

ED SMAER

Sujet de thèses 2018

Laboratoire : ISIR

Etablissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Jérôme Szewczyk CNU 60

Codirection et section CNU ou CNRS : Ludovic Saint-Bauzel CNU 27

Titre de la thèse : **Communication kinesthésique pour la chirurgie par robotique comanipulée**

Collaborations dans le cadre de la thèse :

Rattachement à un programme :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI ~~NON~~ rayer la mention inutile.

Résumé du sujet :

Le but de cette thèse serait d'étudier si la communication kinesthésique humain-humain peut-être modélisée et implémentée dans un partenaire virtuel qui assisterait un chirurgien dans son opération. Il s'agit ainsi de proposer un modèle computationnel qui soit capable de transmettre des actions kinesthésiques pour améliorer l'opération en augmentant la précision et/ou en réduisant les risques.

Cette communication kinesthésique représente une combinaison de phénomènes connus dans l'haptique comme le champs de force, le ressort-amortisseur... Cette combinaison active permet d'inciter des comportements chez le partenaire tel que la prise d'initiative ou au contraire une action de suivi. Une utilisation spatio-temporelle de ces phénomènes en concordance avec le contexte de l'interaction et la situation est le point novateur de ce projet.

Cette thèse focalisera les études sur des actions chirurgicales mini-invasives. Ce qui est aussi un point d'intérêt fort. Cette communauté développe différents outils de contraintes actives mais elles se focalisent sur la tâche mais pas sur la sémantique, le message porté par les actions kinesthésiques.

On pourra étudier pour cela les signaux d'interaction (efforts, vitesses) dans des tâches de comanipulation entre deux personnes humaines, en s'appuyant sur la littérature du domaine. La détection des conflits d'intention sera ici d'une particulière importance.

Dans un deuxième temps, il s'agira de proposer des algorithmes reproduisant ces comportements, de les planter dans les lois de commande bas niveau d'un robot, et d'évaluer la pertinence de la proposition à travers des campagnes expérimentales impliquant des sujets humains.

Sujet développé (à présenter en 2 ou 3 pages maximum,
en précisant notamment le contexte, les objectifs, les résultats attendus)

Contexte : Les dispositifs de comanipulation peuvent apporter des fonctions très diverses de guidage, d'accompagnement d'un mouvement, de stabilisation, d'amplification des efforts, etc.

Ces fonctions sont apportées par les échanges d'énergie mécanique à travers le ou les ports supports de l'interaction physique : adaptation d'impédance, filtrage fréquentiel, ajustement des trajectoires sur des paramètres identifiés de l'interaction, etc.

On souhaite étudier les tâches interactives et agonistes, comme formalisé dans [Jarrassé et al. 2012], cela sous entend qu'une dépendance existe dans l'action d'un agent par rapport à l'autre et que cette relation n'est pas compétitive, un agent ne gagne pas à faire perdre l'autre. Ce cadre décrit les actions de comanipulation, où le robot et l'utilisateur doivent partager leurs actions et obtenir un comportement émergent qui permet la réalisation d'une fonction. Ce cadre de travail permet d'imaginer de proposer des systèmes utiles pour l'assistance à la chirurgie.

Au-delà des fonctions d'assistance, les ports physiques peuvent aussi servir de support de communication. Il s'agit, pour chacun des deux agents (le robot et le sujet), de transmettre à son comanipulateur des informations concernant ses intentions motrices ou son état. En retour, chacun des deux agents doit être capable de comprendre les signaux. Cette communication qui se construit par le mouvement, a été observée dans des mouvements avec un échange de force. [Van der Wel et al. 2010] l'ont observé dans une tâche de tiré de corde. [Takagi et al. 2017] ont montré la capacité de l'individu à prédire le mouvement d'un autre pour définir leur mouvement dans des tâches sur un plan XY, ils proposent pour cela une approche basée sur un modèle bayésien du geste. [Groten et al. 2013] ont étudié le mouvement de deux humains qui bougent une masse de 10kg sur un rail, ils ont pour cela mis en œuvre un robot qui simule une liaison entre la poignée de chaque usager. Ils ont constaté que l'information kinesthésique améliore la performance par rapport à un geste commun avec seulement un retour visuel.

Remplacer un des partenaires humains par un partenaire virtuel a aussi été envisagé en robotique. Tout d'abord, [Hogan 1985] propose la commande en impédance qui simule un ressort-amortisseur et permet ainsi à l'utilisateur de piloter un système de façon intuitive. Cet intuitivité a permis le développement de robots appelés "Cobots" [Peshkin & Colgate 2001] car ils permettent une comanipulation avec les robot. Toutefois, le rôle du partenaire robotisé est fixe et il s'agit d'un rôle de suiveur.

Ce constat est aussi vrai dans la robotique chirurgicale. Certaines études montrent l'utilisation d'actions kinesthésiques dans la chirurgie mini-invasive, elles sont appelés « Virtual Fixtures » [Vitrani et al. 2017] ou « Active Constraints » [Bowyer et al. 2014]. Il s'agit dans ces expérimentations d'une modification dynamiques de la tâche au regard des évolutions de la tâche, comme par exemple si un organe se déplace. Toutefois, il s'agit principalement de définir des systèmes réactifs aux évolutions de la tâche. La valeur communicative de l'action n'est pas étudiée en elle même.

Les études sur la collaboration physique humain-humain montrent qu'il existe une information transmise dans l'interaction entre les acteurs de l'action. Elle est visuelle (Isbister et al. 2000),

auditive [Fernández et al. 2006] mais aussi kinesthésique [Reed & Peshkin 2008] [Bin Abu Bakar et al. 2009] [Ikemoto et al. 2009] et/ou haptique [Groten et al. 2013]. Certaines de ces études ont essayé de répliquer ces comportements avec un système robotisé, la démonstration de l'apport de tels informations pour l'amélioration dans la réalisation de la tâche n'est pas toujours évident.

