (CdC) tout en restant économiquement viables pour le prestataire.

Le PRAO est une étape risquée car il n'existe pas d'outil tangible permettant d'aider le maître d'œuvre (MOE) dans cette phase amont qui détermine les conditions de la conception future.

Une appréciation incorrecte dans les propositions du MOE dans sa réponse peut l'entraîner dans des situations dangereuses en cas d'acceptation par le MOA.

Le sujet de thèse concerne la définition et la mise en place d'une "instrumentation" du PRAO permettant au MOE de conduire efficacement ce processus en minimisant les risques encourus.

L'objectif est de fournir au MOE des outils d'aide à la décision utilisant l'expérience acquise dans son fonctionnement pour détecter, rendre compte et minimiser les risques potentiels (dépassement de budgets, non conformités aux exigences techniques, non respect des délais,...).

Pour cela, il faudra définir des modèles des processus et des mécanismes d'inférences en rapport avec le PRAO, en tenant compte des expériences passées (ancrage à un processus REX).

Les principales étapes de travail sont :

- bibliographie sur le processus de réponse à appel d'offre, les risques associés et sur le retour d'expérience.
- élaboration de modèles et mécanismes d'inférence qui devront être validés sur un exemple industriel à définir.
- opérationnalisation des mécanismes et création du prototype d'outil d'assistance à la phase de réponse à appel d'offre ayant pour objectif de minimiser les risques.

Outre son intérêt industriel évident, en comblant le déficit d'outil d'aide à la décision dans le domaine hautement concurrentiel des réponses à AO, le sujet pluridisciplinaire présente plusieurs points d'intérêt scientifique : gestion de l'incertitude, approche multimodèle et modèles de processus, élicitation d'experts, mécanismes décisionnels, optimisation multicritère.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

Les travaux de l'équipe d'accueil (équipe SDC (Systèmes Décisionnels et Cognitifs) du LGP) sont développés dans deux axes : Expériences, Connaissances, Compétences (ECC) et Incertitude, Risque et Décision (IRD).

Ce sujet qui vise la minimisation du risque lors de la réponse à l'appel d'offre par réutilisation d'expérience est à l'intersection des deux axes.

L'équipe a déjà une expérience dans ce domaine. Notons, par exemple, les travaux de thèse sur l'intégration du retour d'expérience dans les processus industriels [1], la modélisation et l'intégration des outils d'analyse des risques pour l'aide à la décision [2], le couplage entre le processus de retour d'expérience et la prévention des risques [3] et, enfin, ceux visant à identifier et évaluer la sûreté de fonctionnement en phase de réponse à appel d'offre [4].

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE -

## EQUIPE DE RECHERCHE

Groupe DISCO (Diagnostic et Conduite des Systèmes) du LAAS-CNRS

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Audine SUBIAS

Yannick PENCOLE

## CONTACTS

[subias@laas.fr](mailto:subias@laas.fr)

[yannick.pencole@laas.fr](mailto:yannick.pencole@laas.fr)

## SUJET DE THESE

## TITRE

Analyse de l'impact du temps sur la diagnosticabilité de systèmes à événements discrets

## DESCRIPTION

Aujourd'hui, la conception a posteriori d'un outil pour le diagnostic d'un système n'est plus imaginable. Il est impératif de se préoccuper dès la phase de conception du système des objectifs de diagnostic à atteindre. Aussi, de nombreux travaux se sont intéressés à analyser et à caractériser les propriétés de diagnosticabilité d'un système mais également à définir les méthodes de diagnostic correspondantes, c'est-à-dire utilisant le même type de connaissances sur le système.

