

Robotique Cognitive en 2009

Contribution du GDR robotique à PIRSTEC

Coordination :

B. Girard (ISIR),

Contributeurs :

A. Arléo (NPA), M. Chetouani (ISIR), P.F. Dominey (SBRI),
D. Filliat (ISIR / ENSTA ParisTech), F. Ruffier (ISM), Ph. Souères (LAAS)

Table des matières

1	Introduction	4
2	Thématiques	5
2.1	Perception	5
2.2	Interaction	6
2.3	Motricité	6
2.3.1	Conception mécaniques bioinspirée des robots et leur actionnement . .	7
2.3.2	Synthèse de la commande	7
2.3.3	Ergonomie du mouvement	7
2.4	Apprentissage	7
2.4.1	Robotique développementale	8
2.4.2	Apprentissage neuromimétique	8
2.4.3	Cognition située et incarnée	8
2.5	Bio-robotique	8
2.5.1	Perception	9
2.5.2	Locomotion	9
2.5.3	Boucle sensori-motrices	10
2.6	Cognition spatiale	10
2.6.1	Vers une cognition spatiale en neuro-robotique	11
3	Force de Travail	13
4	Disciplines	14
5	Enjeux sociétaux et Applications	15
5.1	Des robots au quotidien	15
5.2	Des robots pour comprendre la cognition	15
5.3	Des robots pour suppléer l'humain	15
A	Contacts	16
B	Fiches-réponse	17
B.1	Équipe Biorobotique, Institut des Sciences du Mouvement, UMR CNRS 6233	17
B.2	Cognition et Facteurs Humains, EA487	19
B.3	équipe Cortex, INRIA Nancy	21
B.4	ETIS, UMR8051	22
B.5	Équipe-Projet Emotion, groupe Bayesian-programming du laboratoire LIG CNRS INRIA Université de Grenoble	25
B.6	FLOWERS – Interactions, exploration et apprentissage en robotique développementale et sociale. INRIA Bordeaux sud-Ouest	26

B.7	Équipe Handicap, IBISC	28
B.8	Atelier PIRSTEC “Interactions homme/système-artificiel”	30
B.9	Equipe Information, Multimodalité et Signal (IMS), Supélec	31
B.10	Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR, UMR7222)	33
	B.10.1 Équipe Perception & Mouvement (P&M)	33
	B.10.2 Équipe Systèmes Intelligents Mobiles et Autonomes (SIMA)	35
B.11	Groupe Intelligence Sensori-Motrice, équipe RPDMP, IRIT	38
B.12	LAAS, CNRS	39
	B.12.1 Groupe Gepetto	39
	B.12.2 Groupe Robotique et InteractionS (RIS)	40
B.13	Équipe Lagadic de l’Irisa / Inria Rennes-Bretagne Atlantique	41
B.14	Laboratoire d’Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier, LIRMM, (UMR 5506)	42
B.15	Machine Learning and Evolutionary Computation team, équipe-projet TAO, LRI, CNRS, Univ. Paris-Sud, INRIA	43
B.16	Équipe Mécanismes et Robotique du Laboratoire de Mécanique des Solides (UMR CNRS 6610)	45
B.17	Equipe NCA NeuroComputation Adaptative, UMR 7102 Neurobiologie des Processus Adaptatifs. CNRS - Université Pierre et Marie Curie Paris.	47
B.18	Groupe Perception Située, Laboratoire d’Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l’Ingénieur (UPR 3CNRS 251)	50
B.19	Robot Cognition Laboratory, INSERM U846 Stem Cell and Brain Research Institute	51
B.20	Équipe Robotique, IRCCyN, UMR 6597	52
B.21	Robotique cognitive, ENSTA ParisTech	53
B.22	Equipe ROBOTIS, ONERA	54

1 Introduction

L'atelier de réflexion prospective PIRSTEC (Prospective Interdisciplinaire en Réseau pour les Sciences et TEchnologies Cognitives) a pour objectif de fournir, d'ici fin 2009, un état des lieux des recherches en sciences et technologies cognitives, permettant de guider l'élaboration d'appels à projets dans ces domaines par l'ANR.

Voir <http://pirstec.risc.cnrs.fr/news/afficher/22> pour plus de détails.

Un certain nombre de recherches menées dans le cadre de la robotique font partie intégrante des sciences cognitives. Le GDR Robotique souhaite donc participer à PIRSTEC par une contribution donnant un état de ces recherches en France, désignées sous l'appellation *Robotique Cognitive* dans le reste de ce document.

La communauté de robotique a été consultée afin de participer à l'atelier PIRSTEC via le GDR Robotique. Des fiches de questions sur la robotique cognitive ont été transmises à la communauté, fin 2008 et début 2009, via :

1. deux appels à participation lancés sur la liste de diffusion générale du GDR Robotique,
2. un appel spécifique destiné aux équipes émergeant dans le sous-groupe "Robotique et Apprentissage" du groupe de travail "Méthodes pour la robotique" (GT4) du GDR, cette communauté semblant particulièrement concernée.

Les informations rassemblées ont permis d'identifier (1) les grandes thématiques de recherche abordées en robotique cognitive, (2) la force de travail globale engagée sur ces questions, (3) les disciplines des sciences cognitives avec lesquelles les roboticiens interagissent fortement, (4) les enjeux sociétaux et applications possibles de ces travaux.

Afin de compléter cette synthèse, six spécialistes ont été sollicités pour décrire de manière synthétique les questions et problématiques centrales des six grandes thématiques préalablement identifiées.

La dernière étape de l'élaboration de ce document a été sa diffusion sur la liste des chercheurs impliqués en Robotique Cognitive, pour commentaires et modifications.

2 Thématiques

Les thématiques liées aux sciences cognitives étudiées dans les laboratoires de robotique ayant répondu à l'appel sont très variées. On peut cependant identifier 6 grandes catégories permettant de couvrir l'ensemble des travaux : Perception, Interaction, Motricité, Apprentissage, Robotique bioinspirée, Cognition spatiale. Pour autant, ces catégories indicatives ne sont pas exemptes de recouvrements (par exemple, la cognition spatiale use de divers types d'apprentissage et peut se faire sur la base de modèles neuromimétiques).

Ces 6 grandes catégories pourraient constituer les thèmes que la communauté robotique souhaiterait voir apparaître dans des appels à projets de l'ANR centrés sur les sciences cognitives.

2.1 Perception

Mots-clés : *Vision par ordinateur, Vision robotique, Vision cognitive, Perception active, Perception active multimodale, Perception visuelle bioinspirée.*

Contributeur principal : M. Chetouani, ISIR.

La perception englobe la détection et l'interprétation de l'environnement, de l'utilisateur et du robot et constitue une des étapes préalables aux autres fonctions robotiques (interaction, navigation...). L'interprétation de données issues de capteurs le plus souvent hétérogènes ainsi que la conception de nouveaux capteurs adaptés à la robotique (mobilité, interfaces naturelles...) font partie des défis en perception pour la robotique. L'exploitation de la multimodalité (audio, vidéo) est un principe maintenant acquis en interaction homme-robot et s'étendant à d'autres applications comme la navigation par exemple. La perception de l'utilisateur, de l'environnement est enrichie par l'ajout de capteurs permettant d'intégrer d'autres informations sensorielles (capteurs physiologiques, haptiques, centrales inertielles...). Au-delà des problématiques technologiques, les verrous scientifiques liés à la mise en œuvre de capteurs hétérogènes résident dans la caractérisation, l'interprétation et la fusion d'informations. Les modèles sont le plus souvent issus du traitement du signal et de la reconnaissance des formes avec plus ou moins d'intégrations de connaissances sur les phénomènes (physique, intégration cognitive, physiologie...). La perception en robotique, du fait de sa présence dans le même monde physique que l'humain, requiert le développement de capteurs spécifiques. On peut citer par exemple la vision omnidirectionnelle pour la navigation mais également la coopération entre le robot et des capteurs externes (wearable sensors, domotique...).

L'évaluation des systèmes de perception dépend évidemment de l'application. Les mesures de détection et de reconnaissance d'objets, de signaux sont largement utilisées dans les systèmes dits de perception passive. Cependant, ces mesures ne permettent pas de juger de la pertinence dans un système robotique.

La perception active est largement étudiée et permet le plus souvent de compléter la multimodalité. Par exemple, la réduction de l'ambiguïté d'un système de perception peut être réalisée par l'exploitation de la mobilité des capteurs. La perception active nécessite également

la définition de critères d'évaluation adaptée (quantité de mouvement des capteurs, temps de recherche...).

Les défis majeurs en perception pour la robotique font appel à des formalismes avancés en traitement du signal, des images, de la reconnaissance des formes mais également la physiologie, de la psychologie ainsi que de la physique.

2.2 Interaction

Mots-clefs : *Interactions homme-robot, Coopération homme-robot, Démarche de conception "ergonomique", Perception et Interprétation de signaux d'interaction, Assistance à la personne en perte d'autonomie, Modèles du contrôle et de l'apprentissage moteur pour la robotique d'assistance et de rééducation, supervision de l'interaction, détection de conflits, BCI (brain-computer interfaces)*

Contributeur principal : P. F. Dominey, SBRI.

Une question, qui suscite un intérêt croissant, est la planification et le contrôle de mouvements du robot dans un environnement humain et en interaction avec l'homme. Cette question est étroitement liée à celle de la communication (langage oral ou gestuel) avec l'homme.

Dans « la programmation par démonstration » les utilisateurs démontrent physiquement des actions, et par l'intermédiaire d'une capture et d'une segmentation de mouvement, le robot doit reproduire ces actions. Les défis ici sont de déterminer si c'est le mouvement lui-même qui doit être imitée, les résultats du mouvement ou encore une certaine combinaison des deux.

La parole est également un outil puissant dans l'interaction humain-robot. L'utilisateur a à sa disposition un ensemble de procédures comportementales qui peuvent être déclenchées par l'intermédiaire de la parole, et d'une grammaire simple qui permet la composition de ces primitives dans de nouveaux comportements.

Les systèmes hybrides permettent un mélange de démonstration et de parole. Une avancée récente dans ce domaine est le traitement explicite de la coopération. Dans l'interaction coopérative, le robot est censé représenter un plan partagé, qui code les actions appareillées que l'utilisateur et le robot exécuteront de manière coordonnée afin d'atteindre le but commun. Cette approche se fonde sur des données des études du développement cognitif chez l'homme, et le développement de ces capacités coopératives. Le but est d'atteindre les systèmes robotiques qui soient capables de déterminer des buts et des intentions par l'observation physique et la parole. Ceci leur permettra de participer activement à la réalisation coopérative de ces buts.

2.3 Motricité

Mots-clefs : *Préhension et manipulation dextre, Modèles du contrôle et de l'apprentissage moteur pour la robotique humanoïde, Action motrice et boucles sensorimotrices, Modélisation de l'écriture.*

Contributeur principal : Ph. Souères, LAAS.

2.3.1 Conception mécaniques bioinspirée des robots et leur actionnement

Les modèles issus de l'anatomie et de la biomécanique sont d'un intérêt fondamental pour guider la conception de la structure mécanique (type d'articulations, nombre de degrés de liberté, géométrie des segments, compliance,...) du robot et son mode d'actionnement (moteurs, systèmes de transmission, énergie,...).

Actuellement, un sujet d'intérêt est la conception de robots pouvant être commandés en couple (contrairement à la plupart des robots humanoïdes actuels qui sont commandés en position), ou plus idéalement encore, sur la base d'un mode d'actionnement antagoniste de chaque liaison, permettant la prise en compte la gravité et son utilisation.

