

Ecole doctorale SMAER
Sciences Mécaniques, Acoustique, Electronique, Robotique

Sujet de thèse - campagne 2017

Laboratoire : Institut des Systèmes Intelligents et de la Robotique

Etablissement de rattachement : Université Pierre et Marie Curie

Titre de la thèse : Vers une formalisation mathématique d'une théorie sensorimotrice de la perception

Directeur de thèse : Bruno GAS

Mail de contact : bruno.gas@upmc.fr

Codirection éventuelle : Sylvain ARGENTIERI

Collaborations dans le cadre de la thèse :

Rattachement à un programme : non

Cotutelle envisagée : non

Si oui avec quelle université & quel laboratoire : /

Le sujet peut-il être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

Résumé du sujet :

L'objectif de cette thèse est de poursuivre les travaux menés par le groupe « Perception Active Multimodale » de l'équipe Interaction de l'ISIR dans le domaine de la perception sensorimotrice appliquée à la robotique mobile. La perception sensorimotrice doit conduire à la réalisation de plateformes robotiques capables d'acquérir un sens de la perception sans disposer de modèles a priori de l'environnement, et donc capables d'autonomie et d'adaptation en environnement non maîtrisé. Dans la lignée des résultats déjà obtenus par l'équipe, il s'agira de développer une formalisation mathématique de la théorie des « contingences sensorimotrices » en utilisant le formalisme de la théorie topologique de l'information appliquée aux capteurs d'un robot, chacun vu comme des ensembles topologiquement organisés de champs récepteurs élémentaires. Essentiellement théorique, la thèse conduira cependant à proposer des modèles qui feront l'objet d'une validation expérimentale de type « preuve de concept ».

ED SMAER (ED391)

Tour 45-46 Bureau 205- case courrier 270- 4, place Jussieu - 75252 PARIS Cedex 05

☎ : 01 44 27 40 71

ed391@listes.upmc.fr

Ecole doctorale SMAER

Sciences Mécaniques, Acoustique, Electronique, Robotique

Sujet développé

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

Les approches classiques de la perception en robotique mobile nécessitent de modéliser l'environnement, en même temps que l'agent robotique et les différents capteurs qui l'équipent. Ces modèles considèrent l'action comme la conséquence logique de la perception, relativement à une fonction de but posée *a priori*. Ce point de vue, appelé « approche passive de la perception » a été remis en cause dans les années 60-70 par le résultat d'expériences dites de « substitution sensorielle » qui ont montré le rôle central et le caractère indispensable de l'action lors de l'apprentissage ou de l'adaptation des facultés perceptives. Plus récemment, K. O'Regan a proposé une théorie appelée « théorie des contingences sensorimotrices » fondée sur le principe qu'un agent peut apprendre à percevoir le monde dans lequel il évolue sans connaissances *a priori* de l'environnement ni de modèles de l'agent, mais uniquement à partir des signaux sensorimoteurs, c'est à dire des signaux issus des capteurs en même temps que des signaux de commande des actionneurs. On s'intéresse alors aux conséquences sensorielles de l'action, contrairement au point de vue de l'approche « passive » de la perception robotique.

D. Philipona a proposé en 2005 une formalisation mathématique de cette idée, directement inspirée des intuitions de Poincaré publiées au début du 20^{ème} siècle et permettant l'estimation de la dimension de l'espace géométrique –un *a priori* habituel de la perception en robotique mobile– dans lequel navigue un agent simulé.

Un axe scientifique du groupe Perception Active Multimodale (PAM) de l'équipe « Interaction » de l'ISIR consiste à explorer ces théories nouvelles pour les formaliser, puis les valider expérimentalement sur des systèmes robotiques, pour enfin les exploiter dans l'espoir d'obtenir des avancées notoires dans l'autonomie des systèmes, leurs capacités d'interaction avec le monde et leur intelligence.