Le sujet de cette thèse porte sur les méthodes permettant d'établir les propriétés de diagnosticabilité dans le cadre des systèmes à événements discrets où le temps est un paramètre prépondérant. Dans de tels systèmes, les spécifications temporelles sont sous forme de délais ou de durées et les comportements nominaux du système comme

les comportements en présence de faute sont généralement décrits sous forme de trajectoires. L'introduction des délais engendre des espaces d'état infinis ce qui fait que l'analyse de diagnosticabilité, par définition réalisée hors ligne, ne peut se baser directement sur l'analyse des trajectoires. Il est alors nécessaire d'extraire des vues, c'est-à-dire des abstractions, finies du comportement du système sur lesquelles les propriétés de diagnosticabilité pourront être caractérisées. Cette analyse de diagnosticabilité est étroitement liée à la capacité du système de surveillance à générer les observables permettant au système de diagnostic de rechercher les causes des défaillances. On s'intéressera donc à caractériser les propriétés de diagnosticabilité dans le cadre d'approches de diagnostic dédiées aux systèmes à événements discrets permettant de prendre en compte des informations temporelles notamment au niveau de la description des défaillances.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

La diagnosticabilité est la propriété d'un système garantissant qu'il génère des observations permettant de détecter et discriminer les fautes en temps fini après leur occurrence. L'analyse de diagnosticabilité est étudiée depuis de nombreuses années dans différents domaines. Pour les systèmes continus, la diagnosticabilité est exprimée en termes de détectabilité et d'isolabilité [Chen et Patton 94], [Basseville 2001], [Travé-Massuyès et al 2001], [Staroswiecki et Comtet-Varga 99]. Dans le contexte des SED (Systèmes à événements discrets), les premières définitions sont issues des travaux de M. Sampath [Sampath and al. 95]. Depuis, plusieurs extensions ont été proposées pour les fautes intermittentes [Contant et al 04] et pour des motifs de fautes plus génériques [Pencolé 2004, Jéron 2006] mais aucune ne prend en compte les notions de délais temporels.

Dans la mesure où les observations et les fautes peuvent être modélisées de différentes manières selon l'approche de diagnostic considérée, l'analyse de diagnosticabilité est liée à l'approche utilisée pour diagnostiquer le système. Généralement pour les SED les approches utilisées sont des approches basées événements qui supposent un suivi de l'état du système, ce qui induit un raisonnement de diagnostic réalisé au cours du temps.

Si l'on s'intéresse à des systèmes pour lesquels le facteur temps intervient fortement, notamment au niveau de la description des comportements de faute, ce type d'approche n'est pas envisageable dans la mesure où les informations temporelles ne sont pas prises en compte en dehors de la notion de séquence.

Les travaux de [Ghazel 05] bien que focalisés sur le diagnostic et non sur l'analyse de diagnosticabilité, appréhendent ce problème du temps en considérant des systèmes décrits avec des trajectoires incluant des délais via l'utilisation des réseaux de Petri temporels. Néanmoins, les fautes considérées dans ces travaux sont des fautes

primitives (i.e. qui se manifestent par l'occurrence d'un seul événement) tout comme dans les travaux de [Pan&Hastrudi-Zad 2006] où les délais sont exprimés uniquement comme un nombre de tics d'horloges et les travaux de [Bouyer et al05] qui s'appuient sur le formalisme des automates temporisés. Des travaux récents ont été initiés pour prendre en compte des motifs de fautes plus complexes [Pencolé&Subias] en s'appuyant sur une approche existante de diagnostic basée reconnaissance de chroniques. Ces travaux restent sous l'hypothèse de faute unique et ne prennent pas en compte toute la gamme des fautes pouvant être définies par des motifs temporels. Ils doivent donc être consolidés et généralisés.

[Basseville 2001] M. Basseville. On fault detectability and isolability. *European Journal of Control*, 7(8):625–637,2001

[Bouyer et al05] P. Bouyer, F. Chevalier, D'Souza, Deepak (2005) Fault Diagnosis Using Timed Automata. In: 8th International Conference, FOSSACS 2005, April 4-8, 2005., Edinburgh, UK.