2.3.2 Synthèse de la commande

Comment élaborer une architecture de commande permettant d'intégrer des boucles rapides d'asservissement bas-niveau, allant de l'arc réflexe à la notion de générateur central de rythme, des mécanismes proactifs et en feedback pour l'ajustement et le maintien de la posture, et différents niveaux hiérarchisés et distribués qui permettent d'aboutir à la commande du mouvement volontaire ? Cette question est centrale en robotique. L'étude des modèles neurobiologiques du système nerveux central peut suggérer des approches nouvelles pour relier les méthodes de régulation locales, comme la commande référencée capteur, et les approches plus globales qui reposent sur la planification de trajectoire et la commande par retour d'état et nécessitent la localisation du robot. Cette question est en lien direct avec celle de l'intégration multi-sensorielle pour la représentation de l'espace et la construction d'une métrique appropriée pour le codage du mouvement.

2.3.3 Ergonomie du mouvement

Un autre aspect concerne le lien entre robotique et ergonomie. Les modèles de plus en plus élaborés développés par les roboticiens pour simuler le comportement dynamique de mannequins numériques ou de robots humanoïdes sont d'un intérêt évident pour les ergonomes. La possibilité de simuler le comportement d'un opérateur en prenant en compte différents critères, allant de la cinématique des articulations à des modèles musculaires plus complets, ouvre une voie prometteuse pour la détection des troubles musculo-squelettiques.

En sens inverse, les techniques issues de la robotique peuvent aider les biologistes à interpréter des résultats expérimentaux pour élaborer des modèles. En étant directement confronté à des problèmes techniques liés à la perception, la commande et la prise de décision, l'ingénieur est amené à définir différents concepts et formalismes mathématiques qui lui permettent de développer des méthodes. Ces méthodes sont souvent reprises par les neuroscientifiques pour tenter d'expliquer leurs résultats. Les exemples sont très nombreux : réseaux de neurones artificiels, filtrage et de fusion de données, traitement du signal, approches probabilistes,...

2.4 Apprentissage

Mots-clefs : *Robotique développementale et sociale, Cognition située et incarnée, Exploration, Apprentissage par renforcement neuromimétique, Motivations intrinsèques, Modélisation de l'apprentissage moteur humain*

Contributeur principal : D. Filliat, ISIR / ENSTA ParisTech.

L'apprentissage est une fonction transverse par essence, que ce soit du point de vue des sciences cognitives ou de la robotique. Il existe ainsi des applications de l'apprentissage dans tous les domaines mentionnés par ce document (perception, interaction, motricité, contrôle moteur, cognition spatiale). Les techniques utilisées peuvent être d'inspiration purement statistique et mathématique, mais peuvent aussi avoir des liens forts avec les sciences cognitives, en s'inspirant selon le cas de modèles psychologiques ou neurobiologiques.

Les techniques d'apprentissage utilisées ou développées en robotique sont très variées. Parmi les méthodes mises en oeuvre dans la communauté robotique française, il est par exemple possible de citer l'apprentissage par renforcement, l'apprentissage par imitation, l'apprentissage par démonstration, l'apprentissage non supervisé, l'apprentissage social, ... Dans un grand nombre de cas, l'application robotique de ces modèles poursuit le double but de valider ces modèles et de produire des systèmes robotiques intéressants.

2.4.1 Robotique développementale

Au delà des applications, l'apprentissage en robotique peut s'envisager selon différentes approches. Une première approche est celle de la robotique développementale, qui a pour objectif de reproduire certaines capacités de l'apprentissage et du développement humain afin de doter les robots de nouvelles capacités cognitives, sociales ou d'adaptation à des environnements complexes. Ce courant s'inspire essentiellement de la psychologie développementale (Piaget, Vygotski, Berlyne, Gibson...). Parmi les thèmes traités dans cette approche, figurent l'exploration et les motivations intrinsèques, l'apprentissage dans un cadre social, et la création de représentations sensori-motrices hiérarchiques et de complexité croissante.

2.4.2 Apprentissage neuromimétique

L'apprentissage neuromimétique en robotique tire ses modèles et ses inspirations des neurosciences computationnelles, pour lesquelles il constitue un champ d'application et un instrument de validation. La communauté des neurosciences computationnelles est par ailleurs animée par la structure NeuroComp. Les travaux en robotique portent notamment sur le développement et la validation de modèles d'apprentissage par renforcement neuromimétiques ou de modèles de conditionnement.

2.4.3 Cognition située et incarnée

Enfin, les applications de l'apprentissage en robotique fournissent un cadre idéal pour mettre en évidence l'apport de l'incarnation dans les sciences cognitives. L'utilisation de robots permet de mettre en évidence les interactions essentielles entre perception et action et le besoin de capacités d'apprentissage et d'adaptation pour le fonctionnement des systèmes naturels et artificiels dans des environnements complexes et évolutifs. Ainsi la robotique fournit une application permettant de tester de manière cohérente des modèles d'apprentissage du contrôle moteur et de représentation internes du corps, de l'environnement et de l'espace.

2.5 Bio-robotique

Mots-clefs : *Modélisation du comportement animal, Modélisation du conditionnement animal, Modélisation neuromimétique, Sélection de l'action, Décision, Motivation, Modélisation*

du contrôle moteur humain, Emergence de fonctions cognitives à partir d'un calcul distribué, Emergence de représentations suffisantes à partir de boucles sensorimotrices et d'interactions avec l'environnement, Emergence de la cognition à partir d'émotions et à partir de stades de développement

Contributeur Principal : F. Ruffier, ISM.

S'inspirer des animaux pour faire des robots, c'est s'inspirer de systèmes qui fonctionnent parfois depuis plusieurs centaines de millions d'années. Ces animaux ont résolu les mêmes problèmes qui se posent aujourd'hui aux robots pour percevoir, pour se mouvoir, pour éviter les obstacles ou pour retrouver leur gîte...

On peut dégager trois axes principaux de recherches en robotique bio-inspirée¹ :

2.5.1 Perception

Dans le règne animal, les perceptions sont multiples : vision du mouvement, olfaction, sens haptique, lumière polarisée, écholocation, électrolocation... La robotique bio-inspirée cherche à mieux comprendre ces systèmes perceptifs pour conférer aux robots une perception plus naturelle, plus économe en énergie, plus sobre également en termes de ressources de calcul. Les animaux utilisent leur perception pour réaliser de nombreuses tâches intéressantes pour un roboticien : se guider, se nourrir, reconnaître un congénère, un intrus ou un danger, retourner au gîte... Il s'agit ensuite de reconstruire ces différents traitements (visuels, tactiles, olfactifs, sonores...) de manière précise ou bien de manière plus fonctionnelle. Souvent, ces traitements sensoriels bio-inspirés n'utilisent pas la même technologie que leur contrepartie dans le monde animal : ils peuvent être ainsi mis en œuvre de façon électronique, microélectronique, informatique, optique, mécanique, pneumatique, chimique, ... Ces perceptions naturelles sont de plus en plus étudiées :

- pour trouver des alternatives aux capteurs traditionnels couplés à d'importantes unités de calcul souvent onéreuses,
- pour répondre aux besoins de miniaturisation des robots, en particulier les mini et microrobots.

2.5.2 Locomotion

Dans le règne animal, les locomotions sont également multiples : marche bipède, quadrupède, hexapode, octopode, décapode, nage anguilliforme, nage à réaction, vol plané, vol à ailes battantes ou vibrantes... La robotique bio-inspirée cherche à mieux comprendre ces systèmes de locomotion pour donner aux robots une locomotion plus efficace énergétiquement, plus compacte et surtout capable de venir à bout des milieux les plus difficiles. Ces milieux sont soit inaccessibles à l'homme, soit inaccessibles aux robots dotés d'organes locomoteurs classiques à base de roues ou d'hélices. Puis, il s'agit de re-construire ces locomotions terrestres, maritimes ou aériennes en utilisant des matériaux et des actionneurs disponibles, souvent très différents des matériaux et actionneurs utilisés par les animaux. Enfin, la robotique bio-inspirée s'efforce de proposer des solutions innovantes pour coordonner et pour automatiser ces actionneurs afin de générer la locomotion du robot.

¹De nombreuses interactions existent entre ce thème et les activités de la communauté de neurosciences computationnelles en France, structurée autour de NeuroComp.

2.5.3 Boucle sensori-motrices

À partir des études comportementales ou bien neurophysiologiques, on peut émettre des hypothèses sur les boucles sensorimotrices naturelles utilisées par les animaux. Ces hypothèses peuvent ensuite être testées sur des robots et conduire à des comportements innovants. Il s'agit souvent de bouclages et de réflexes intelligents dépassant la traditionnelle boucle « perception, modélisation, décision, action » qui demande souvent de trop grandes capacités calculatoires. Ces boucles sensori-motrices biomimétiques relient des capteurs et des actionneurs dont les fonctions sont biologiquement plausibles pour doter le robot d'un comportement à la fois connu chez l'animal et recherché par le roboticien.

2.6 Cognition spatiale

Mots-clefs : *Navigation, Navigation visuelle par le flux optique, Localisation, Planification coopérative dans l'incertain, Coordination de stratégies de navigation multiples*

Contributeur principal : A. Arleo, NPA.

La cognition spatiale offre un cas d'étude remarquable d'une fonction complexe de traitement d'informations polymodales issues de l'interaction entre un agent (animal ou robot autonome) et son environnement. En effet, afin d'obtenir un comportement spatial efficace, les animaux et les robots mobiles autonomes doivent interagir en permanence avec leur environnement, être en mesure de se repérer dans l'espace et de sélectionner, à tout instant, la stratégie de navigation la plus appropriée à la complexité de la tâche à résoudre. Par exemple, naviguer vers une cible visible n'exige aucune représentation mentale de l'environnement, une simple « stratégie de guidage visuel » étant suffisante. Ce comportement est basé sur des associations de type stimulus-réponse et il en résulte une stratégie purement réactive : l'agent s'oriente et se déplace vers le stimulus (e.g. une source lumineuse). Par ailleurs, des tâches de navigation plus complexes font appel à des stratégies plus flexibles et puissantes, relevant de la capacité à « planifier mentalement » des multiples trajectoires et / ou des raccourcis vers plusieurs positions cibles non visibles. Cette fonction nécessite une « carte cognitive » permettant à l'agent d'inférer sa position et son orientation absolues dans l'environnement. Une représentation contextuelle est donc établie afin de permettre un encodage des propriétés spatio-temporelles de l'environnement et d'utiliser cette connaissance pour accomplir une navigation optimale (e.g. trouver des raccourcis).

Les animaux élaborent-ils des représentations internes de l'environnement ? Les expériences neurobiologiques soutiennent cette hypothèse. Quand la complexité et les capacités sensorielles des organismes biologiques augmentent, une représentation spatiale explicite semble sous-tendre la capacité à naviguer dans des tâches complexes. Les propriétés des cellules nerveuses enregistrées dans la formation hippocampique (principalement chez les rongeurs) font de cette structure du cerveau un substrat neuronal approprié pour cette représentation. En effet, il existe des neurones hippocampiques qui déchargent sélectivement selon la position de l'animal (i.e. cellules « de lieu » et cellules « de grille »), et selon l'orientation de la tête dans le plan horizontal (i.e. cellules « de direction de la tête »). Ces populations neuronales dotent les animaux d'un système de localisation spatiale de type allocentrique et d'un système d'orientation semblable à une boussole.

Il existe un grand intérêt scientifique centré autour des processus d'apprentissage sous-tendant la capacité des animaux à maintenir les activités des cellules hippocampiques cohérentes (par rapport à leurs corrélats spatiaux) dans multiples situations environnementales.

