

Groupe Robotique et Intelligence Artificielle LAAS-CNRS

Les travaux du groupe Robotique et Intelligence Artificielle du LAAS couvrent un large spectre du domaine. Les travaux procèdent d'une double démarche : *constructive* et *intégrative* en combinant des études théoriques, l'élaboration d'algorithmes, le développement de fonctionnalités robotiques, leur implémentation et leur expérimentation, la réalisation d'outils, l'élaboration d'architectures organisant les fonctionnalités et les mettant en oeuvre dans un système intégré matériel. Les recherches s'articulent principalement selon les quatre axes suivants qui recouvrent parfois des thèmes de recherche communs dans les champs de la Perception, de la Décision, de l'Apprentissage, de l'Action, de l'Interaction et de la Communication, mais en les conjuguant différemment:

- Robotique terrestre et aérienne
- Robotique cognitive et interactive
- Mouvement humain
- Algorithmique du mouvement moléculaire

Robotique terrestre et aérienne

La robotique terrestre et aérienne regroupe les recherches visant à concevoir des machines autonomes, naviguant sur le sol et dans les airs, dans des environnements extérieurs plus ou moins structurés, et pouvant éventuellement agir en collaboration. Ces travaux sont menés dans le contexte d'environnements structurés (routiers et urbains) et non-structurés (naturels), qui peuvent en outre présenter des éléments dynamiques (autres véhicules, personnes). Deux thèmes sont principalement poursuivis : la perception et la décision.

Dans le contexte considéré ici, les modalités perceptuelles traitées sont surtout la vision couleur, panoramique, monoculaire, et stéréoscopique. L'objectif principal est la modélisation de l'environnement, et différents types de modèles sont construits qui incorporent des représentations probabilistes des imprécisions (au niveau de la géométrie) ou des incertitudes (au niveau sémantique). Des algorithmes ont été élaborés pour la construction de modèle tridimensionnel de terrain (nécessaire à la planification des placements pour permettre des observations), de modèle de traversabilité (nécessaire à la planification des déplacements des robots terrestres), comprenant des informations supplémentaires liées nécessaires au contrôle de l'exécution des déplacements, ou de représentations dynamiques des frontières des zones navigables (routes) par des courbes déformables. Le maintien de la cohérence spatiale de ces différents modèles implique la localisation des robots, qui est fortement liée aux processus de modélisation. D'où un travail important sur le SLAM basé sur la vision. Des travaux sur les capteurs multi-sensoriels intégrés (méthodologie de conception pour la réalisation d'algorithmes sur FPGA, adéquation architecture / algorithmes...) et l'intégration de fonctions et la fusion de données au niveau du capteur, rendent accessibles des performances non envisageables en solution purement logicielle (par exemple, stéréovision IR/visible à 100Hz).

L'ensemble des processus décisionnels planifient et contrôlent les activités du, ou des robots. Ceci concerne les décisions relatives aux mouvements (planification des placements et des déplacements sur terrain plat ou accidenté avec prise en compte des contraintes cinématiques de non-holonomie), et la sélection, supervision et contrôle de l'exécution de différentes modalités de déplacements. L'intégration étroite entre planification de tâches et contrôle de leur exécution d'autre part, impliquant des travaux sur la planification avec prise en compte de contraintes temporelles, la réparation en ligne de plans, et l'interaction entre planification et contrôle d'exécution, avec le développement d'architectures de contrôle robustes. Le contexte multi-robots a induit le développement d'algorithmes et d'architectures pour la coopération entre machines aux capacités de déplacement et de perception très hétérogènes (cas de la coopération entre robots terrestres et aériens). Enfin, la considération explicite de la place des opérateurs, qui doivent avoir la possibilité d'intervenir à tous les niveaux (autonomie ajustable) a amené des travaux sur l'évaluation de l'autonomie et sur la prise en compte de

l'interaction homme-robot dans les architectures décisionnelles, notamment pour le partage des décisions.