[Chen 1994] J. Chen and R.J. Patton. A re-examination of fault detectability and isolability in linear dynamic systems. *Proceedings of the 2nd Safeprocess Symposium, Helsinki (Finland)*, pages 567–573,1994

[Ghazel 05] M. Ghazel. Surveillance des systèmes à événements Discrets à l'aide de Réseaux de Petri Temporels. Thèse de doctorat – Centrale Lille/ Université des Sciences et Technologies de Lille – novembre 2005

[Jéron 06] T. Jéron, H. Marchand, S. Pinchinat, M-O. Cordier, Supervision Patterns in Discrete Event Systems Diagnosis, in *Workshop on Discrete Event Systems, WODES'06*, Ann-Arbor (MI, USA), Juillet 2006.

[Pan&Hastrudi-Zad 2006] J. Pan, S. Hashtrudi-Zad, Diagnosability Test for Timed Discrete-Event Systems, *Proceedings of the 18<sup>th</sup> IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'06)*, Nov. 13-15, 2006, Washington D.C., USA.

[Pencolé 2004] Y. Pencolé, Diagnosability analysis of distributed discrete event systems, *European Conference on Artificial Intelligence (ECAI'04)*, Valencia, Spain, August, 2004

[Pencolé&Subias] Y.Pencolé, A. Subias, A chronicle-based diagnosability approach for discrete timed-event systems: application to Web-Services *Journal of Universal Computer Science*, vol. 15, no. 17 (2009), 3246-3272

[Staroswiecki 99] M. Staroswiecki and G. Comtet-Varga. Fault detectability and isolability in algebraic dynamic systems. *Proceedings of the European Control Conference*, 1999

[Travé-Massuyès 2001] L. Travé-Massuyès, T. Escobet, and R. Milne. Model-based diagnosability and sensor placement application to a frame 6 gas turbine subsystem. *Proceedings of IJCAI'01*, pages 551–556, 2001

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE -

## EQUIPE DE RECHERCHE

Groupe TSF  
Laas du CNRS

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Nicolas RIVIERE  
Kamara KANOUN

## CONTACTS

[nriviere@laas.fr](mailto:nriviere@laas.fr)  
[kamara.kanoun@laas.fr](mailto:kamara.kanoun@laas.fr)

## SUJET DE THESE

## TITRE

Test de systèmes ubiquitaires avec prise en compte explicite de la mobilité

## DESCRIPTION

Les avancées technologiques du monde « sans fil » ont conduit au développement d'applications ubiquitaires qui combinent la mobilité physique des nœuds et un haut degré d'instrumentation de leur environnement. Les caractéristiques propres de ces applications (dynamisme de la structure du système, communication avec des partenaires inconnus dans le voisinage, dépendance vis-à-vis du contexte physique) posent de nouveaux défis concernant leur vérification et leur validation. Ce travail se situe dans le cadre du test.

Une première approche basée sur des descriptions de scénarios de test a été définie. Cette approche étend les langages de scénarios classiques (ex : les Diagrammes de

Séquences UML) afin de couvrir les spécificités des systèmes ubiquitaires. Une de ces extensions est la représentation graphique des relations spatiales entre les nœuds. Les traitements des scénarios de test incluent alors à la fois des algorithmes d'appariement de graphes et des algorithmes de calcul d'ordres partiels d'événements. Le candidat s'appuiera sur cette approche pour proposer de nouveaux développements.

Une première perspective est l'enrichissement de la vue spatiale des scénarios, pour une meilleure prise en compte de la dépendance vis-à-vis du contexte. Les nœuds mobiles sont en effet susceptibles de s'adapter à un contexte complexe, dû au niveau d'instrumentation élevé de l'environnement dans lequel ils évoluent. Il faudra proposer une extension des descriptions existantes, pour aller au-delà de la représentation de quelques attributs contextuels simples.

Une deuxième perspective concerne l'algorithmique de traitement des scénarios. La combinatoire de l'appariement de graphes est notamment très coûteuse, ce qui limite l'application de la méthode à des systèmes de taille modeste. Il faudra étudier les optimisations possibles en termes de temps de calcul et d'espace mémoire. De plus, on pourra envisager la mise en œuvre de prétraitements, ainsi qu'un couplage astucieux des algorithmes d'appariement de graphes et de calcul d'ordres partiels, pour permettre une meilleure efficacité.