Il s'agit, par exemple, de comprendre les principes réglant l'intégration de perceptions multimodales dans des représentations contextuelles cohérentes même en présence de conflits inter-sensoriels. Par conséquent, les questions suivantes demeurent centrales pour l'étude de la cognition spatiale : Quels sont les mécanismes sous-tendant l'intégration multisensorielle pour l'élaboration de mémoires spatiales ? Comment l'apprentissage spatial permet-il de pondérer dynamiquement l'importance des informations extéroceptives (e.g. vision, toucher) et proprioceptives (e.g. signaux inertiels et kinesthésiques) ? Quel est le rôle des mécanismes de plasticité synaptique dans ce processus de coopération et / ou compétition des différentes sources d'informations spatiales ? De plus, la problématique de l'intégration multisensorielle est aussi fondamentale pour comprendre la consolidation et la réutilisation de mémoires spatiales à long terme.

L'encodage neuronal de variables telles que la position et la direction absolues de l'agent constitue une fonction déterminante dans la cognition spatiale. Toutefois, la planification mentale de trajectoires de navigation et, de manière plus générale, la prise de décision adaptée au contexte nécessitent également l'intégration d'autres éléments importants. Par exemples, les relations topologiques entre les différentes zones de l'environnement et leurs corrélats motivationnels – aussi bien appétitifs (récompense) que aversifs (coût, danger) – doivent être intégrés dans une description, abstraite et compacte, de l'interaction entre le sujet et l'environnement. Les observations neurobiologiques suggèrent qu'une telle représentation multidimensionnelle pourrait être élaborée grâce aux interactions anatomo-fonctionnelles au sein d'un réseau de structures neuronales incluant la formation hippocampique, les aires neocorticales comme le cortex préfrontal et pariétal, et les ganglions de la base.

2.6.1 Vers une cognition spatiale en neuro-robotique

En parallèle avec les études de neurosciences expérimentales, des nombreux modèles théoriques ont été réalisés pour élucider les propriétés et le fonctionnement de la cognition spatiale des animaux. D'une part, cette approche, qui relève des neurosciences computationnelles, a comme objectif l'établissement d'une théorie cohérente avec les données expérimentales et la production de nouvelles hypothèses concernant les aspects neurophysiologiques, anatomiques, et comportementales de la cognition spatiale. D'autre part, le but de cet effort de modélisation neuro-mimétique est la réalisation de robots autonomes capables de résoudre des tâches de navigation complexes.

En effet, dans le domaine de l'automatique, la synthèse de systèmes de navigation autonomes demeure un problème ouvert, l'Intelligence Artificielle (IA) « traditionnelle » n'ayant pas rempli toutes ses promesses. Les méthodes d'IA – basées sur la définition à priori de modèles internes dotant un robot de capacités d'inférence symbolique inspirée par la logique mathématique – ont produit des solutions très performantes dans des environnements parfaitement contrôlés mais souvent inadaptées aux applications réelles. Plus récemment, la recherche en robotique autonome a été inspirée par une approche non-symbolique où l'ensemble des règles définissant le système de contrôle du robot doit « émerger » grâce à l'interaction continue entre le robot et son environnement. Les principes de cette approche s'inspirent souvent de la biologie et ils ont favorisé le développement de systèmes adaptatifs capables de résoudre des tâches de navigation dans des environnements réels. Par ailleurs, la plupart des solutions de navigation autonome proposées par cette approche engendrent un comportement purement réactif – c'est-à-dire basé sur des simples associations stimulus-réponse – sans créer aucun modèle spatial de l'environnement. C'est pourquoi ces paradigmes d'appren-

tissage ne peuvent qu'émuler des stratégies de navigation relativement simples comme, par exemple, la stratégie de « guidage » vers une cible visible. Par conséquent, la modélisation des processus neurobiologiques sous-tendant la mémoire spatiale – c'est-à-dire la mise en oeuvre d'une représentation des relations spatio-temporelles caractérisant les interactions entre un sujet et son environnement – offre la perspective de développer des systèmes de contrôle plus cognitifs aussi robustes et flexibles que ceux des animaux plus évolués.

3 Force de Travail

Une vingtaine d'équipes s'est manifestée, elles représentent une force de travail de plus de 100 permanents au moins autant de non-permanents (doctorants, post-doc, etc.). Le tableau ci-dessous recense ces équipes et leur effectif chaque fois qu'il a été communiqué.

Équipe - Labo	Tutelles	Localisation	Perm.	Temp.
Biorobotique - ISM	Univ. Méditerranée - CNRS	Marseille	5	2
Cognition et Facteurs Humains	Univ. Bordeaux 2	Bordeaux	2	2
Cortex	INRIA	Nancy	9	13
Bayesian Programming - Emotion	CNRS - INRIA - Univ. Grenoble	Grenoble	6	20
ETIS	Univ. Cergy-Pontoise - ENSEA - CNRS	Cergy-Pontoise	9	6
FLOWERS	INRIA	Bordeaux	2	2
Handicap et Santé - IBISC	Univ. Evry Val d'Essonne - CNRS - Genopole	Evry	4	5
Information, Multimodalité et Signal	Supélec	Metz	3	10
Perception et Mouvement - ISIR	UPMC - CNRS	Paris	10	12
Systèmes Intelligents Mobiles et Autonomes - ISIR	UPMC - CNRS	Paris	8	8
Intelligence Sensori-Motrice - IRIT	INPT - UPS - UT1 - UTM - CNRS	Toulouse	2	2
Gepetto - LAAS	CNRS	Toulouse	7	13
Robotique et InteractionS - LAAS	CNRS	Toulouse	?	?
Lagadic - IRISA	INRIA	Rennes	4	9
LIRMM	UM2 - CNRS	Montpellier	?	?
Machine Learning and Evolutionary Computation - TAO - LRI	Univ. Paris Sud - CNRS - INRIA	Orsay	3	3
Mecanismes et Robotique - LMS	Univ. Poitiers - CNRS	Poitiers	4	3
NeuroComputation Adaptative - NPA	UPMC - CNRS	Paris	1	5
Perception Située - LIMSI	UPMC - Univ. Paris Sud - CNRS	Orsay	7	5
Robot Cognition Laboratory - U846	INSERM	Lyon	3	7
Équipe Robotique - IRCCyN	CNRS - ECN - Univ. Nantes - EMN	Nantes	3	2
Robotique Cognitive - LEI	ENSTA ParisTech	Paris	2	4
ROBOTIS	ONERA	Toulouse	16	8
		Total	110	141

4 Disciplines

Les sciences cognitives sont par essence multidisciplinaires, la Robotique Cognitive ne déroge pas à cette règle. Les équipes recensées travaillent en interaction avec diverses disciplines des Sciences Cognitives. Au vu des interactions déclarées par les laboratoires, il apparaît qu'elles concernent en particulier les sciences de la vie (neurosciences en tête) et la psychologie.

Occurrences des différentes disciplines dans les fiches-réponses :

- Sciences de la Vie (16)
 - Neurosciences (12)
 - Bio-mécanique (2)
 - Biologie du comportement (2)
- Psychologie (9)
 - Psychologie expérimentale (2)
 - Psychologie développementale (3)
 - Psychologie cognitive (2)
- Intelligence artificielle (3)
- Traitement du Signal (2)
- Philosophie (2)
- Linguistique computationnelle (1)
- Mathématiques (1)

5 Enjeux sociétaux et Applications

Plusieurs grands objectifs se dégagent des réponses obtenues. La robotique cognitive s'intéresse à l'insertion des robots dans le monde humain, à une meilleure compréhension de la cognition dans le vivant (par une approche synthétique qui se positionne en complément des approches expérimentales) et enfin à l'utilisation de ces capacités cognitives synthétisées pour des robots opérant dans des environnements inaccessibles ou dangereux pour l'humain.

5.1 Des robots au quotidien

Dans le cadre de l'entrée des robots dans le monde humain, de nombreuses applications relèvent de la santé. Il peut s'agir d'une part de participer à la réhabilitation de patients pour lesquels une amélioration de l'état de santé est possible, par exemple après une attaque cérébrale. Il peut s'agir également d'un robot coopératif qui n'a pas pour but d'aider à restaurer une fonction, mais fournir une assistance, par exemple au geste pour augmenter la force ou la précision. Enfin, il peut s'agir d'un robot exécutant des tâches que le patient n'est plus en mesure de réaliser, par exemple pour faciliter le maintien à domicile d'un patient en perte d'autonomie. Ceci peut passer par l'usage de technologies de type BCI/BMI (Brain Computer/Machine Interface)

L'interaction quotidienne avec un robot est aussi envisagée dans le cadre de la robotique de compagnie, domestique ou encore ludique.

Naturellement, un préalable à l'arrivée massive de robots dans un environnement humain est la protection des humains par une maîtrise de la sûreté du comportement du robot.

5.2 Des robots pour comprendre la cognition

La robotique cognitive est également un outil de compréhension du vivant : la mise en œuvre sur des plateformes intégrées de modèles théoriques de la cognition, dans des boucles sensori-motrices fermées, permet d'évaluer leur efficacité et leurs limites à l'épreuve de la réalité, et, partant, de les rejeter ou de les améliorer. Ces expérimentations synthétiques sont aussi sources de prédictions, par exemple comportementales, susceptibles en retour d'être testées *in vivo* par les expérimentateurs.

5.3 Des robots pour suppléer l'humain

La robotique cognitive ouvre la voie à la conception de robots pleinement autonomes, utilisant leurs capacités cognitives pour s'adapter à des environnements complexes et dynamiques. Cette autonomie peut connaître en particulier des applications pour l'opération de robots terrestres, drones, sous-marins ou spatiaux, dans des milieux dangereux ou difficilement accessibles à l'humain tout en exhibant une souplesse de comportement similaires à celle que pourrait y déployer un humain.

A Contacts

Liste de contacts pour l'ensemble des équipes recensées :

- Rachid Alami (RIS-LAAS) : rachid.alami@laas.fr
- Frédéric Alexandre (Cortex-INRIA) : frederic.alexandre@loria.fr
- Pierre Andry (ETIS) : andry@ensea.fr
- Angelo Arleo (NCA-NPA) : angelo.arleo@upmc.fr
- Marc Arsicault (Mécanismes & Robotique-LMS) : marc.arsicault@lms.univ-poitiers.fr
- Ryad Benosman (SIMA-ISIR) : ryad.benosman@upmc.fr
- Pierre Bessière (E-Motion-LIG) : pierre.bessiere@imag.fr
- Frédéric Boyer (Robotique-IRCCyN) : frederic.boyer@emn.fr
- Nicolas Bredèche (TAO-LRI) : nicolas.bredeche@gmail.com
- Jean-Christophe Buisson (RPDMP-IRIT) : Jean-Christophe.Buisson@enseiht.fr
- Raja Chatila (LAAS) : raja.chatila@laas.fr
- Mohamed Chetouani (P&M-ISIR) : mohamed.chetouani@upmc.fr
- Etienne Colle (Handicap-IBISC) : Etienne.Colle@iup.univ-evry.fr
- François Chaumette (Lagadic-IRISA) : Francois.Chaumette@irisa.fr
- Etienne Dombre (GDR Robotique, LIRMM) : etienne.dombre@lirmm.fr
- Patrick Fabiani (ROBOTIS-ONERA) : Patrick.Fabiani@onera.fr
- Peter Ford Dominey (Robot Cognition Laboratory) : peter.dominey@inserm.fr
- David Filliat (Robotique Cognitive-ENSTA ParisTech) : david.filliat@ensta.fr
- Nicolas Franceschini (Biorobotique-ISM) : nicolas.franceschini@univmed.fr
- Hervé Frezza-Buet (IMS) : Herve.Frezza-Buet@supelec.fr
- Bruno Gas (SIMA-ISIR) : bruno.gas@upmc.fr
- Philippe Gaussier (ETIS) : gaussier@ensea.fr
- Jean-Pierre Gazeau (Mécanismes & Robotique-LMS) : Jean-Pierre.Gazeau@lms.univ-poitiers.fr
- Georges Giralt (LAAS) : giralt@laas.fr
- Benoît Girard (SIMA-ISIR) : benoit.girard@isir.fr
- Agnès Guillot (SIMA-ISIR) : agnes.guillot@upmc.fr
- Jean-Paul Laumond (Gepetto-LAAS) : jpl@laas.fr
- Pierre-Yves Oudeyer (FLOWERS) : pierre-yves.oudeyer@inria.fr
- Olivier Pietquin (IMS) : olivier.pietquin@supelec.fr
- Franck Ruffier (Biorobotique-ISM) : franck.ruffier@univmed.fr
- Jean Sallantin (LIRMM) : jean.sallantin@gmail.com
- Jean-Marc Salotti (Cognition & Facteurs Humains) : jean-marc.salotti@idc-bordeaux.fr
- Olivier Sigaud (P&M-ISIR) : olivier.sigaud@upmc.fr
- Philippe Souères (Gepetto-LAAS) : soueres@laas.fr
- Philippe Tarroux (Perception Située-LIMSI) : philippe.tarroux@limsi.fr
- Stéphane Viollet (Biorobotique-ISM) : stephane.viollet@univmed.fr
- Saïd Zeghloul (Mécanismes & Robotique-LMS) : Saïd.Zeghloul@lms.univ-poitiers.fr

B Fiches-réponse

Liste exhaustive des fiches-réponses fournies par les laboratoires durant l'enquête.