D'importants résultats ont récemment été obtenus par l'équipe PAM en partenariat avec le laboratoire LPP de Paris 5 (K. O'Regan) autour des travaux portant sur la perception de l'espace géométrique externe à l'aide d'un bras articulé robotique (représentation interne sensorimotrice de l'espace géométrique, thèse d'Alban Laflaquière – ISIR/UPMC, 19/07/2013), puis sur la perception du corps (formalisation mathématique des représentations sensorimotrices, thèse en cours de Valentin Marcel, ISIR/UPMC). Ces résultats sont fondés sur le concept des « transformations compensables » proposé par Poincaré, un concept qui exprime que les variations sensorielles issues de transformations géométriques de l'environnement peuvent être « compensées » (ou plus simple annulées) par des transformations opérées par l'agent lui-même. De l'étude de ces transformations il est possible d'extraire des informations quant à la nature géométrique de l'environnement, conduisant à une perception dite « active » de celui-ci. Ces idées, dont les travaux ci-dessus ont montré qu'elles étaient valides dans des mondes jouets simulés extrêmement simples, seraient en fait contredites dans des mondes réels pour lesquels on montre facilement que les transformations compensables n'existent pas. La difficulté peut être levée à condition toutefois d'introduire la nouvelle notion de « transformation compensable partielle », dont les transformations compensables de Poincaré sont un cas particulier.

ED SMAER (ED391)

Tour 45-46 Bureau 205- case courrier 270- 4, place Jussieu - 75252 PARIS Cedex 05

☎: 01 44 27 40 71

ed391@listes.upmc.fr

Ecole doctorale SMAER

Sciences Mécaniques, Acoustique, Electronique, Robotique

L'objectif de cette thèse est de poursuivre ces travaux en formalisant mathématiquement la notion de « transformation compensable partielle », i.e. les variations sensorielles qui, sur un sous ensemble de capteurs, peuvent être compensées par des actions de l'agent sur l'environnement. Selon cette approche, un capteur sensoriel n'est plus considéré comme une entité insécable (caméra, microphone, etc.), mais comme une entité complexe composée d'unités sensorielles élémentaires (typiquement les pixels d'une caméra), ou « captels », topologiquement organisées. La question posée devient celle de comprendre comment les corrélations entre les activités des récepteurs élémentaires peuvent former une représentation des actions motrices de l'agent. Ces travaux s'appuient sur la notion de prédiction, entendue comme le moyen de prédire l'effet sensoriel d'une action de l'agent connaissant la corrélation des activités entre capteurs élémentaires avant à l'action, puis après à l'action. Dans ce schéma la corrélation est donc spatiale et temporelle, faisant référence à la construction topologique des capteurs. Plus précisément la notion d'information mutuelle entre « captels » permettrait d'utiliser la notion de permutation sur les capteurs ayant éventuellement des champs récepteurs et des fonctions de sensibilité très différentes. Idéalement ces informations mutuelles permettraient de reconstruire la fonction de prédiction mentionnée plus haut.

Le plan de la thèse tiendra en trois temps :

- Un temps de recherche bibliographique sur les théories sous-jacentes et les approches mathématiques pertinentes (théorie des contingences sensorimotrice, théorie de l'information au sens de la théorie topologique de l'information (information topology), etc.) ;
- Le temps du travail théorique de formalisation mathématique de la notion de compensation partielle, de la description d'un agent en terme de fonctions abstraites et de la description mathématique des représentations sensorimotrices ;
- La mise en œuvre de preuves de concept.

Un partenariat devra être envisagé avec un mathématicien spécialiste de la théorie de l'information topologique et avec qui l'équipe PAM a déjà eu l'occasion de proposer des projets de recherche, ce pour assurer un suivi des travaux mathématiques.

ED SMAER (ED391)

Tour 45-46 Bureau 205- case courrier 270- 4, place Jussieu - 75252 PARIS Cedex 05

☎: 01 44 27 40 71

ed391@listes.upmc.fr