

Fiche de stage

Sujet du stage : Modèle computationnel de l'hippocampe par des approches sensorimotrices de la perception

Encadrants : Benoît Girard et Sylvain Argentieri

Date de début du stage : courant printemps 2023

Durée du stage : 3 mois

Niveau d'études souhaité : stage de M1 ou 2ème année d'école d'ingénieur·e

Laboratoire d'accueil : ISIR (*Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique*), Campus Pierre et Marie Curie, 4 place Jussieu, 75005 Paris.

Personne à contacter

Prénom Nom : Benoît Girard et Sylvain Argentieri

Email : benoit.girard(at)sorbonne-universite.fr ; sylvain.argentieri(at)sorbonne-universite.fr

Envoyer votre candidature par mail, avec [sujet du stage] en objet, un CV et une lettre de motivation.

Description du stage (en français)

Résumé :

L'hippocampe des vertébrés est connu pour contenir des neurones dont l'activité est corrélée à la position de l'animal dans l'espace, nommés les cellules de lieu [1], et qui ont été source d'inspiration pour de nombreux travaux de neuro-robotique centrés sur la navigation spatiale. Les modèles computationnels des cellules de lieu des années 2000 utilisaient des techniques d'apprentissage non-supervisé pour projeter les entrées sensorielles multi-dimensionnelles dans des espaces à deux dimensions, mais s'appuyaient sur des spécificités des relations entre les entrées sensorielles exteroceptives (vision, etc.) et interoceptives (déplacements propres) dans le cadre de la navigation, et ne pouvaient donc donner naissance qu'à ce type de représentation (voir par exemple [2]). Depuis, il a été montré que l'hippocampe n'est pas nécessairement dédié qu'à la construction de cartes 2D, puisqu'un neurone codant pour un lieu dans une tâche de navigation spatiale, peut, dans un autre contexte, coder pour une distance, un temps écoulé [3], voire une étape dans le déroulement d'une séquence [4]. Il a donc peut-être un rôle plus général de détection de régularités et d'interdépendances dans le flux des données d'entrée, lui permettant de projeter des données de grandes dimensions dans des espaces de plus petites dimensions pertinents dans un contexte donné.

Quel pourrait être l'algorithme général mis en œuvre par l'hippocampe, en mesure de générer aussi bien des cellules de lieu, de distance, de temps ou de séquence ?

Les approches sensorimotrices de la perception pourraient permettre de répondre à cette question. Elles considèrent en effet l'agent du point de vue intrinsèque, où toute structure est induite des dépendances entre ses entrées (les sensations extéroceptives) et ses sorties (les commandes motrices). Sur cette question des représentations, des travaux récents de l'équipe

Sous la co-tutelle de :

ont consisté à formaliser, mathématiquement et de manière algorithmique, les processus qui permettent à un agent totalement naïf –c’est à dire sans connaissance a priori sur sa structure cinématique ni sur son environnement– d’extraire la structure de l’espace physique dans lequel il est immergé. Ceci est rendu possible par la corrélation entre ses actions motrices et l’information obtenue par ses capteurs. Dans le contexte de la théorie sensorimotrice de la perception telle que décrite par Kevin O’Regan, une telle structure extraite de sensations brutes non interprétées découle naturellement sur la notion de percept spatial et donc de perception de l’espace.

Nous avons déjà obtenu sur ces sujets des résultats théoriques probants, démontrant mathématiquement qu’un robot naïf était capable de construire une image de son corps [5] ou de son espace de travail [6] sans le moindre modèle, ou encore de structurer ou interpréter les conséquences sensorielles de ses propres actions motrices pourtant inconnues [7]. Ces travaux, jusqu’alors appliqués à des agents bien choisis permettent d’envisager aujourd’hui leur utilisation dans d’autres contextes, comme celui. Il s’agit alors d’établir les définitions, les propriétés, mais aussi les limites d’utilisation de ce paradigme au cas d’un agent mobile simple, dans l’objectif de construire une représentation de son environnement établie depuis la génération d’actions au sens des travaux proposés.

Objectifs du stage :

- une prise en main du contexte et du sujet ;
- une prise en main de la formalisation théorique du problème ;
- l’adaptation du formalisme existant à la situation souhaitée ; cela requerra de relaxer un certain nombre d’hypothèses initiales, dont il faudra identifier la portée ;
- générer des données sensorimotrices pour un agent simple simulé ;
- extraire des données obtenues une représentation adaptée à la tâche (elle sera certainement spatiale, mais pourrait aussi prendre la forme d’un graphe d’actions de l’agent) ;
- analyser les résultats obtenus et valider s’ils permettent la modélisation de la fonction générale de l’hippocampe.

Profil recherché : stage de M1 ou 2ème année d’école d’ingénieur-e

Compétences requises :

- un goût prononcé pour les travaux mêlant une approche fondamentale et une démarche expérimentale ;
- programmation Python. Des connaissances de base en ROS sont un plus ;
- idéalement, de bonnes capacités en mathématiques appliquées, et un attrait pour l’apprentissage et la reconnaissance de formes utilisées dans un contexte de robotique développementale ;
- bonne maîtrise de l’anglais.

[1] J. O’Keefe, J. Dostrovsky (1971). The hippocampus as a spatial map : preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. Brain research.

[2] A. Arleo, W. Gerstner (2000). Spatial cognition and neuro-mimetic navigation : a model of hippocampal place cell activity. Biological cybernetics.