B.1 Équipe Biorobotique, Institut des Sciences du Mouvement, UMR CNRS 6233

Contact : Stéphane Viollet

<http://www.laps.univ-mrs.fr:16080/spip.php?rubrique34>

Thématiques

- Modélisation du comportement animal
- Modélisation de mécanismes neuronaux et sensorimoteurs chez les invertébrés
- Navigation visuelle par le flux optique
- Perception visuelle active : micro-mouvements rétiniens
- Etude des réflexes oculomoteurs en charge de la stabilisation du système visuel
- Micro-robotique aérienne autonome

Quels sont les thèmes, projets, questions, problèmes, etc. que vous penseriez importants de voir figurer dans 'appel à projet de l'ANR ?

- Thèmes : Bio-inspiration, biomimétique, modélisation neurocybernétique, biorobotique, micro-robotique, sensori-motricité, processus visuo-moteurs.

Problèmes :

Nous savons désormais que les insectes ailés utilisent le flux optique comme modalité sensorielle principale pour naviguer de manière sûre dans un environnement incertain. Le flux optique représente le défilement des objets contrastés sur la rétine. Il s'avère que l'oeil composé, de part sa structure et ses traitements neuronaux associés, est un parfait exemple de capteur de flux optique dédié extrêmement efficace. Cependant, les questions sont encore nombreuses, par exemple : comment fusionner de nombreuses informations visuelles pour produire seulement quelques commandes motrices adéquates ? Comment utiliser le flux optique pour l'odométrie visuelle ? Ou encore, comment utiliser le flux optique pour localiser une cible connue dans un environnement non-stationnaire ? Autant de questions qui sont autant de points de rencontre interdisciplinaires au sein de notre équipe qui mélange à la fois le traitement du signal, l'optronique, l'électrophysiologie, l'éthologie, l'automatique et la robotique. En effet, la réalisation ou démonstration robotique est incontournable lorsqu'il s'agit de montrer la robustesse d'un modèle. De plus, la robotique nous permet de faire apparaître de nouvelles limites et donc de suggérer de nouvelles hypothèses en direction du vivant.

Force de travail

- 5 (dont un AI)
- 2 doctorants

B.2 Cognition et Facteurs Humains, EA487

Contact : Jean-Marc Salotti

Thématiques

Nous travaillons actuellement sur la modélisation du conditionnement animal afin d'implanter ces mécanismes dans des robots, pour qu'ils soient capables d'apprendre en continu dans un environnement changeant.

Percées intéressantes : pouvoir appliquer des techniques de dressage aux robots

Argumentaire

Potentiellement, on peut envisager une généralisation du principe de conditionnement de degré supérieur à l'apprentissage séquentiel d'actions, puis à l'apprentissage séquentiel de traitements de l'information (apprentissage de procédures, apprentissage de la parole, de l'énumération, de l'adition, de la résolution de problèmes). Fondamentalement, dans tous les cas, il s'agit d'un processus qui vise à établir une prédiction de ce qui va se passer. Pour le conditionnement, c'est évident, mais c'est aussi assez logique pour l'apprentissage d'une séquence d'actions ou d'une séquence de traitements, les prédictions pouvant se faire en cascade.

Verrous

Le problème est complexe. Nous utilisons des réseaux bayésiens simplifiés, mais il subsiste de nombreuses difficultés : discrétisation des stimuli, processus de mise à jour du réseau, traitement à part des informations spatiales, liens entre les modules perception et action ...

Applications

Robotique de compagnie, pouvoir dresser un robot comme on dresse un animal. Robotique ludique mais aussi peut-être pour l'aide aux handicapés.

Enjeux sociétaux

Sur le long terme, potentiellement et en cas d'avancées significatives, sans doute une insertion importante des robots dans le monde humain à travers la robotique de compagnie.

Disciplines

Pour ce qui concerne nos travaux, sans doute les 3 (Robotique, Psychologie Expérimentale, Neurosciences). Grâce à la robotique, on peut tester des modèles de conditionnement, donc apport réciproque. Et on peut aussi forcer l'utilisation de réseaux de neurones biologiquement inspirés pour effectuer un rapprochement avec les neurosciences.

Force de travail

- 2 EC permanent
- 2 stagiaires (1 doctorant espéré à partir de septembre)

B.3 équipe Cortex, INRIA Nancy

Contact : Frédéric Alexandre

Thématiques

- Emergence :
 - Emergence de fonctions cognitives à partir d'un calcul distribué,
 - Emergence de représentation suffisantes à partir de boucles sensorimotrices et d'interactions avec l'environnement,
 - Emergence de la cognition à partir d'émotions et à partir de stades de développements.

Disciplines

- Neurosciences computationnelles :
 - modélisation de spiking neurons,
 - modélisation de population de neurones
- analyse de signaux physiologiques (EEG),
- BCI,
- Implantation en architectures dédiées.

Enjeux sociétaux

Nouvelles conceptions de modes de calcul inspirés des neurosciences (calcul spatial ; asynchrone ; local, etc). Meilleure compréhension du vivant ; interfaces mieux adaptées à l'humain.

Plateformes

Embodied et Embedded cognition : robots, architectures distribuée (FPGA, clusters, GPU)

Force de travail

- 9 permanents
- 10 doctorants
- 3 post-docs

B.4 ETIS, UMR8051

Contact : Philippe Gaussier, Pierre Andry

Thématiques

Nous utilisons des robots pour tester des modèles en sciences cognitives. Les expérimentations robotiques visent à analyser les propriétés émergentes des modèles neurobiologiques sous-jacents. Les robots apparaissent ainsi comme un moyen de faire le lien entre données neurobiologiques et données comportementales (psychologiques, éthologiques...). L'approche robotique des sciences cognitives est particulièrement pertinente pour traiter des problèmes de cognition spatiale, perception active, préhension/manipulation, locomotion... et plus généralement toutes les tâches impliquant la dynamique des boucles sensori-motrices.

Argumentaire

La compréhension des mécanismes sous-tendant nos capacités cognitives est une question primordiale. Elle peut avoir un impact en robotique. Par exemple, pour la locomotion et la manipulation, l'utilisation de modèles neurobiologiques plastiques est intéressante pour le contrôle adaptatif des robots qui sont confrontés à des dommages pouvant compromettre leur motricité, leur perception, ou qui changent leur morphologie (pertes sensorielles, usures, amputation...). La capacité à s'adapter en temps réel à des environnements a priori inconnu, à tenir compte de contraintes et objectifs contradictoires... sont des problèmes qui pourraient aussi bénéficier des avancées en sciences cognitives (et réciproquement).

Verrous

Au niveau scientifique, une interaction naturelle avec un robot suppose de redéfinir ce qu'est une interaction, notamment en prenant en compte les différentes dynamiques internes et externes. Il est aussi nécessaire de comprendre en quoi consiste l'apprentissage (modification de synapses/modification de structures de réseau/modification de dynamiques) pour un système autonome, notamment sur le long terme (temps long et grand espace). Les modèles d'apprentissage existant sont trop limités par rapport aux contraintes d'apprentissage rapide (apprendre en un coup) et de plasticité/adaptation de ces apprentissages. Une modélisation correcte des différents types de mémoire est un enjeu majeur pour l'autonomie. La capacité des robots à auto-évaluer leurs performances et réguler leur apprentissage est aussi un point très difficile (modélisation des mécanismes émotionnels).

Au niveau technique, les systèmes robotiques actuellement disponibles ne disposent pas des senseurs ni moyens d'action et de proprioception nécessaires pour les tâches nous intéressant. On peut noter par exemple l'absence de capteurs tactiles de grande taille permettant de créer une peau artificielle, la difficulté à obtenir des bras robotiques suffisamment compliants (compliance active et passive, transparence du dispositif pour une bonne proprioception). Au niveau structurel, la difficulté est d'ancrer les collaborations avec nos collègues neurobiologistes et psychologues dans une perspective à long terme. La durée typique des projets de recherche est de l'ordre de 10 ans au minimum. Ces recherches ont un caractère cyclique à long terme : 1) développement en collaboration avec des neurobiologistes ou psychologues d'un modèle computationnel, 2) test du modèle sur robot, 3) l'analyse des résultats et limi-

tations du modèle, 4) proposition d'un nouveau modèle et montage de nouvelles expériences sur l'animal ou l'homme visant à réfuter les prédictions du nouveau modèle.

Applications

- Algorithmes pour la navigation visuelle.
- Nouveaux types d'Interfaces Homme-Machine prenant en compte la dynamique des interactions et la possibilité d'apprendre en ligne.
- Systèmes capables de « lire » les intentions des humains.
- Nouveaux modèles des interactions entre les aires visuelles, l'hippocampe, le cortex préfrontal et les ganglions de la base.
- Modèles pour l'intégration de signaux multi-sensoriels prenant en compte les dynamiques sensori-motrices.
- Travaux théoriques sur la définition de la perception dans un cadre sensori-moteur.
- Mécanismes d'adaptation dans les systèmes complexes appliqués au déficit des robots humanoïdes (maîtrise d'un très grand nombre de degrés de libertés, prise en compte de déficiences motrices...).
- Plateforme (réelle ou simulation) de validation de modèles pour les biologistes ou psychologues.

Enjeux sociétaux

- Une meilleure compréhension des mécanismes cognitifs pouvant déboucher sur des modèles pouvant être utilisés pour tester/simuler les effets d'une thérapie ou d'une stratégie d'enseignement (modèles computationnels, robotiques ou théoriques), sur des systèmes pouvant être intégrés sur des êtres humains (prothèses ou orthèses neuro-adaptatives) ou pour des simulations de systèmes multi-agents applicables en économie, aménagement du territoire.
- Changer la relation à la machine : Réalisation de systèmes avec lesquels il sera réellement possible d'interagir et non uniquement se plier au protocole de la machine (notion de « vivre avec », possibilité de co-développement dans l'interaction).

