

Modélisation de l'action jointe avec apprentissage par renforcement pour la variabilité inter- et intra- personnelle.

Février 2025

Directeur de thèse : Alain Dutech (INRIA/LORIA)

Co-encadrement : Hendry F. Chame (UL/LORIA)

Département : Systèmes complexes, Intelligence artificielle et Robotique.

Mots-clefs : Interaction Humain-Robot, Action Jointe, Attention Jointe, Robotique Neuronale, Modéliation Bio inspirée, Cognition Sociale.



Image : Leibniz University à Hanover

1 Introduction

Lors des collaborations entre humains, l'affirmation de soi¹ et le choix du moment dans l'interaction réciproque font toute la différence pour la réalisation d'objectifs communs. Ainsi, la plupart des tâches de collaboration reposent sur une interaction sociale directe où l'adaptation joue un rôle majeur, non seulement pour gérer les contingences inhérentes à la situation, mais aussi pour prendre en compte les particularités du contexte et de la personnalité, où l'information doit être transmise sous des formes d'expression adéquates, ce qui va souvent au-delà de la dimension fonctionnelle du comportement. En ce sens, la motivation est une dimension très importante de l'interaction humaine qui conditionne la qualité de l'effort commun.

Construire des robots en tenant compte de ces principes de l'interaction humain-robot et d'éthique faciliterait l'adoption de cette technologie dans notre société, tout en permettant d'interagir avec ces agents robotiques d'une manière plus intuitive et compréhensible. La question scientifique de savoir comment doter ces robots de capacités de s'adapter, en modifiant leur comportement de communication au niveau sensori-moteur, pour mieux transmettre leurs intentions et "intuire" les intentions de l'autre, alors qu'ils ne disposent pas du bagage développemental propre aux humains, est encore une question largement ouverte en recherche. Ce problème de recherche est ancré dans les études philosophiques de l'intersubjectivité, études sur lesquelles la psychologie du développement et la psychologie sociale ont développé les points de vue antagonistes du "cognitivism" et de la "perspective cognitive"² (voir, par exemple, NEWEN et al., 2018, GALLAGHER, 2008).

1. *"assertiveness"*

2. *"cognitive perspective"*

2 Pertinence, originalité et objectifs

Bien que des recherches récentes en robotique sociale se soient intéressées au fait de doter un robot de la capacité à trouver un équilibre entre des mouvements expressifs et des mouvements fonctionnels (visant uniquement à résoudre une tâche) dans les tâches d'actions jointes, en utilisant notamment l'apprentissage par renforcement (voir, par exemple, HU et al., 2025), ces travaux ne concernent pas l'adaptabilité du robot à la situation d'interaction.

L'approche adoptée consiste généralement à doter le robot d'un répertoire de comportements prédéfinis, comportements qui ne sont peut-être pas toujours adaptés si l'on tient compte des différences entre les différents sujets humains (inter-variabilité). De plus, les approches ne considèrent pas non plus la variabilité pour un même sujet (intra-variabilité), au sens où les motivations, les envies, l'attention d'un sujet varient au cours du temps. De notre point de vue, ces approches n'abordent pas toute la complexité de la question de l'interaction jointe en robotique sociale.

Ainsi, **l'originalité du travail de thèse** que nous proposons consiste à étudier la co-adaptation humain-robot "*en-ligne*" dans l'interaction expressive. Nous aimerions explorer l'utilisation du cadre général de l'apprentissage par renforcement (SUTTON et BARO, 1998) pour modéliser le problème de l'adaptation comme un processus d'optimisation stochastique, prenant ainsi en compte la variabilité inter- et intra-sujet pour les scénarii d'interaction d'action conjointe.

3 Méthodologie

Scénario d'interaction. En s'appuyant sur la littérature, la première étape de ce travail de thèse consistera à proposer un scénario d'interaction humain-robot qui induit de manière naturelle une action jointe entre les participants. Idéalement, cette activité prendra la forme d'un jeu amusant, capable de susciter l'engagement de l'humain.

Modélisation mathématique. La seconde phase du projet aura pour but de construire un modèle du comportement d'interaction temps-réel à partir des différentes données disponibles. On pourra considérer plusieurs types d'architectures neuronales bio-inspirées pour développer ces comportements interactifs. Inspirés par la recherche sur les champs neuronaux dynamiques (AMARI, 1977), des travaux précédents ont considéré, par exemple, deux aspects du problème directement reliés à notre problématique : modéliser l'attention (à l'échelle de l'individu (CHAME et ALAMI, 2024) et au niveau de l'action jointe (CHAME et al., 2023); s'intéresser à la motivation (CHAME et al., 2019). Des modèles variationnels peuvent aussi être mobilisés, en s'appuyant par exemple sur le concept de l'inférence active développé de la théorie de l'énergie libre (voir, par exemple, CHAME et al., 2020).