Ces travaux seront étayés par des expérimentations sur des exemples de systèmes ubiquitaires. Notamment on pourra utiliser une plate-forme expérimentale déployée dans un bâtiment intelligent.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

Ce travail de thèse s'inscrit dans le développement d'une méthodologie de test pour des applications mobiles évoluant dans un environnement réseau sans fil peu structuré. Un premier travail a été initié dans le groupe TSF et a abouti à la soutenance d'une thèse en novembre 2009. Cette première thèse a permis, par une approche novatrice, d'obtenir des résultats tangibles et de mettre en évidence la complexité du travail restant à réaliser pour obtenir une méthodologie complète et efficace. Les travaux anciens et futurs pourront être évalués dans cadre du futur projet ADREAM (Architectures Dynamiques Reconfigurables de systèmes Embarqués Autonomes Mobiles) du LAAS.

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE - C1

## EQUIPE DE RECHERCHE

Groupe ISI  
Laas du CNRS

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Vincent ALBERT  
Alexandre NKETSA

## CONTACTS

[valbert@laas.fr](mailto:valbert@laas.fr)  
[nketsa@laas.fr](mailto:nketsa@laas.fr)

## SUJET DE THESE

### TITRE

Validation de modèles de simulation

### DESCRIPTION

La simulation est très largement utilisée dans les processus d'ingénierie comme moyen d'aide à la décision et de validation des systèmes en cours de développement. L'activité de validation des modèles et des simulations est une activité incontournable pour s'assurer du crédit que l'on peut porter aux résultats fournis par les modèles et les simulations utilisés au regard de leur environnement et des objectifs d'utilisation, i.e. les propriétés systèmes à analyser.

*Un modèle est une représentation abstraite d'un système réel dirigé par un objectif. Il n'y a pas un modèle d'un système qui représente toutes les caractéristiques du système. Tout d'abord la modélisation est dirigée par la perspective que l'on souhaite avoir du système, i.e. ce qui sera considéré et ce qui sera ignoré. Par exemple, prenons comme système un ordinateur. Le concepteur d'un tel système pourra à un*

moment donné vouloir étudier le taux de défaillance. Dans ce cas il réalisera un modèle de fiabilité dont la donnée d'entrée du modèle sera la fiabilité des composants et la donnée de sortie une durée moyenne de fonctionnement avant défaillance (MTTF - Mean Time To Failure). Ou bien il voudra étudier la puissance de calcul de ce système. Dans ce cas il réalisera un modèle d'architecture dont la donnée d'entrée du modèle sera un programme et la donnée de sortie un temps d'exécution. Autant de modèles que de questions à propos du système qu'ils représentent peuvent être réalisés. D'autre part la modélisation est dirigée par le niveau de détail du modèle requis. Prenons comme exemple la modélisation de la terre. Une terre plate est correcte pour une simulation de tir à 20 km. En revanche pour une simulation de tir balistique tactique il faudra au moins disposer d'une modélisation sphérique ou ellipsoïdale de la terre.

En pratique, une simulation requiert au moins les éléments suivants :

- le modèle du système simulé, également appelé le système d'intérêt.
- les modèles d'environnement, i.e. les modèles des systèmes en interaction avec le système d'intérêt.
- une plateforme d'exécution, i.e. le moteur de simulation, qui va gérer le temps et les évolutions des modèles, un ordinateur (ou un ensemble d'ordinateurs distribués sur un réseau) et un système d'exploitation.
- des scénarios d'expérimentation, également appelé le cadre expérimental, qui décrit la situation initiale du système, les événements prévisibles qui surviendront au cours du temps et les données attendues en sortie qu'il conviendra ensuite d'exploiter.