Avancées scientifiques susceptible de bouleverser le domaine

- Meilleure compréhension de ce qu'est la perception.
- Réalisation d'architectures/modèles permettant à un robot d'être réellement autonome (au sens cognitif) : prise en compte de modèles de méta-contrôle (modélisation de mécanismes émotionnels par ex.)
- Modélisation de l'intentionnalité, de l'agentivité... et des soubassements permettant une dynamique d'interaction.

Disciplines

- Robotique (automatique, mécanique...)
- Intelligence Artificielle
- Psychologie,
- Neurobiologie,
- Philosophie,

- Mathématiques.

Force de travail

- 9 permanents
- 4 doctorants
- 2 post-docs

B.5 Équipe-Projet Emotion, groupe Bayesian-programming du laboratoire LIG CNRS INRIA Université de Grenoble

Contact : Pierre Bessière

<http://www.bayesian-programming.org/>

« The actual science of logic is conversant at present only with things either certain, impossible, or entirely doubtful, none of which (fortunately) we have to reason on.

Therefore the true logic for this world is the calculus of Probabilities, which takes account of the magnitude of the probability which is, or ought to be, in a reasonable man's mind. »

James C. Maxwell

As Maxwell suggests, we consider that :

Probability is an alternative to logic to rationally reason with incomplete and uncertain knowledge.

The goal of the Bayesian-Programming.org project is to promote this thesis.

To reach this goal the three main scientific questions we are interested in are :

1. At a microscopic level, is there any evidence that the central nervous system is doing probabilistic calculation ?
2. At a macroscopic level, can we better explain animal or human behaviours using probabilistic models ?
3. Can we build more autonomous robots using Bayesian Programming ?

The list of different PhD defended during the past years is the following :

- Bayesian modelling of an action-perception loop - PhD Thesis of Estelle GILET (2009)
- Bayesian learning : foundations, method and applications - PhD Thesis of Pierre-Charles DANGAUTHIER (2007)
- Playing to train your video game avatar - PhD thesis of Ronan Le Hy (2007)
- Perception of shape from motion PhD thesis of Francis Colas (2006)
- Bayesian Approach to Action Selection and Attention Focusing. An Application in Autonomous Robot Programming - PhD thesis of Carla Maria CHAGAS e CAVALCANTE KOIKE (2005)
- Building a talking baby robot : A contribution to speech acquisition and evolution - PhD thesis of Jihène Serkhane (2005)
- Perceptual navigation around a sensory-motor trajectory - PhD thesis of Cedric Pradalier (2004)
- The Bayesian map - A hierarchical probabilistic model for mobile robot navigation - PhD thesis of Julien Diard (2003)
- Programmation bayésienne des bras manipulateurs - PhD thesis of Ruben Senen GARCIA RAMIREZ (2003)
- Bayesian Occupancy Filtering (BOF) for multi-Target tracking : an automotive application - PhD thesis of Christophe Coué (2003)
- A robotic CAD system using a Bayesian framework - PhD thesis of Kamel Mekhnacha (1999)
- Bayesian Robot Programming - PhD thesis of Olivier Lebeltel (1999)
- Contingent representation : Toward a reconciliation of functional and structural approaches to robot autonomy - PhD thesis of Eric Dedieu (1995)

B.6 FLOWERS – Interactions, exploration et apprentissage en robotique développementale et sociale. INRIA Bordeaux sud-Ouest

Contact : Pierre-Yves Oudeyer
<http://flowers.inria.fr>

Thématiques

- robotique développementale et sociale,
- cognition située et incarnée,
- exploration,
- apprentissage,
- motivations intrinsèques,
- interactions humain-robot naturelles

L'objectif de l'équipe FLOWERS est de mettre au point et d'étudier des mécanismes qui permettent à des machines et à des robots d'apprendre des savoir-faire nouveaux pour pouvoir interagir dans des environnements physiques et sociaux initialement inconnus et changeants. L'approche consiste à extraire des concepts et des mécanismes de la psychologie développementale (Piaget, Vygotski, Berlyne, Gibson...), et de les importer dans des modèles robotiques opérationnels, de telle manière qu'un robot puisse explorer et apprendre des choses nouvelles de manière similaire aux enfants humains. Ainsi, cette équipe de recherche s'inscrit dans le domaine émergent de la robotique développementale/épigénétique et de la cognition située et incarnée. L'hypothèse générale est qu'une telle approche peut permettre d'établir les fondations de nouveaux types de mécanismes permettant de rendre les robots beaucoup plus robustes quand ils sont faces à des espaces inconnus et à des tâches que les ingénieurs qui les ont conçus ne connaissent pas à l'avance. Enfin, l'opérationnalisation et l'implémentation de théories en psychologie développementale fournit en retour l'opportunité d'en tester leur cohérence interne.

Parmi les principes développementaux qui caractérisent les enfants humains et peuvent être utilisés dans des robots développementaux, FLOWERS se focalise sur les trois principes suivants :

1. L'exploration est progressive. L'espace des savoir-faire qui peuvent être potentiellement appris dans un espace sensorimoteur réaliste est si large et compliqué que tout ne peut pas être appris en même temps. Les savoir-faire simples sont appris en premier et, seulement quand ils sont maîtrisés, de nouveaux savoir-faire de complexité augmentant progressivement peuvent devenir le centre de la focalisation comportementale ;
2. Les représentations internes sont en partie apprises et adaptatives. Par exemple, les cartes de la topologie corporelle, la distinction soi/non-soi et le concept d'"'objet" sont découverts au travers de l'expérience avec des senseurs et des effecteurs non-interprétés (sans information sémantique a priori) ;
3. L'exploration peut être auto-guidée et/ou socialement guidée. D'une part, les motivations internes et intrinsèques régulent et organisent l'exploration spontanée ; d'autre part, l'exploration peut être guidée au travers des interactions sociales avec un partenaire ;

Le travail de l'équipe FLOWERS est organisé autour de trois axes :

1. L'exploration et l'apprentissage intrinsèquement motivés : les motivations intrinsèques sont des mécanismes identifiés par les psychologues du développement comme sous-tendant des formes importantes d'exploration spontanée et de curiosité. Nous essayons ainsi de construire des systèmes computationnels de motivations intrinsèques et de les tester sur des robots, dans le but qu'ils puissent réguler la croissance de la complexité dans les comportements exploratoires. Ces mécanismes sont aussi étudiés en tant qu'algorithmes d'apprentissage actif, permettant d'apprendre efficacement dans des espaces sensorimoteurs grands et inhomogènes ;
2. Apprentissage social naturel et intuitif : FLOWERS développe des systèmes d'interaction et des mécanismes d'apprentissage associés pour permettre à un non-ingénieur d'enseigner naturellement à un robot. Cela implique deux sous-thèmes : i) les techniques permettant une interaction naturelle et intuitive, incluant des interfaces simples et ergonomiques pour établir l'attention partagée ; ii) les mécanismes d'apprentissage qui doivent permettre au robot d'utiliser les indices de guidage fournis par l'humain pour lui enseigner des savoir-faire nouveaux ;
3. Découverte et abstraction de la structure d'ensembles non-interprétés de senseurs et de moteurs : FLOWERS étudie les mécanismes qui permettent à un robot d'inférer des informations structurelles caractérisant des ensembles de canaux sensorimoteurs dont la sémantique n'est pas connue, comme par exemple la topologie du corps et les contingences sensorimotrices (proprioceptives, visuelles et acoustiques) ; Ces trois axes de recherche sont appliqués à l'apprentissage de deux types de savoir-faire : les savoir-faire sensorimoteurs élémentaires et l'apprentissage des premiers mots.

Disciplines

- Robotique développementale,
- Robotique sociale,
- Apprentissage automatique,
- Psychologie développementale.

Force de Travail

- 1 permanent
- 2 doctorants
- 1 ingénieur
- 4 stagiaires de master

B.7 Équipe Handicap, IBISC

Contact : Etienne Colle

Thématiques

Assistance à la personne en perte d'autonomie avec les moyens, les méthodes et les techniques issues de la robotique. Nous privilégions une assistance par des robots *semi-autonomes* qui impliquent dans leurs usages une *coopération* étroite entre le robot et son utilisateur. C'est pourquoi nous avons des collaborations avec des chercheurs en neurosciences et en psychologie expérimentale. Nous développons une démarche originale de conception de l'aide, démarche qu'on pourrait appeler "ergonomique" basée sur le concept d'appropriation.

Quelles sont vos thématiques actuelles en robotique cognitive et les percées qui vous semblent intéressantes ?

- coopération homme-robot,
- comportement de type humain,
- démarche de conception "ergonomique",
- commandes coordonnées.

Quels sont vos verrous scientifiques, techniques ou structurels ?

- structurel : essentiellement la mise en place d'équipe pluridisciplinaire
- technique : acquisition de données expérimentales renseignant sur l'état interne (émotionnel ...)de l'homme
- Scientifique : C'est vaste par exemple un thème à la mode car important, la détection et la restitution d'intention et d'émotion

Applications

Aides techniques pour maintien à domicile.

Quels sont les éventuels enjeux sociétaux de vos recherches ?

Maintien à domicile (suppléance, sécurité, stimulation).

Quels sont, à votre avis, les avancées scientifiques qui bouleverseront votre vision du domaine ?

Détection et la restitution d'intention et d'émotion.

Quelles sont les disciplines concernées (Robotique, Psychologie expérimentale, Neurosciences, etc.) ?

Les trois citées et tous les travaux concernant l'intelligence ambiante.

Quelles sont les forces de recherche existantes dans votre équipe (C/EC permanents ; docs+post-docs) ?

Une dizaine de personnes :

- 4 permanents (2 PR, 1McF Hdr, 1 McF),
- 4 doctorants,
- un Post Doc,
- qq CDD.

B.8 Atelier PIRSTEC “Interactions homme/système-artificiel”

Contact : Frédéric Dehais

Thématiques

Interactions Homme-Robot cognitif.

Un atelier intitulé “Interactions homme/système-artificiel” a été proposé à PIRSTEC, il comprend un volet relevant spécifiquement de la robotique :

Les interactions Homme-Robot cognitif : Un autre aspect de l’interaction homme-système peut être étudié dans le cadre de l’interaction homme-robot. En effet, des aspects complémentaires viennent s’ajouter liés à l’autonomie décisionnelle du robot, au dialogue multi-modal, au partage de l’espace et de la tâche et à la sécurité de l’opérateur. En effet, nous nous plaçons ici dans le cadre des capacités cognitives nécessaires au robot pour améliorer son interaction avec l’homme.

Dans ce cadre, l’homme et le robot constituent un système dans lequel ils partagent un espace commun et échangent des informations à travers différentes modalités. L’interaction peut intervenir soit sur une requête explicite de l’homme, soit parce que le robot l’a estimée utile et en a pris l’initiative. Dans les deux cas le robot doit agir afin de satisfaire un but en prenant en compte de manière explicite la présence et les préférences de son partenaire humain. On étudiera, dans le cadre de l’atelier, différentes situations allant du robot domestique au robot assistant ou même au robot équipier.

B.9 Equipe Information, Multimodalité et Signal (IMS), Supélec

Contacts : Olivier Pietquin, Hervé Frezza-Buet

<http://www.metz.supelec.fr/metz/recherche/problematiques.fr.php?equipe=ims>

Thématiques

– Modélisation du cortex

Notre but est de reproduire en informatique les capacités d'adaptation et la généralité du tissu cortical. Nous retenons de la littérature sur le cortex qu'il s'agit d'une structure relativement uniforme qui sait se façonner, sous la "pression" des besoins comportementaux, pour traiter harmonieusement les différents flux (perception et actions) que l'animal doit gérer. Nous nous basons sur les champs neuronaux dynamiques, en y incluant de l'apprentissage (quantification vectorielle et renforcement), et sur notre plateforme robotique (smartroom) pour dériver des techniques informatiques à partir cette vue fonctionnelle des neurosciences.

