

## ED SMAER

### Sujet de thèses 2014

Laboratoire : ISIR

Etablissement de rattachement : UPMC – CNRS UMR 7222

Directeur de thèse et section CNU: Faïz Ben Amar, 60<sup>ième</sup> section

Codirection et section CNU : Christophe Grand (61<sup>ième</sup> section)

Titre de la thèse : **Prédiction de la mobilité pour robot terrestre pour la planification en-ligne de trajectoires.**

Collaborations dans le cadre de la thèse : Partenaires du réseau Robotique Mobile du projet RoboTex

Rattachement à un programme : Equipex (RoboTex)

#### Résumé du sujet :

Les robots terrestres du futur auront à aller plus vite et plus loin et à intervenir d'une façon autonome dans des milieux de plus en plus complexes. Une nécessité essentielle pour ces robots autonomes lors d'évolution dans des environnements non structurés est de pouvoir prédire efficacement leur mouvement sur des sols accidentés. Afin de générer des trajectoires admissibles et optimales, il convient de se doter de modèles du robot qui respectent à la fois (1) les contraintes dynamiques prédominantes et (2) les contraintes temps réel du planificateur de trajectoires. Ce dernier doit optimiser en-ligne le chemin de référence et les paramètres de vitesse, sachant qu'on suppose connu le but à atteindre et la carte locale du sol. Le sujet de thèse proposé concerne le développement de modèles permettant de prédire des indices de performances tels que la stabilité, le temps de parcours, les erreurs de suivi ou encore l'énergie consommée sur des tronçons de trajectoires. Parmi les approches envisagées, les techniques de réduction de modèles tels que la SVD (Singular Value Decomposition) ou la POD (Proper Orthogonal Decomposition) sont des voies à privilégier afin de réduire la complexité du modèle et d'obtenir un modèle temps réel qui peut être utilisé dans une boucle de commande. Le second point qu'on souhaite traiter dans le cadre de cette thèse est la prise en compte des incertitudes de mesure lors de la prédiction. En effet, certains paramètres comme ceux de l'état du robot ou ceux de l'environnement sont variables ou pas parfaitement connus, induisant ainsi des incertitudes sur ces paramètres. La prise en compte des incertitudes permet d'étendre le domaine de prédiction par une modélisation stochastique et d'améliorer ainsi la robustesse des prédictions. Ces prédictions devraient être par la suite utilisées lors d'évaluation des trajectoires. Ces évaluations peuvent prendre la forme d'attribution de coût de transitions dans les espaces d'état ou de configuration du robot et à la construction de graphes dans ces espaces. Une fois les graphes construits, des algorithmes de recherches sont par la suite exécutés afin de définir la séquence optimale (ou sous-optimale) de transitions discrètes, et d'en déduire la trajectoire ou le chemin de référence à suivre après lissage. Les résultats attendus de cette thèse seront validés sur la plateforme SPIDO acquise récemment dans le cadre des équipements d'excellence RoboTex.

## Sujet développé

### Contexte

Les robots terrestres du futur auront à aller plus vite et plus loin et à intervenir d'une façon autonome dans des milieux de plus en plus complexes. Une nécessité essentielle pour ces robots autonomes lors d'évolution dans des environnements non structurés est de pouvoir prédire efficacement leur mouvement sur des sols accidentés. La mobilité des véhicules terrestres dépend d'un très grand nombre de paramètres, comme ceux du véhicule (état, géométrie, inertie, raideur ...) et ceux de l'environnement (géométrie des obstacles, pentes, raideurs, cohésion, friction, ...). Ces derniers paramètres vont en plus être amenés à changer d'une façon continue ou discontinue dans le cas des environnements ouverts et destructurés. Afin de générer des trajectoires admissibles et optimales, il convient de se doter de modèles du robot à la fois représentatifs des contraintes dynamiques prédominantes et efficaces en temps de calcul afin de pouvoir les intégrer dans le planificateur de trajectoires. Ce dernier doit optimiser en-ligne le chemin de référence et les paramètres de vitesse, sachant qu'on suppose connu le but à atteindre. Le sujet de thèse proposé concerne le développement de modèles permettant de prédire des indices de performances tels que la stabilité, le temps et la qualité du parcours ou encore l'énergie consommée sur des tronçons de trajectoires. La qualité de ces indices de performance doit être également qualifiée au regard des incertitudes sur les paramètres du robot et d'environnement.