Dans ce contexte nous définissons la validité d'une simulation comme *la capacité du simulateur (modèles + plateforme d'exécution) et du cadre expérimental à répondre aux questions posées par l'utilisateur.*

L'objectif de l'étude est de fournir un apport théorique pour évaluer la validité d'une abstraction, i.e. évaluer que la simulation d'un modèle abstrait et la simulation d'un modèle de référence (ou l'expérimentation du système réel) conduisent au même jugement pour l'objectif considéré. La poursuite de cet objectif consiste à associer aux données du modèle des informations syntaxiques et sémantiques permettant de préciser son *domaine de validité*. Ces informations incluent les moyens de contrôlabilité permettant de stimuler les modèles et les moyens d'observabilité permettant l'observation des effets des stimuli d'entrée sur le modèle, le type et la structure des données échangées, les traces d'exécutions acceptables...

De telles informations sur les modèles permettent de définir formellement leurs limitations et leurs capacités, d'engager les développeurs de modèles vers une

meilleure compréhension de ces derniers, de standardiser les concepts et la terminologie à travers l'équipe de développement et bien sûr de justifier la pertinence du choix d'un modèle au regard des objectifs à atteindre.

Un deuxième aspect du travail consiste à définir des métriques pour statuer sur l'efficacité du cadre expérimental à satisfaire les objectifs d'utilisation de la simulation. Ces métriques concernent par exemple le taux de couverture du cadre expérimental sur le modèle, i.e. évaluer si le cadre expérimental assure une exploration suffisante du modèle. Elles peuvent aussi concerner le taux de couverture de la simulation sur les objectifs.

## **CONTEXTE SCIENTIFIQUE**

Les travaux du groupe ISI du LAAS-CNRS s'orientent dans un contexte général de l'Ingénierie des Systèmes et de l'intégration des systèmes hétérogènes. Les systèmes en question sont les systèmes embarqués (composantes logicielle et matérielle) en général à fortes contraintes temps-réel et pluridisciplinaires (électrique, mécanique, information, hydraulique...). Nous cherchons à proposer des méthodes et des outils permettant la maîtrise du cycle de développement de tels systèmes. L'utilisation des modèles et de la simulation devient une composante prépondérante dans ce cycle de développement et nous cherchons à améliorer (et à terme à automatiser) leur utilisation.

La plupart des outils de développement de modèles intégrés pour les systèmes embarqués utilisent des approches basées sur les composants logiciels. C'est le cas de Simulink pour MathWorks, LabView de National Instrument, System C, les diagrammes de composant et d'activité en SysML et d'un certain nombre d'outils de recherche tel que ModHel'X, HetSC, Metropolis, BIP et Ptolemy. Dans cette approche, les composants de modélisation sont vus comme des boîtes qui s'exécutent de manière concurrentes et qui communiquent par envoi de messages à travers des ports interconnectés. Nous cherchons à améliorer ces techniques d'ingénierie des modèles en annotant les éléments des composants de modélisation, par exemple les ports, par des types statiques et comportementaux. C'est ce que propose la théorie des systèmes typés de Hindley-Milner sur laquelle nous basons notre approche. Dans cette théorie, les types sont des éléments d'un treillis. Un treillis établit une hiérarchie d'abstraction entre un élément abstrait unique et un élément concret unique. Cela nous permet alors de mettre en relation les modèles par niveau d'abstraction. Ensuite nous associons aux composants de modélisation un ensemble de contraintes. Les métriques proposées doivent ensuite être définies par des critères d'acceptation permettant de déduire, au travers d'algorithmes d'inférence, les abstractions autorisées, i.e. qui ne violeront pas les contraintes.