Les percées à réaliser passent selon nous par la maîtrise de grands systèmes dynamiques discrets (populations de neurones), et nous sommes responsables du projet InterCell (intercell.metz.supelec.fr) qui vise à instancier ces systèmes sur un cluster disponible en ligne.

Argumentaire

Les questions primordiales sont l'approche située d'une part, et le "rejet" de modélisations explicites (mise en équation du système à contrôler) au profit d'approches adaptatives. Les arguments sont essentiellement les performances des systèmes nerveux des animaux sur ces questions, qui relèvent d'une logique très différente des résolutions mathématiques mises en oeuvre par les automaticiens. Bien que ces dernières soient les plus efficaces aujourd'hui, la difficulté de la robotique autonome exige d'explorer d'autres voies.

Verrous

Les verrous scientifiques sont relatifs dans notre domaine à la maîtrise algorithmique des systèmes dynamiques discrets non linéaires. Mathématiquement, les cas sur lesquels on a des résultats sont encore éloignés des modèles qui nous paraissent devoir être proposés. Les verrous sont donc du côté des mathématiques d'un part (notre équipe ne s'est pas engagée dans cette voie), et aussi du côté de la capacité à simuler de grands réseaux pour construire une méthodologie d'analyse expérimentale de leurs propriétés (c'est la voie que nous avons choisie).

Le verrou de la difficulté de disposer d'ingénieurs dédiés durablement à la mise en oeuvre du matériel est à la fois un verrou technique et structurel.

Applications

Ces recherches dans notre équipe sont plutôt à long terme, car les domaines d'application visées (robotique principalement) sont aujourd'hui plus avancés en automatique. Nous visons toutefois la conception d'un module informatique élémentaire générique, dont on puisse doter un robot en quantité variable suivant la complexité de ce que l'on attend de lui. Ces modules se spécialiseraient ensuite automatiquement pour réaliser un contrôle adapté à la tâche.

Enjeux sociétaux

Les enjeux sociétaux sont ceux de la robotique autonome (exploration de zones dangereuses, travail coopératif homme/machine, réindustrialisation de l'Europe,...). A cela se rajoutera certainement dans le futur, des enjeux médicaux. En effet, la compréhension des mécanismes d'affectation de ressources indifférenciées à des traitements donnés fait écho aux réorganisations corticales observés chez des personnes ayant subi des altérations graves de leur schéma corporel (amputations, paralysie). Bien qu'il soit aujourd'hui trop tôt pour l'affirmer, la compréhension de l'auto-organisation du cortex peut certainement influencer les thérapies de rééducation.

Avancées scientifiques

Les machines parallèles pour la simulation de grand réseaux sont un outil qui devrait permettre de confronter les modèles aux problèmes de passage à l'échelle dont certains souffrent sans que cela ait été mis en évidence.

Du côté de la psychologie, les approches "non standard" de la cognition (récemment O'Regan et Noe) sont des remises en cause des paradigmes classique de l'intelligence artificielle précieuses pour les informaticiens de ces domaines.

Disciplines

- Informatique / Traitement du Signal
- Neurosciences
- Biologie du comportement

Force de Travail

- 3 permanents (sur les 15 permanents de l'équipe)
- 10(?) doctorants

B.10 Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR, UMR7222)

B.10.1 Équipe Perception & Mouvement (P&M)

Contrôle moteur

Contacts : Olivier Sigaud

http://www.robot.jussieu.fr/?op=view_equipe&lang=fr&id=4

Thématiques

- modélisation du contrôle moteur humain
- modélisation de l'apprentissage moteur humain
- modèles du contrôle et de l'apprentissage moteur pour la robotique humanoïde
- modèles du contrôle et de l'apprentissage moteur pour la robotique d'assistance et de rééducation

Percées

- réalisation de premiers modèles rendant compte de l'apprentissage des modèles directs (géométriques, cinématiques, dynamiques) d'un robot et mise en oeuvre dans le cadre de la commande dans l'espace opérationnel,
- mise au point d'un cadre théorique pour la modélisation du contrôle moteur humain (Guigon, TOFC).

Argumentaire

L'apprentissage du contrôle moteur me semble être un étage clef de la construction de l'architecture cognitive d'un système artificiel. Sa modélisation me semble aussi être une étape clef de la compréhension du système cognitif humain et animal (met en jeu les aires cérébrales clefs (cervelet-GB) sur lesquelles doivent s'appuyer la construction de capacités cognitives plus spécifiques à l'homme).

Verrous

Sur le versant robotique, le principal verrou scientifique : mise au point de méthodes d'apprentissage (en particulier par renforcement) susceptibles de fonctionner sur des problèmes continus de grande taille. Sur le versant modélisation, compréhension des rôles respectifs des nombreuses aires impliquées

Applications

A court terme, la robotique d'assistance et de réhabilitation est le sujet sur lequel nous sommes le plus avancé. Modéliser le contrôle moteur humain permet de déterminer les réactions appropriées pour un robot d'assistance et modéliser l'adaptation motrice permet de déterminer les protocoles de rééducation adaptés.

A plus long terme, avoir des robots humanoïdes capables de s'adapter à l'environnement humain est un objectif ambitieux...

Enjeux sociétaux

- les enjeux de la robotique d'assistance et de réhabilitation sont considérables, dans un contexte de vieillissement de la population
- les enjeux de la disponibilité de robots humanoïdes sont non moins évidents...

Force de travail

- 2 PU + 1 PU associé
- 1 CR CNRS
- 5 MC
- 9 doctorants

Interaction Multimodales

Contacts : Mohamed Chetouani

Thématiques

- Perception et Interprétation de signaux d'interaction,
- Modélisation de l'interaction : caractérisation à la fois par des règles issues de la psychologie de l'interaction humain-humain et par des méthodes d'apprentissage,
- Adaptation de l'interaction avec des personnes ayant des troubles cognitifs.

Verrous

Coopération nécessaire avec des chercheurs en sciences cognitives et dans nos thématiques d'assistance et de stimulation cognitive collaboration étroite avec des cliniciens.

Applications

Modèle d'interaction cognitif et physique basé sur la perception multi-modale : parole, geste, mouvement de tête, signaux physiologiques.

Modélisation de l'interaction avec des personnes atteints de troubles :

- autisme : enfant (3-12 ans), étude longitudinale interaction parent-bébé (0-24 mois), rôle de l'interaction dans le développement de l'enfant
- personnes âgées : anxiété, dépression, démence, douleurs.

Enjeux sociétaux

Assistance pour les personnes atteintes des troubles cognitifs, émotionnels et sociaux.

Avancées

Modèles exploitant à la fois connaissances issues de la psychologie, de l'ingénierie mais également des aspects cliniques.

Disciplines

- Traitement du signal et reconnaissance des formes,
- Interaction Homme-Robot,
- Psychologie développementale (nourrisson, enfant, personnes âgées).

Force de travail

- 1 EC
- 3 doctorants

B.10.2 Équipe Systèmes Intelligents Mobiles et Autonomes (SIMA)

http://isir.robot.jussieu.fr/?op=view_equipe&lang=fr&id=2

Thématique perception active et multimodale

Contacts : Bruno Gas, Ryad Benosman

Thématiques

- Perception multimodale : Il s'agit de contribuer à ouvrir les robots mobiles, non pas seulement à la dimension visuelle, mais également à la dimension sonore en proposant de nouveaux concepts de fusion multimodale ayant vocation à s'étendre à toute modalité perceptive proprio ou extéroceptive (inertielle, tactile, etc.). La fusion multimodale vise ici à trouver des espaces communs de représentation des signaux pour arriver à une unité perceptive (représentation supramodale).
- Perception active : L'action n'est pas seulement envisagée ici comme une mobilité donnée aux capteurs pour la recherche d'informations sur l'environnement ou la résolution d'ambiguïtés, mais bien comme une composante intrinsèque de la perception, suivant en cela des résultats théoriques issus de la psychologie de la perception (la théorie des contingences sensorimotrices notamment). Cet axe de recherche consiste en particulier à développer sur le plan théorique, et à appliquer dans le domaine de la robotique mobile expérimentale, une nouvelle approche de la perception fondée sur des modes de représentation des interactions sensorimotrices. Les neurosciences constituent également une source d'inspiration, notamment dans le cadre de l'élaboration de cartes sensorimotrices pour la réalisation de robots mobiles autonomes.
- Vision : Nos travaux cherchent à développer et utiliser des capteurs et algorithmes bioinspirés le plus neuromorphiques possible. Le but est de pouvoir poser un lien entre la perception visuelle bioinspirée et la vision computationnelle classique plus géométrique en liant la nature des spikes à la topologie des capteurs. La recherche des liens entre la vision computationnelle classique, courant majoritaire de la vision par ordinateur, et celle plus biologique, constitue l'axe directeur. Une autre partie importante de notre travail concerne l'étude du lien entre primitives visuelles et action. Il s'agit d'étudier principalement la dynamique des spikes visuels et de la lier à celle des plateformes mobiles. Enfin dans le cadre de collaborations locales nous travaillons sur les processus de codages et la modélisation d'implants rétiniens.

Verrous

- Coopération rendue nécessaire avec des chercheurs des communautés suivantes :
 - Psychologie de la perception
 - Neurosciences
 - Mathématiques
- Verrous scientifiques liés :
 - Modèles biomimétiques plausibles de la modulation des cartes sensorielles par l'activité motrice
 - Formalisation mathématique de la représentation des interactions sensorimotrices

Enjeux sociétaux

- Contribuer à la robotique d'accompagnement des personnes à mobilité réduite par l'élaboration de systèmes pleinement autonomes
- Contribuer à la robotique d'intervention en milieu hostile (exploration autonome marine et sous-marine, exploration spatiale, environnements nucléaires, etc.)
- Développement de bioprothèses et Biopuces neuronales

Applications Robotique mobile autonome en général.

Disciplines

- Vision, traitement du signal et reconnaissance des formes,
- Robotique mobile
- Psychologie / physiologie de la perception
- Neurosciences computationnelles
- Mathématiques

Force de Travail

- 3 EC
- 1 post-doc
- 5 doctorants

Thématique autonomie et adaptation

Contact : Benoît Girard

Thématiques

- Modélisation neuromimétique
- Cognition spatiale : localisation, navigation, coordination de stratégies de navigation multiples
- Sélection de l'action, décision, motivation,
- Apprentissage par renforcement neuromimétique
- action motrice et boucles sensorimotrices.

Conception et évaluation incarnée (robotique ou en simulation) de modèles neurocomputationnels des régions du cerveau impliquées dans la navigation, la sélection de l'action et l'apprentissage (ganglions de la base et système dopaminergique, cortex préfrontal, hippocampe, etc.). Ceci, à la fois dans le but de d'éprouver les théories neurobiologiques et de leur

fournir des prédictions testables expérimentalement, mais également de produire des robots autonomes adaptatifs.

Disciplines concernées

- Neurosciences computationnelles,
- Robotique,
- Neurobiologie : anatomie, physiologie, comportement.

B.11 Groupe Intelligence Sensori-Motrice, équipe RPDMP, IRIT

Contact : Jean-Christophe Buisson
<http://diabeto.enseeiht.fr/smig/>

Thématiques

- modélisation de l'écriture manuscrite comme résultante d'oscillateurs couplés.

Argumentaire

Oscillateurs comme mécanisme cognitif fondamental de commande et de transmission d'information.

Verrous

Difficultés d'analyse de tels système dynamiques oscillatoires.

Applications

Diagnostic de dysgraphie.