[Mortl et al. 2012] ont montré que le changement de rôle était plus efficient qu'un rôle statique dans une interaction haptique. Les changements de rôles sont d'ailleurs observés dans les tâches de coopération entre humaines. Pour obtenir des interactions plus proches de celle avec l'humain, plus compréhensibles et plus naturelles, il semble utile d'inclure une capacité à changer de rôle.

Une compréhension plus systématique des tenants et aboutissants des différentes transmissions d'informations des contraintes actives possibles par les systèmes comanipulés en chirurgie mini-invasive permettrait d'avoir un outil de conception de contrôleur plus adapté aux futurs challenges de la robotique en coopération avec le chirurgien.

Objectifs et déroulement prévisionnel :

L'objectif de ce travail de thèse est donc de développer un partenaire virtuel qui communique par kinesthésie (effort, position) pour améliorer une opération chirurgicale comanipulée.

Nous souhaitons ainsi bâtir cette communication kinesthésique à partir principalement de machines à états statistiques. Cette modélisation a déjà prouvé son fonctionnement pour un cas qui est celui de la décision droite-gauche [Roche & Saint-Bauzel 2016]. Cela permettra de proposer des solutions lisibles, programmables et combinables.

La méthode de construction de ces machines à états est un des sujets de ce projet de recherche. En effet, il est naturellement envisageable d'utiliser des heuristiques et l'analyse des données comme pour le travail actuellement développé au laboratoire. Toutefois, cette approche risque d'atteindre ses limites et l'utilisation de méthodes par apprentissage est envisagée pour généraliser et automatiser cette approche. Ainsi une étude comparée de la pertinence des méthodes basées sur les arbres de décision sera faite. Elle inclura l'évaluation des méthodes ERF (Extremely Random Forest) [Geurts et al. 2006] en comparaison avec des approches markoviennes (HMM) [Figuroa-Angulo et al. 2015] et enfin de la programmation génétique de réseaux [Mabu et al. 2013]. Elle donnera une analyse de la performance de ces méthodes ainsi que de leur limites pour ce contexte kinesthésique. Approfondir cette connaissance est un apport espéré de cette thèse.

Bibliographie

Bin Abu Bakar, S.; Ikeura, R.; Bin Salleh, A. and Yano, T. (2009). *A study of human-human cooperative characteristic in moving an object,* : 1158-1163.

Bowyer, S. A.; Davies, B. L. and y Baena, F. R. (2014). *Active Constraints/Virtual Fixtures: A Survey,* IEEE Transactions on Robotics 30 : 138-157.

- Fernández, R.; Lucht, T.; Rodríguez, K. and Schlangen, D. (2006).** *Interaction in task-oriented human-human dialogue: The effects of different turn-taking policies*, .
- Figueroa-Angulo, J. I.; Savage, J.; Bribiesca, E.; Escalante, B. and Sucar, L. E. (2015).** *Compound Hidden Markov Model for Activity Labelling*, International Journal of Intelligence Science 05 : 177-195.
- Geurts, P.; Ernst, D. and Wehenkel, L. (2006).** *Extremely randomized trees*, Machine Learning 63 : 3-42.
- Groten, R.; Feth, D.; Klatzky, R. L. and Peer, A. (2013).** *The Role of Haptic Feedback for the Integration of Intentions in Shared Task Execution*, IEEE Transactions on Haptics, Vol 6, No 1 .
- Hogan, N. (1985).** *Impedance control - An approach to manipulation. I - Theory. II - Implementation. III - Applications*, ASME Transactions Journal of Dynamic Systems and Measurement Control B 107 : 1-24.
- Ikemoto, S.; Amor, B.; Minato, T.; Ishiguro, H. and Jung, B. (2009).** *Physical interaction learning: Behavior adaptation in cooperative human-robot tasks involving physical contact.*, : 504–509.
- Jarrassé, N.; Charalambous, T. and Burdet, E. (2012).** *A Framework to Describe, Analyze and Generate Interactive Motor Behaviors*, PLoS ONE 7 : e49945.
- Mabu, S.; Hirasawa, K.; Obayashi, M. and Kuremoto, T. (2013).** *Enhanced decision making mechanism of rule-based genetic network programming for creating stock trading signals*, Expert Systems with Applications 40 : 6311 - 6320.
- Mortl, A.; Lawitzky, M.; Kucukyilmaz, A.; Sezgin, M.; Basdogan, C. and Hirche, S. (2012).** *The role of roles: Physical cooperation between humans and robots*, The International Journal of Robotics Research 31 : 1656-1674.
- Peshkin, M. and Colgate, J. E. (2001).** *Cobot Architecture*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol 17, No 4 .
- Reed, K. B. and Peshkin, M. A. (2008).** *Physical Collaboration of Human-Human and Human-Robot Teams*, IEEE Transactions on Haptics, Vol 1, No 2 .
- Takagi, A.; Ganesh, G.; Yoshioka, T.; Kawato, M. and Burdet, E. (2017).** *Physically interacting individuals estimate the partner's goal to enhance their movements*, .
- Van der Wel, R. P.; Knoblich, G. and Sebanz, N. (2010).** *Let the Force Be With Us: Dyads Exploit Haptic Coupling for Coordination*, .
- Vitrani, M. A.; Poquet, C. and Morel, G. (2017).** *Applying Virtual Fixtures to the Distal End of a Minimally Invasive Surgery Instrument*, IEEE Transactions on Robotics 33 : 114-123.