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE - C2

## EQUIPE DE RECHERCHE

Groupe MAC  
Laas du CNRS

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Denis ARZELIER  
Christophe LOUEMBET

## CONTACTS

[arzelier@laas.fr](mailto:arzelier@laas.fr)  
[christophe.louembet@laas.fr](mailto:christophe.louembet@laas.fr)

## SUJET DE THESE

## TITRE

Commande Optimale Impulsionnelle : optimalité et robustesse

## DESCRIPTION

Nous nous intéressons au problème de commande optimale en temps fixé et en consommation minimale sous les hypothèses d'une commande impulsionnelle et d'une dynamique linéaire. L'hypothèse impulsionnelle régulièrement utilisée dans le domaine spatiale implique que l'espace des commandes admissibles peut contenir des fonctions ordinaires mais aussi des fonctions généralisées. Cette classe de problèmes nécessite un appareil mathématique sophistiqué (théorie de la mesure et analyse non différentiable entre autres) et fait l'objet de recherches actuelles [Pereira00], [Arutyunov03] en particulier afin d'étendre le principe du maximum de Pontryagin dans le cadre des méthodes indirectes.

L'objet de la thèse est d'aborder le problème général avec comme support illustratif, le problème du rendez-vous spatial qui permet d'y associer des modèles dynamiques de complexité variable intégrant des perturbations orbitales telles que celles liées à l'aplatissement des pôles ou au frottement atmosphérique, ainsi que des contraintes opérationnelles du type évitement de collision. Celles-ci se traduisent par des contraintes sur la trajectoire optimale d'état ajoutant une très forte complexité au problème initial. Compte tenu de l'ensemble des contraintes imposées à la solution, ce type de problèmes sera abordé conjointement dans le cadre des méthodes indirectes sous l'angle de l'optimalité d'une part et dans le cadre des méthodes directes sous l'angle de la robustesse et des contraintes opérationnelles. Dans le premier cas, il s'agit de revisiter la théorie du primer vector à l'aide des travaux fondamentaux de Neustadt [Neustadt65] afin d'étendre les conditions nécessaires d'optimalité à des cas de modélisation dynamique plus complexes. Dans le second, la souplesse des méthodes directes doit être utilisée afin d'ajouter des caractéristiques de robustesse (dates, amplitudes et directions de poussée, conditions initiales...) aux plans de manœuvre usuellement calculés par la résolution de problèmes d'optimisation paramétriques robustes (au sens du pire des cas) et l'utilisation de l'analyse par intervalle.

[Arutyunov03] Arutyunov, A. and Jacimovic, V. and Pereira, F.L., "Second order necessary conditions for optimal impulsive control problems", *Journal of dynamical and Control Systems*, Vol. 9, N° 1, pp. 131-153, 2003.

[Neustadt65] Neustadt, L.W., A general theory of minimum-fuel space trajectories, *SIAM Journal of Control*, Vol. 3, N° 2, pp. 317-356, 1965.

[Peireira00] Pereira, F.L. and Silva, G.N., "Necessary conditions of optimality for vector-valued impulsive control problems", *Systems and Control Letters*, Vol. 40, pp. 205-215, 2000.

## CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Depuis quelques années, des relations étroites avec le CNES et Astrium ont été développées sur le problème du rendez-vous en consommation minimale entre deux véhicules spatiaux sous hypothèses impulsives. Les résultats des premières études a permis de construire différents codes de calcul MATLAB de plans de manœuvres pour le cas co-planaire sous hypothèses képlériennes dans le cadre d'une approche indirecte (utilisation du principe du maximum et théorie du primer vector) et dans le cadre des approches directes. Dans le premier cas, les aspects d'optimalité des trajectoires prévalent alors que dans le second cas, les aspects de calcul temps réel et de robustesse des solutions sont privilégiés. Ce travail a permis d'identifier un corpus théorique important sur les problèmes de commande optimale impulsive avec des questions fondamentales qui sont rarement abordées dans la littérature (convergence des algorithmes existants, certification de l'optimalité, unicité des solutions optimales, robustesse des plans de manœuvre). Cette thèse est donc l'occasion de se pencher sur les aspects les plus théoriques de cette problématique.