Disciplines

- Psychologie expérimentale

Force de travail

- 2 permanents,
- 2 doctorants.

B.12 LAAS, CNRS

Contact : Raja Chatila, Georges Giralt

B.12.1 Groupe Gepetto

Contact : Jean-Paul Laumond

www.laas.fr/gepetto

Thématiques

- étude du mouvement pour systèmes anthropomorphes (robotique humanoïde, mannequins numériques, mouvement humain)

Argumentaire

Contribuer à la compréhension et à la modélisation de l'action humaine dans ses composantes spatio-temporelles. Il s'agit d'étudier les bases intégratives et calculatoires des boucles sensori-motrices de l'action par une approche basée sur les sciences et techniques de la robotique, principalement le traitement du signal pour la perception, l'automatique pour la commande des actions et l'informatique pour les modèles d'actions et de comportement.

Verrous

Un système anthropomorphe se caractérise par sa redondance et son sous-actionnement. La conjonction de ces deux caractéristiques au sein d'un même système pose des problèmes de modélisation (quels sont les invariants d'une action ?) et de calcul (optimisation numérique).

Applications

- robotique humanoïde,
- mannequins numériques,
- modèles neuro-robotique du mouvement humain.

Enjeux sociétaux

Robotique personnelle, prototypage virtuel dans le secteur du PLM (Product Lifecycle Management)

Disciplines

- Neurosciences (avec en particulier le CERCO de Toulouse et le LPPA du Collège de France),
- Bio-mécanique (avec en particulier le M2S de l'Université de Rennes).

Force de Travail

- 7 permanents
- 13 doctorants

B.12.2 Groupe Robotique et InteractionS (RIS)

Contact : Rachid Alami

Thématiques

Représentation formelle et manipulation multi-robots de connaissances via, entre autre, des ontologies.

B.13 Équipe Lagadic de l'Irisa / Inria Rennes-Bretagne Atlantique

Contact : Francois Chaumette
<http://www.irisa.fr/lagadic>

Thématiques

- vision par ordinateur,
- asservissement visuel,
- perception active,
- vision robotique.

B.14 Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier, LIRMM, (UMR 5506)

Contact : Jean Sallantin

Réalisation un robot capable d'associer à son activité physique, une activité intellectuelle et une construction d'un soi lors d'interaction avec un instructeur humain.

Thématiques

- Apprentissage par l'interaction homme-robot

Disciplines

- Psychologie,
- Philosophie,
- Intelligence artificielle.

B.15 Machine Learning and Evolutionary Computation team, équipe-projet TAO, LRI, CNRS, Univ. Paris-Sud, INRIA

Contact : Nicolas Bredèche

Thématiques

- Apprentissage en ligne,
- apprentissage par démonstration,
- adaptation en ligne,
- optimisation d'architecture de contrôle neuronale

Méthode d'optimisation d'architecture de contrôle avec peu d'information sur le critère à optimiser et dans le cadre de fonctions bruitées et multimodales. Interventions minimales de l'opérateur humain.

Argumentaire

La conception par un expert d'une architecture de contrôle est coûteuse en temps et reste limitée à un cadre bien déterminé a priori. Une approche type apprentissage/adaptation permet de contourner ces problèmes en transférant le coût de conception qui pèse sur l'opérateur humain en coût d'adaptation qui repose entièrement sur le système robotique.

Verrous

- Compromis entre approche globale (qui implique diversité et exploration d'un front de pareto) et locale (qui implique robustesse et exploitation de localité par les opérateurs d'adaptation)
- Application sur robots réels
- Expressivité des architectures de contrôles neuronales
- Passage à l'échelle des solutions

Applications

Très concrète à court terme : adaptation en ligne d'un essaim de robots dans le cadre du projet européen Symbrion. A plus long terme : méthode de conception semi-automatique d'architecture de contrôle pour des systèmes distribués (essaim de robots, senseurs mobile, etc.)

Enjeux sociétaux

Capacité à produire des systèmes distribués auto-adaptatifs, inspiré de l'autonomic computing, et composé d'agents physiquement ancrés dans un environnement réel (réseaux de senseurs mobiles, nano-technologie, etc.).

Avancées

- scientifique : meilleure compréhension des propriétés des architectures de contrôle, en particulier neuronales (modularité, mémoire, bifurcation entre modes de fonctionnement),
- technique : disponibilité de grande quantité de robots autonomes robustes à bas prix.

Disciplines

- Evolution Artificielle,
- Optimisation Stochastique,
- Apprentissage Automatique,
- Robotique autonome
- Psychologie cognitive,
- neuroscience computationnelle

Force de travail

- 2 DR,
- 1 MdC,
- 3 docs

B.16 Équipe Mécanismes et Robotique du Laboratoire de Mécanique des Solides (UMR CNRS 6610)

Contact : Marc Arsicault, Saïd Zegloul

<http://www-lms.univ-poitiers.fr/rubrique67.html>

Thématiques

Préhension et manipulation dextre

Les travaux qui ont lieu actuellement dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire de Neurobiologie des Réseaux Sensorimoteurs (LNRS CNRS UMR 7060) Paris VI concernent la démarche suivante :

Il s'agit de comparer les performances d'une commande classique basée sur un modèle mécanique et d'une commande bio-inspirée de main artificielle avec l'espoir de fusionner les approches biomimétiques et les approches roboticiennes pour obtenir un modèle de commande optimale en vue de la préhension et la manipulation dextre d'objets variés. Cette approche est sensée lever des verrous rencontrés lors de la synthèse de prise et à plus long terme la manipulation dextre dynamique.

Robotique humanoïde

L'équipe du LMS a une activité concernant la génération de mouvements de marche pour robots humanoïdes. Plusieurs méthodes sont développées dans cette optique : la synthèse de mouvements de marche 3D par planification du centre de gravité du robot (approche quasi-statique) ainsi que par planification du ZMP (Zero Moment Point). La génération des mouvements de marche s'appuie également sur une approche biomimétique de la marche et tient compte notamment du placement des pieds, des lois de levées de pieds et des mouvements des membres supérieurs obtenus par capture du mouvement de l'être humain. Plusieurs plateformes sont utilisées pour valider les trajectoires obtenues dans cette optique.

Après la mise en place des modèles de commande classique, l'idée à moyen terme, est d'associer l'approche bio-inspirée basée sur les neurosciences à la démarche globale de génération de mouvements.

Apport des sciences cognitives pour nos recherches

Identification et compréhension de la génération des mouvements – Amélioration des modèles de commande, optimisation des temps de calculs.

Enjeux sociétaux

Versatilité et performances des dispositifs robotiques industriels et médicaux, des orthèses et des prothèses.

Applications

robotique de service - robotique industrielle – robotique médicale - industries des orthèses et des prothèses.

Disciplines impliquées

- Neurosciences,
- Biomécanique.

Force de travail

- 1 PU,
- 2 MdC,
- 1 IR CNRS,
- 3 non-permanents.

B.17 Equipe NCA NeuroComputation Adaptative, UMR 7102 Neurobiologie des Processus Adaptatifs. CNRS - Université Pierre et Marie Curie Paris.

Contact : Angelo Arleo

<http://www.anc.upmc.fr>

Thématiques de recherche, enjeux sociétaux et applications

Mots-clefs :

- modélisation neuromimétique
- encodage neuronal de l'information
- intégration multisensorielle
- apprentissage non supervisé
- cognition spatiale et navigation
- neurorobotique

Les thématiques de recherche développées par l'équipe NCA concernent les bases neurales des processus adaptatifs et cognitifs. Plus précisément, elles portent sur les mécanismes d'apprentissage sous-tendant la capacité des animaux et des humains à interagir avec leur environnement à l'aide de multiples modalités sensorielles et à élaborer des représentations contextuelles utiles pour la prise de décision. Le programme de recherche s'articule autour de trois axes principaux :

1. *Traitement neuronal de l'information.* Ce volet porte sur l'étude du code neuronal, c'est-à-dire la représentation et le transfert d'informations par l'activité des cellules nerveuses. Il s'agit, par exemple, de caractériser de manière quantitative la relation entre la décharge d'un neurone et les patrons temporels des stimuli afférents ayant engendré cette décharge. Nous nous concentrons sur les mécanismes d'adaptation synaptique favorisant l'optimisation de ce processus d'encodage neuronal et qui constituent les bases biophysiques de la mémoire à court et à long terme. Cet axe de recherche fait actuellement l'objet d'un projet visant à élucider la capacité du système nerveux (périphérique et central) à encoder et décoder les signaux tactiles et somesthésiques en provenance de capteurs périphériques comme les mécanorécepteurs lors d'une tâche d'exploration sensori-motrice. Pour cette étude, nous nous basons sur des données de micro-neurographie haptique chez l'homme (collaboration avec R. Johansson, Department of Integrative Medical Biology, Umea University) ainsi que sur des données obtenus avec un capteur haptique robotique (collaboration avec P. van der Smagt, Bionics Group, Institute of Robotics and Mechatronics, German Aerospace Center).
2. *Intégration multisensorielle pour la cognition spatiale.* La mémoire spatiale offre un cas d'étude intéressant d'une fonction complexe de traitement de l'information. Le deuxième volet de notre projet de recherche traite des questions suivantes : Quels sont les processus réglant l'intégration multisensorielle pour l'élaboration de représentations contextuelles stables ? Comment l'importance relative des informations extéroceptives et proprioceptives est modulée en fonction du contexte spatial ? Quel est le rôle des mécanismes d'adaptation synaptique dans le processus de coopération et/ou compétition des différentes sources d'informations spatiales ? Cet axe a donné lieu à deux études parallèles : (i) modélisation et analyse des propriétés de sélectivité spatiale des neurones de

la formation hippocampique (e.g., cellules de direction de la tête, en collaboration avec S. Wiener, Laboratoire de Physiologie de la Perception et de l'Action, LPPA, Collège de France); (ii) apprentissage de représentations contextuelles multidimensionnelles pour la planification du comportement spatial.

3. *Étude de l'interaction entre multiples systèmes de mémoire spatiale.* La cognition spatiale relève d'au moins deux processus mnésiques complémentaires : l'élaboration de mémoires épisodiques (e.g. représentations internes de l'environnement), et l'acquisition de mémoires procédurales sous-tendant l'optimisation de trajectoires de navigation. Ce volet de recherche fait actuellement l'objet de deux études : (i) modélisation des interactions anatomo-fonctionnelles entre l'hippocampe et le cortex préfrontal (deux régions impliquées dans les processus mnésiques d'ordre épisodique) sous l'action neuromodulatrice des afférents dopaminergiques (en collaboration avec S. Otani, Laboratoire de Physiopathologie des Maladies du Système Nerveux Central, Université Pierre et Marie Curie); (ii) modélisation de l'implication du cervelet dans la cognition spatiale et plus particulièrement dans la composante mnésique procédurale (en collaboration avec L. Rondi-Reig, Equipe de Navigation, Mémoire et Vieillesse, Université Pierre et Marie Curie).

Ces trois axes – fortement interdépendants – nous permettent d'étudier le traitement neuronal de l'information à des niveaux d'organisation différents, depuis l'échelle cellulaire jusqu'au niveau cognitif. Par conséquent, notre programme de recherche s'inscrit dans une approche de neurosciences intégratives et il est caractérisé par une démarche scientifique pluridisciplinaire réunissant les neurosciences expérimentales, les neurosciences computationnelles et la neuro-robotique. Cette approche a vocation à aboutir à des échanges pluridisciplinaires fructueux. D'une part, la compréhension des mécanismes d'adaptation sous-tendant les fonctions cognitives peut permettre le développement de nouvelles théories relevant de la dynamique des systèmes complexes et peut donner lieu à la réalisation de robots plus autonomes. D'autre part, les études théoriques à l'aide de modèles biologiquement plausibles – c'est-à-dire conçus sous les contraintes des connaissances issues de la recherche expérimentale – permettent d'explorer systématiquement de nouvelles hypothèses anatomo-fonctionnelles reliant des niveaux d'organisation neuronale différents et d'établir des prédictions faisant progresser les connaissances neurobiologiques. En effet, aux trois axes de recherche précédents il s'en ajoute un quatrième à caractère transversal - qui pourra être mis en oeuvre à long terme - portant sur l'étude des dysfonctionnements cognitifs (par exemple mnésiques) et leur diagnostic prospectif.