Expérimenter. Plusieurs types de données peuvent être utilisés pour alimenter le modèle d'interaction, comme par exemple : des données comportementales (suivi de la position, direction du regard), électrophysiologiques (electromyographie, électroencéphalogramme) ainsi que des données issues des capteurs du robot (proprioception et exteroception). Idéalement, le système d'interaction sera distribuée et intégré au "*Robot Operating System*" (ROS) et programmé en Python ou C++.

Plateforme Robotique. Plusieurs plateformes sont disponibles au laboratoire Loria. Citons en particulier iCub (IIT), G1 (Unitree Robotics), Tiago (Pal Robotics), Panda (Franka), Pepper (Softbank Robotics), Furhat (Furhat Robotics).

4 Supervision et Collaboration

Cette thèse se déroulera au laboratoire LORIA de Nancy, au sein des équipes BISCUIT et NeuroRhythms. Une collaboration scientifique avec les autres membres de ces équipes est non seulement attendue mais bienvenue, ainsi que des discussions scientifiques plus générales avec les autres membres du laboratoire. Les équipes fourniront ordinateurs et environnement de programmation, des plateformes robotiques et tout le soutien humain nécessaire pour mener à bien les aspects plus techniques du travail, permettant ainsi au doctorant ou à la doctorante de se concentrer sur les questions scientifiques.

D'autres collaborations avec des partenaires extérieurs pourront se nouer, en s'appuyant notamment sur les réseaux de la communauté "Drôles d'Objets" et du PEPR "Robotique Organique" auxquels participent les encadrants de thèse.

5 Détails sur la thèse

- **Dates** : from September 2025 to August 2028.
- **Duration** : 36 months.
- **Laboratory** : LORIA (CNRS UMR 7503). Campus Scientifique, 615 Rue du Jardin-Botanique, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy, France.
- **Department** : Complex Systems, Artificial Intelligence and Robotics.
- **Salary** : 2.200 € / month (gross salary)

6 Profile du ou de la candidat·e

- Avoir obtenu un diplôme équivalent à un Master 2 français en robotique ou informatique ou mathématique appliquées ou sciences cognitives.
- Un intérêt marqué pour la recherche en interaction humain-robot, "*embodiment*", sciences cognitives et la modélisation bio-inspirée.
- Savoir programmer en Python, (savoir programmer en C++ est un plus appréciable).
- Des notions de modélisation géométrique et du contrôle de comportements robotique seraient un plus.
- Niveau en français ou anglais requis : un niveau moyen, au minimum. Vous devez pouvoir comprendre, et vous exprimer correctement et de manière cohérente sur les sujets qui vous sont familiers.

7 Comment candidater

Envoyez dès que possible, et **avant le 2 mai 2025**, votre dossier de candidature incluant une lettre de motivation, un CV et des relevés de notes de vos dernières formations académiques à :

- Hendry F. Chame, hendry.ferreira-chame@loria.fr
- Alain Dutech, alain.dutech@loria.fr

Références

- AMARI, S.-i. (1977). Dynamics of pattern formation in lateral-inhibition type neural fields. *Biological cybernetics*, 27(2), 77-87.
- SUTTON, R., & BARTO, A. (1998). *Reinforcement Learning*. Bradford Book, MIT Press, Cambridge, MA.
- GALLAGHER, S. (2008). Understanding others : embodied social cognition. In *Handbook of cognitive science* (p. 437-452). Elsevier.
- NEWEN, A., GALLAGHER, S., & DE BRUIN, L. (2018). 4E cognition : Historical roots, key concepts, and central issues.
- CHAME, H. F., MOTA, F. P., & da COSTA BOTELHO, S. S. (2019). A dynamic computational model of motivation based on self-determination theory and CANN. *Information Sciences*, 476, 319-336.
- CHAME, H. F., AHMADI, A., & TANI, J. (2020). A hybrid human-neurorobotics approach to primary intersubjectivity via active inference. *Frontiers in psychology*, 11, 584869.
- CHAME, H. F., CLODIC, A., & ALAMI, R. (2023). TOP-JAM : A bio-inspired topology-based model of joint attention for human-robot interaction. *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 7621-7627.
- CHAME, H. F., & ALAMI, R. (2024). AEGO : Modeling Attention for HRI in Ego-Sphere Neural Networks. *2024 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2549-2555.
- HU, Y., HUANG, P., SIVAPURAPU, M., & ZHANG, J. (2025). ELEGNT : Expressive and Functional Movement Design for Non-anthropomorphic Robot. *arXiv preprint arXiv :2501.12493*.