[3] B.J. Kraus, R.J. Robinson II, J.A. White, H. Eichenbaum, M.E. Hasselmo (2013). Hippocampal “time cells” : time versus path integration. Neuron.

Sous la co-tutelle de :

- [4] H.O. Cabral, M. Vinck, C. Fouquet, C.M.A. Pennartz, L. Rondi-Reig, F.P. Battaglia. Oscillatory dynamics and place field maps reflect hippocampal ensemble processing of sequence and place memory under NMDA receptor control. *Neuron*.
- [5] V. Marcel, S. Argentieri, B. Gas (2017). Building a Sensorimotor Representation of a Naive Agent's Tactile Space. in *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*.
- [6] V. Marcel, S. Argentieri, B. Gas (2021). Where do I move my sensors? Emergence of a topological representation of sensors poses from the sensorimotor flow. in *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*.
- [7] J.-M. Godon, S. Argentieri, B. Gas (2020). A Formal Account of Structuring Motor Actions With Sensory Prediction for a Naive Agent. in *Frontiers in Robotics and AI*.

Description du stage (en anglais)

Subject: Computational model of the hippocampus using sensorimotor approaches to perception

Abstract:

The vertebrate hippocampus is known to contain neurons whose activity correlates with the animal's position in space, named place cells [1], and which have been the inspiration for much neuro-robotics work focused on spatial navigation. Computational models of place cells in the 2000s used unsupervised learning techniques to project multi-dimensional sensory inputs into two-dimensional spaces, but relied on specificities of the relationships between exteroceptive (vision, etc.) and interoceptive (self-movement) sensory inputs in the context of navigation, and thus could only give rise to this type of representation (see e.g. [2]). Since then, it has been shown that the hippocampus is not necessarily dedicated only to the construction of 2D maps, since a neuron coding for a location in a spatial navigation task can, in another context, code for a distance, an elapsed time [3], or even a step in the unfolding of a sequence [4]. It may thus have a more general role of detecting regularities and interdependencies in the flow of input data, allowing it to project high-dimensional data into lower-dimensional spaces relevant in a given context.

What could be the general algorithm implemented by the hippocampus, able to generate place, distance, time or sequence cells?

Sensorimotor approaches to perception could help answer this question. They consider the agent from an intrinsic point of view, where any structure is induced by the dependencies between its inputs (exteroceptive sensations) and its outputs (motor commands). On this question of representations, recent works of the team have consisted in formalizing, mathematically and algorithmically, the processes that allow a totally naive agent -i.e. without any a priori knowledge on its kinematic structure nor on its environment- to extract the structure of the physical space in which it is immersed. This is made possible by the correlation between its motor actions and the information obtained by its sensors. In the context of the sensorimotor theory of perception as described by Kevin O'Regan, such a structure extracted from raw uninterpreted sensations naturally follows on the notion of spatial percept and thus of perception of space.

We have already obtained convincing theoretical results on these subjects, demonstrating thematically that a naive robot was able to construct an image of its body [5] or of its working space [6] without any model, or to structure or interpret the sensory consequences of its own motor actions, even though they were unknown [7]. This work, which until now has been applied to well-chosen agents, now allows us to consider their use in other contexts, such as that of the human body. It is then a question of establishing the definitions, the properties, but also the limits

Sous la co-tutelle de :

of use of this paradigm in the case of a simple mobile agent, with the objective of building a representation of its environment established from the generation of actions in the sense of the proposed work.

Internship Objectives:

- a grasp of the context and the subject ;
- a grasp of the theoretical formalization of the problem ;
- adapting the existing formalism to the desired situation; this will require relaxing a certain number of initial hypotheses, the scope of which must be identified;
- generate sensorimotor data for a simple simulated agent;
- extract from the obtained data a representation adapted to the task (it will certainly be spatial, but could also take the form of a graph of the agent's actions);
- analyze the results obtained and validate if they allow the modeling of the general function of the hippocampus.

Required Profile: M1 or 2nd year engineering school internship

Required skills :

- a strong taste for work combining a fundamental approach and an experimental approach;
- Python programming. Basic knowledge of ROS is a plus;
- ideally, good skills in applied mathematics, and an interest in learning and pattern recognition used in a developmental robotics context;
- good command of English.

- [1] J. O’Keefe, J. Dostrovsky (1971). The hippocampus as a spatial map : preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. Brain research.
- [2] A. Arleo, W. Gerstner (2000). Spatial cognition and neuro-mimetic navigation : a model of hippocampal place cell activity. Biological cybernetics.
- [3] B.J. Kraus, R.J. Robinson II, J.A. White, H. Eichenbaum, M.E. Hasselmo (2013). Hippocampal “time cells” : time versus path integration. Neuron.
- [4] H.O. Cabral, M. Vinck, C. Fouquet, C.M.A. Pennartz, L. Rondi-Reig, F.P. Battaglia. Oscillatory dynamics and place field maps reflect hippocampal ensemble processing of sequence and place memory under NMDA receptor control. Neuron.
- [5] V. Marcel, S. Argentieri, B. Gas (2017). Building a Sensorimotor Representation of a Naive Agent’s Tactile Space. in IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems.
- [6] V. Marcel, S. Argentieri, B. Gas (2021). Where do I move my sensors? Emergence of a topological representation of sensors poses from the sensorimotor flow. in IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems.
- [7] J.-M. Godon, S. Argentieri, B. Gas (2020). A Formal Account of Structuring Motor Actions With Sensory Prediction for a Naive Agent. in Frontiers in Robotics and AI.

Sous la co-tutelle de :