Disciplines impliquées

- Neurosciences computationnelles (analyse théorique et modélisation).
- Neurobiologie expérimentales (données comportementales et électrophysiologiques)
- Neuro-robotique située

Force de travail

- 1 Chercheur permanent (A. Arleo, CNRS CR1)
- 2 Post-doctorants (D. Sheynikhovich, L.L. Bologna)
- 3 Doctorants (R. Brasselet, L.-E. Martinet, J.-B. Passot)
- 2 stagiaires de master 2 (P. Allegraud, S. Campano)

– 1 stagiaire de master 1 (E. Duvelle)

B.18 Groupe Perception Située, Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (UPR 3CNRS 251)

Contact : Philippe Tarroux

Thématiques

Reconnaissance de scènes et d'objets en vision. Deux points me semblent particulièrement importants : la prise en compte du contexte qui permet de simplifier la description des objets à reconnaître, les relations perception-action et en particulier le rôle de l'action dans la sélection de l'information perceptive.

Argumentaire

On assiste à un intérêt croissant pour la perception en situation aussi bien dans le domaine de la psychologie cognitive et de la biologie que dans celui des réalisations informatiques concernant la vision artificielle. Les approches désincarnées qui considèrent que l'image ou la scène contient la totalité de l'information permettant son interprétation ont montré leurs limites.

Verrous

L'un des verrous scientifiques est de comprendre quels codes sont les plus pertinents pour le codage d'une scène ou d'un objet en termes de compacité, de non redondance et de généralité. D'un point de vue technique, les modèles situés sont indissociables d'une implémentation robotique qui seule permet l'interaction nécessaire du système et de son environnement.

Applications

A court terme, la limitation essentielle concerne les temps de calcul et l'accès au temps réel. Une fois ces verrous levés, le fait de disposer de systèmes de reconnaissance de scènes et d'objets généralistes, autonomes et adaptatifs ouvre de très nombreuses voies d'application.

Enjeux sociétaux

La robotique autonome d'assistance, le développement de l'intelligence ambiante et de nouvelles formes d'interaction humains-machines.

Disciplines

Psychologie Cognitive

Force de travail

- 6 C/EC,
- 1 ITA,
- 5 docs+post-docs

B.19 Robot Cognition Laboratory, INSERM U846 Stem Cell and Brain Research Institute

Contact : Peter Ford Dominey

<http://www.sbri.fr/robot-cognition-laboratory-.html>

Thématiques

Human-robot cooperation, based on detailed analysis of human cognitive development.

Sur les questions qui vous semblent primordiales, quels sont vos éléments d'argumentation permettant de les considérer comme telles ?

By exploiting data from human cognitive development, in the context of human-human cooperation, we can define a roadmap for progress in the implementation of robot cognitive systems.

Quels sont vos verrous scientifiques, techniques ou structurels ?

Vision

Quels sont les utilisations concrètes (innovation, valorisation) de vos recherches, à court et long terme ?

Robot therapists for stroke patients.

Quels sont les éventuels enjeux sociétaux de vos recherches ?

The introduction of cognitive robots into everyday life.

Quelles sont, à votre avis, les avancées scientifiques qui bouleverseront votre vision du domaine ?

Robot mechatronics now provide usable humanoid platforms (Nao, iCub, HRP2).

Quelles sont les disciplines concernées (Robotique, Psychologie expérimentale, Neurosciences, etc.) ?

robotics, developmental psychology, computer vision, computational linguistics

Quelles sont les forces de recherche existantes dans votre équipe (C/EC permanents ; docs+post-docs) ?

- European Project FP7 CHRIS - 1 Phd, 1 Post doc
- European Project FP7 ORGANIC - start March 1 2009 3 phds
- ANR Psirob AMORCES - 1 post doc
- ANR Blanc Comprendre - 1 postdoc
- 1 DR, 2CR

B.20 Équipe Robotique, IRCCyN, UMR 6597

Contact : Frédéric Boyer

Thématiques

Perception basée sur un capteur bioinspiré de l'électrolocation des poissons.

Applications

Développer des technologies et modèles et algorithmes pour le sens électrique. Avec en premier lieu un capteur pour lequel nous allons déposer un brevet.

Enjeux sociétaux

Contribuer au développement d'une nouvelle génération de robots autonomes exploitant l'auto adaptation de leur perception, de leur locomotion et de leurs interactions, le paradigme étant pour nous le sens électrique des poissons de la famille des mormyridés.

Disciplines

- Neurobiologie,
- Éthologie

Force de travail

- 3 C/EC,
- 2 doctorants.

B.21 Robotique cognitive, ENSTA ParisTech

Contact : David Filliat

<http://cogrob.ensta.fr/>

Thématiques

L'équipe robotique cognitive de l'ENSTA ParisTech développe des méthodes de perception et d'apprentissage appliquées à la robotique mobile. Nous nous plaçons plus particulièrement dans une approche développementale qui cherche à s'inspirer des méthodes d'apprentissage et de développement humain pour la réalisation de tâches équivalentes. Nous travaillons plus particulièrement sur la navigation, la modélisation de l'environnement et de l'utilisateur et sur l'interaction avec l'utilisateur, en utilisant en priorité la vision mais aussi des systèmes multi-senseurs utilisant la télémétrie.

- Navigation sémantique, SLAM visuel
- Interaction homme-robot, assistance aux personnes dépendantes
- Apprentissage actif, apprentissage interactif
- Vision pour la robotique, représentations évolutives de l'information visuelle

Applications

L'ENSTA ParisTech se focalise sur les applications de robotique personnelle dans un cadre ludique ou d'assistance aux personnes âgées ou dépendantes. Cette dernière catégorie de robots a pour objectifs de répondre à de enjeux sociétaux majeurs tels que le vieillissement de la population.

Force de travail

- 2 EC,
- 3 doctorants,
- 1 post-doc.

B.22 Equipe ROBOTIS, ONERA

Contact : Patrick Fabiani

Thématiques

- architecture pour l'autonomie des robots spatiaux, aériens et sous-marins nous avons fait en 2006-2007 des démonstrations en extérieurs sur des robots sous-marins et des robots aériens (drones) d'architectures de conduite autonome permettant de gérer la mission du drone de façon plus ou moins autonome, depuis l'autonomie complète des robots sous-marins (pas de comm) jusqu'à l'autonomie supervisée des drones (opérateur de sécurité obligatoire) en passant par les systèmes spatiaux (en simulation seulement pour ceux-ci). Plus récemment, nous avons développé avec le CNES une architecture générique et sûre pour l'autonomie des système spatiaux, architecture que nous sommes en train de transposer aux robots aériens (drones) avec prise en compte et étude des impératifs de sécurité et de sûreté de fonctionnement spécifique sur ce type de systèmes.
- planification coopérative d'action et de comportements conditionnels en présence d'incertitudes de perception et d'aléas Il nous semble que les algorithmes de planification et d'optimisation de plan et de comportement ont acquis une puissance permettant de traiter des applications réalistes et nous avons pu faire "voler", c'est à dire démontrer un vol de drone capable de cartographier son environnement de façon autonome (obstacles, zones plates, zones à explorer) de replanifier non seulement son plan de vol, mais aussi son plan d'exploration et de prise d'information et ainsi de suite jusqu'à trouver une zone de poser près d'un rescapé désigné ou rentrer "à la maison" et donc d'adapter ainsi de façon autonome, par des prises de décision autonomes successives, son comportement jusqu'à un but en environnement mal connu et incertain. Depuis nous avons développé nos algorithmes pour la prise en compte de plusieurs agents cognitifs, robotiques ou humains.
- perception et suivi de situation pour des robots autonomes Dans la suite des travaux précédent, nous appliquons nos travaux au suivi par un drone autonome d'objets se déplaçant dans un environnement que l'on cartographie en même temps. Le suivi de situation et la perception permettent de contribuer à la prise de décision, à la planification de la mission ou à l'échange d'information avec d'autres agents, humains ou artificiels, ayant différents nbiveaux d'autorité (voir item suivant).
- supervision de l'interaction opérateur-robot, détection de conflits Dans ce domaine, nous travaillons en étroite collaboration avec Frédéric Dehais de l'ISAE qui organise prochainement un atelier PIRSTEC à Toulouse à l'ISAE. Nous avons travaillé avec lui sur la supervision de l'interaction pilote-système dans le cas de cockpit avion et démontré nos méthodes et outils au travers de tests réels avec des pilotes, outils et méthodes que nous appliquons maintenant aux problèmes d'autonomie adaptative et de répartition du contrôle sur les aéronefs et robots aériens (drones) d'une part, et à la supervision d'équipes de robots aériens et terrestres d'autre part.

Verrou

Comment prouver la conformité d'un système capable de "comportements adaptatifs autonomes" à un cahier des charges d'exigences portant sur son comportement, notamment vis à vis d'agents humains (opérateurs ou "passants"), quels que soient l'environnement et

les événements auxquels le robot pourra se trouver confronté. Par "comportements adaptatifs autonomes" j'entends une boucle Perception-Décision-Action avec un environnement mal connu, incertain, changeant (dynamique, aléatoire, tout ce que l'on veut ...) donc un nombre de situations possibles non "énumérable" en temps raisonnable.

Augmenter l'efficacité et la généralité (c'est souvent contradictoire) de nos modèles, méthodes et outils d'optimisation, de planification, de perception, de suivi de situation ...etc. bref progresser sur les briques de bases méthodologiques tout en concevant les outils et méthodes permettant de vérifier leurs résultats et leurs interactions au sien d'architectures de conduite complexes.

Applications

Principalement les opérations des systèmes spatiaux et drones (robots aériens) en coopération avec des agents humains ou des robots au sol (pas forcément le sol terrestre), mais aussi les sous-marins autonomes.

Enjeux sociétaux

L'impact de nos recherches se traduit en efficacité et sûreté de fonctionnement des systèmes aérospatiaux futurs, tant du point de vue de la réalisation de la mission que du point de vue du respect des règlements et règles de sécurité des personnes, de respect de l'environnement et de "l'éthique des robots" : réaliser des robots capables de "comportements autonomes efficaces et sûrs" mais au comportement toujours conforme aux exigences du concepteur, vérifier les exigences et vérifier que les robots se conforment bien à ces exigences : éthiques, environnementales, légales, fonctionnelles, opérationnelles, ...

Avancées

La première traversée de l'Atlantique par un "drone" n'est pas un événement en Robotique Cognitive, par contre le premier "système automatique d'atterrissage en sécurité" pour un aéronef pouvant servir de "panic button" en cas de problème empêchant le "commandant de bord" (pilote ou non) de bien terminer sa mission et de ramener l'aéronef et tout ce qu'il contient, plus sûrement et plus sainement au sol que le commandant de bord "empêché" (maladie, désorientation, panique, attaque terroriste, ...etc.) sera un vrai cap franchi.

Disciplines

- Systèmes Embarqués,
- Intelligence Artificielle

Force de travail

- 16 C/EC,
- 7 doctorants,
- 1 post-doc.