# - SUJET DE THESE SELECTIONNE - C3

## EQUIPE DE RECHERCHE

Groupe MOGISA  
Laas du CNRS

## DIRECTEUR / Co-DIRECTEUR de Thèse

Emmanuel HEBRARD  
Marie-José HUGUET

## CONTACTS

[emmanuel.hebrard@laas.fr](mailto:emmanuel.hebrard@laas.fr)  
[huguet@laas.fr](mailto:huguet@laas.fr)

## SUJET DE THESE

## TITRE

Raisonnement sur les Distances pour l'Optimisation Combinatoire

## DESCRIPTION

La programmation par contraintes est une méthode efficace et générique pour modéliser et résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire. Dans ce formalisme, tout modèle d'un problème combinatoire correspond à un ensemble de variables, dont les domaines sont discrets, et un ensemble de contraintes définissant les relations possibles entre variables. L'objectif est de produire une solution, c'est-à-dire un assignement de chaque variable à une valeur de son domaine telle que toutes les contraintes soient satisfaites. Une recherche exhaustive, même arborescente, étant le plus souvent hors de question, une étape dite *d'inférence* est déclenchée suite à l'exploration de chaque noeud. Lors de cette étape, certaines "branches" de l'arbre de recherche ne conduisant pas à une solution (améliorante) sont coupées.

La *propagation de contraintes* est le mécanisme d'inférence le plus couramment utilisé. Elle repose sur la notion de consistance de solutions partielles vis-à-vis des contraintes du problème. Un algorithme de propagation de contraintes réduit le domaine courant des variables en supprimant les valeurs inconsistantes et permet ainsi d'élaguer l'espace de recherche. Nous proposons d'étudier, sous l'angle des contraintes globales (et de leurs algorithmes de propagation associés) le problème de minimisation ou de maximisation de la distance entre vecteurs de variables. De manière plus formelle, soit  $(x_1, \dots, x_n)$  un  $n$ -vecteur de variables, soit  $D(x_i)$  le domaine de  $x_i$  pour tout  $i$  dans  $\{1, \dots, n\}$ . Il est possible de définir une fonction de distance  $d : \mathbb{Z}^n \times \mathbb{Z}^n \mapsto \mathbb{N}$  sur les assignements de  $(x_1, \dots, x_n)$ .

Par exemple soient  $u = (u_1, \dots, u_n)$  et  $v = (v_1, \dots, v_n)$  deux assignements, éléments du produit cartésien des domaines  $D(x_1) \times \dots \times D(x_n)$ .

La distance Euclidienne  $d_E$  entre  $u$  et  $v$  est donc :

$$d_E(\bar{u}, \bar{v}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (u_i - v_i)^2}$$

La distance entre vecteurs de variables intervient dans de nombreuses applications. Imposer une borne supérieure peut, notamment, permettre de promouvoir une certaine stabilité pour des problèmes d'optimisation présentant un caractère périodique comme des problèmes d'ordonnancement de chaîne de montage, de planification de livraisons ou de constitution d'emplois du temps (le plan ou l'emploi du temps se répète sur un période, par exemple hebdomadaire). Considérons un problème de tournées de véhicules où un ensemble de routes minimisant un coût doivent être allouées à une flotte de véhicules de manière à satisfaire une demande. Sur un horizon donné, la demande pour chaque période varie légèrement, mais la stabilité des tournées améliore la qualité du service. Cette qualité de service peut être considérée du point de vue de clients appréciant d'être visités à la même heure et/ou par le même chauffeur. La qualité de service peut également être prise en compte par rapport à la régularité du chemin emprunté. Ce type de problème peut se voir comme une séquence de variantes d'un même modèle, chacun correspondant à une période, et où la distance entre les sous-solutions doit être minimisée. Les caractéristiques de robustesse d'une solution, c'est-à-dire de résilience aux incertitudes de cette solution, peut également être modélisée à l'aide de contraintes sur la distance. Le modèle standard pour représenter la notion d'incertitude dans le cadre de l'optimisation combinatoire repose sur la distinction entre une phase "offline" et une phase "online". Dans la phase offline, le problème est modélisé et une solution est produite. Dans la phase online, de nouvelles contraintes, représentant des divergences entre le modèle initial et la situation réelle, apparaissent et une solution satisfaisant ces contraintes doit être déterminée.