### Objectifs

Parmi les approches envisagées, les techniques de réduction de modèles tels que la SVD (Singular Value Decomposition) ou la POD (Proper Orthogonal Decomposition) sont des voies à privilégier, car elles peuvent permettre une réduction de la dimension de l'espace de paramètres et donc d'aboutir à des modèles de prédiction suffisants et efficaces. Ce type de réduction est à mettre en parallèle avec les modèles linéaires quart de véhicule ou demi-véhicule souvent utilisés dans les études d'optimisation des paramètres de suspension dont l'entrée est le profil du sol. Il s'agit dans le cadre de ce travail de générer automatiquement et hors-ligne ce type de réduction en utilisant les techniques mentionnées et de générer les modèles associés afin qu'ils puissent être utilisés en-ligne par le contrôleur haut-niveau du robot lors de son optimisation de trajectoire. Ce premier objectif de la thèse repose sur une approche déterministe du problème basée sur une modélisation physique de la dynamique du système multi-corps et multi-contacts. Plusieurs bases de simulation qualifiées sont déjà disponibles : on y retrouve les produits commerciaux destinés aux industriels tels que Adams, Recurdyn ou Vortex ou des produits de laboratoire tels que ODE, Bullet ou XDE. Une priorité est donnée aux seconds pour l'ouverture de leur source et leur facilité d'interfaçage avec d'autres modules utilisateurs.

Le second point tout aussi important qu'on souhaite traiter dans le cadre de cette thèse est la prise en compte des incertitudes de mesures lors de la prédiction. En effet, certains paramètres d'état du robot ou ceux de l'environnement sont variables ou pas parfaitement connus, induisant ainsi des incertitudes sur ces paramètres. La prise en compte des incertitudes permet d'étendre le domaine de prédiction par une modélisation stochastique, d'améliorer la robustesse des prédictions et d'estimer les erreurs. Plusieurs méthodes peuvent être

envisagées notamment la méthode de simulation de Monte-Carlo, ou d'échantillonnage Latin Hypercube ou encore de chaos polynomial. Cette dernière est particulièrement intéressante d'un point de vue temps de calcul puisqu'il est admis qu'elle requiert beaucoup moins de simulations que les deux premières approches avec des qualités de prédiction équivalentes.

## Résultats attendus

Ces prédictions devraient être par la suite utilisées lors d'évaluation de trajectoires. Ces évaluations peuvent prendre la forme de coût de transition dans l'espace d'état du robot et à la construction d'un graphe dans cet espace. La génération des états est alors effectuée par un tirage aléatoire respectant une certaine distribution matérialisant les difficultés locales exprimées sur la base d'un modèle plus globale. Cette méthode de recherche connu sous le nom de RRT (Rapid Random Tree) a connu récemment plusieurs extensions (RRT\*, A-RRT, ...) la rendant appropriée aux systèmes dynamiques où l'environnement n'est connu que localement et où il faut constamment redéfinir la trajectoire de référence en prenant compte ainsi des nouvelles données sur l'environnement et sur l'état courant du robot.

Un nombre important de fonctions de calcul peut être réalisé d'une façon simultanée sur plusieurs processeurs. Aussi, il serait très intéressant de pouvoir utiliser toutes les ressources dont on peut disposer sur le robot, notamment celles offertes par les processeurs graphiques (GPU).

Les résultats attendus de cette thèse seront validés sur la plateforme SPIDO acquise récemment dans le cadre des équipements d'excellence RoboTex. Ce robot composé de 4 roues motrices, deux essieux directeurs, de 4 suspensions indépendantes à grand débattements, et d'un système actif anti-roulis permet d'évoluer en tout terrain et d'atteindre la vitesse de 12m/s. Il est équipé d'un GPS-RTK d'une précision centimétrique, d'une centrale inertielle et de capteurs proprioceptifs. Une collaboration avec le DTIM/ONERA a été initiée pour l'équiper en plus de caméras pour la perception de la surface du sol à l'avant du robot permettant la construction d'un modèle numérique du terrain (MNT).

## Références

- [1] Gaurav Kewlania, Justin Crawfordb and Karl Iagnemmaa, A polynomial chaos approach to the analysis of vehicle dynamics under uncertainty, *Vehicle System Dynamics*, 2012, 1–26.
- [2] F Ben Amar, Pierre Jarrault, Philippe Bidaud, Christophe Grand, Analysis and optimization of obstacle clearance of articulated rovers,. *IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2009, Pages : 4128-4133
- [3] C. Grand, F. Ben amar, and F. Plumet. Motion kinematics analysis of wheeled-legged rover over 3d surface with posture adaptation. *Mechanism and Machine Theory*, 45(3) :477-495, March 2010.
- [4] Tulga Ersala, Burit Kittirungsia, Hosam K. Fathya and Jeffrey Model reduction in vehicle dynamics using importance analysis, *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, Volume 47, Issue 7, 2009.

[5] Andrew Hall, Thomas Uchida, Francis Loh, Chad Schmitke, John Mcphee, Reduction of a Vehicle Multibody Dynamic Model Using Homotopy Optimization, Archive of Mechanical Engineering, Issue 1, Pages 23–35, 2010.