Le terme de robustesse recouvre plusieurs aspects selon le domaine d'application ou la communauté de recherche. Une définition possible de la robustesse d'une solution calculée "offline" est la propension de cette solution à rester valide après changements. Une autre définition, moins restrictive, est de considérer qu'une solution est robuste si elle offre des garanties sur l'existence d'alternatives similaires en cas de perturbations importantes. La notion de similarité entre une solution originale et la solution alternative déployée "online" est importante car toute divergence représente le plus souvent un coût de réorganisation.

Il est relativement courant, dans le cadre de l'optimisation combinatoire, de modéliser l'incertitude à l'aide de scénarios. Pour chaque scénario probable, une variante du problème original est utilisée. La solution idéale doit être valide pour tous les scénarios à la fois, mais le plus souvent des compromis doivent être consentis, par exemple sur la qualité, pour permettre cette forme de robustesse.

Enfin, imposer une borne inférieure sur la distance présente aussi un intérêt certain, par exemple pour échantillonner l'espace de recherche. Par exemple dans le cas d'un problème de configuration, il est utile de proposer un ensemble de solutions diverses pour une instance donnée.

La thèse portera sur l'étude de contraintes globales sur la distance entre vecteurs de variables. En particulier, considérons  $k$   $n$ -vecteurs de variables :

$$\begin{aligned} x^1 &= (x_1^1, x_2^1, x_3^1, \dots, x_n^1) \\ x^2 &= (x_1^2, x_2^2, x_3^2, \dots, x_n^2) \\ &\dots \\ x^k &= (x_1^k, x_2^k, x_3^k, \dots, x_n^k) \end{aligned}$$

Un certain nombre de contraintes de distance peuvent être définies sur un tel ensemble de variables. En particulier, nous proposons d'étudier la complexité ainsi que le développement d'algorithmes pour la propagation et le calcul de bornes pour les contraintes de la forme :

$$\bigoplus_{1 \leq i < j \leq k} d(x^i, x^j) \lesseqgtr N$$

Où  $\bigoplus$  désigne un opérateur dans  $\{\sum, \max, \min\}$  et  $d : \mathbb{Z}^n \times \mathbb{Z}^n \mapsto \mathbb{N}$  est une fonction de distance.

L'étude pourra s'appuyer sur des travaux antérieurs où l'opérateur d'agrégation  $\bigoplus$  est une somme, et où  $d$  est la distance de Hamming [4, 5]. Les travaux venant de la bioinformatique et des algorithmes sur les chaînes de caractères (e.g. [2, 6]) devront aussi être pris en compte. Le sujet proposé est en effet une généralisation de ces problèmes puisque des vecteurs de variables se substituent ici aux vecteurs de caractères. De nombreuses directions de recherche potentielles

pourront être suivies par le candidat. Nous proposons de façon ni exhaustive ni limitative :

- Le développement d’algorithmes de calcul de bornes pour d’autres fonctions de distance (e.g., distance de Manhattan et distance Euclidienne).
- L’analyse de complexité pour ces distances.
- Le développement d’algorithmes de propagation (consistance d’arc et de bornes).
- L’application de ces méthodes de raisonnement sur les distances à des problématiques de régularité et de stabilité pour des problèmes respectivement périodiques et incertains.

Le sujet proposé est de nature essentiellement théorique : l’accent sera mis sur l’étude algorithmique et l’analyse de la complexité des problèmes décrits ci-dessus. Il sera cependant possible, selon les affinités et les préférences du candidat, de mettre en oeuvre les algorithmes en question dans un cadre plus concret, par exemple de tournées de véhicules régulières dans des problèmes de transport [1, 3, 7] ou de problèmes de reconfiguration de l’ordonnancement sur des architectures distribuées dans des systèmes critiques.