Robotique cognitive et interactive

L'accent est mis dans cet axe sur un robot évoluant dans un environnement sémantiquement riche peuplé d'humains, ce qui donne un sens fort à l'interprétation de scènes, à l'apprentissage, à la décision et la réflexivité, et à l'interaction avec l'Homme. L'émergence d'une robotique d'assistance à l'homme et de la robotique personnelle renouvelle aujourd'hui entièrement la problématique de l'interaction homme-robot, précédemment conçue par exemple sous la forme de la téléopération ou de développement d'interfaces. Dorénavant, l'homme et le robot partagent l'espace, la tâche et la décision. Ceci nécessite des fonctions évoluées et nouvelles pour le robot: perception de l'homme et de son activité, action physique partagée et/ou en synergie avec l'homme, décision interactive et partagée. S'ajoutent également les contraintes de la sécurité, de l'acceptabilité et de la lisibilité (par l'homme) des intentions, décisions, et actions du robot. Cet axe a donc pour vocation de traiter des problèmes fondamentaux de la cognition artificielle, d'en comprendre les facteurs et d'en développer les ingrédients, et de traiter du problème de l'interaction Homme-Robot dans toute sa complexité.

Les travaux concernant l'interaction Homme-Robot portent d'une part sur la perception multi-modale de l'homme, de ses gestes et postures (face, gestes déictiques, attitudes) dont l'interprétation s'appuie sur des modèles de l'Homme et de ses actions dans un contexte déterminé. D'autre part, la décision conjointe amène à l'étude de modèles de décision et de l'action de l'homme, de ses préférences et comportements dans le contexte des tâches à réaliser. Il s'agit surtout ici du développement des modèles d'interaction au niveau de la tâche avec un raisonnement abstrait sur les objectifs et les capacités d'action. Ces travaux sont en particulier illustrés dans le contexte important de l'interaction physique et la manipulation coopérative proximale homme-robot incluant la manipulation mobile, avec un grand nombre de degrés de liberté et la prise en compte de l'ensemble du corps du robot, en particulier pour un robot humanoïde, et sa dynamique. Cette problématique nous a amené aussi à nous intéresser à la question de la sûreté de fonctionnement des systèmes autonomes.

L'interprétation de scènes à fort contenu sémantique (lieux, objets, activités humaines...) s'appuie sur la construction de modèles à partir de perception 3D, avec des modalités sensorielles différentes et leur fusion en utilisant des techniques probabilistes pour la modélisation et l'interprétation.

Un troisième aspect important de cet axe est l'étude d'architectures cognitives intégrant le dialogue, l'apprentissage, la prise en compte des contraintes de sécurité et de lisibilité des actions et des décisions du robot. Les problèmes d'apprentissage en continu d'une part et d'action dans un environnement très dynamique, et à fort contenu sémantique d'autre part, conduisent à un lien fort entre l'interprétation de situations, la réactivité, la planification et la prise de décision, avec un raisonnement temporel prenant en compte la dynamique du système. L'apprentissage automatique (supervisé ou non supervisé) de concepts (espace, objets, situations), et de tâches (navigation, manipulation, action conjointe homme-robot) s'appuie sur des techniques neuronales et sur celles de l'apprentissage bayésien.

Mouvement humain

L'objectif de cet axe est de 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. Cet axe étudie trois thèmes liés. D'une part le mouvement artificiel et la robotique humanoïde, en conjonction avec le JRL, avec l'objectif de doter les plateformes de robots humanoïdes d'autonomie d'actions en développant des systèmes de planification et de contrôle automatique de mouvements. D'autre part, il traite du mouvement virtuel et celui des mannequins numériques avec l'objectif de simuler le mouvement

humain dans des maquettes numériques. La problématique est ici dominée par le rendu réaliste du mouvement alors que se trouvent en partie relaxées les contraintes de l'interaction physique avec un monde réel. Ce thème s'appuie sur des techniques de capture de mouvements à partir desquelles doivent s'élaborer des bibliothèques de comportements. Finalement cet axe étudie le mouvement naturel de l'homme, dans un cadre pluridisciplinaire robotique-neurosciences, pour explorer les bases sensori-motrices du mouvement humain. Il s'agit de dégager les invariants du mouvement du corps humain qui est un système mécanique hautement redondant à grand nombre de degrés de liberté, à partir de l'analyse de tâches diverses (locomotion, saisie...) et d'étudier leurs couplages avec la perception.

Algorithmique du mouvement moléculaire

Les macromolécules biologiques sont des objets complexes dont l'étude représente un enjeu scientifique majeur pour la compréhension du vivant. En particulier, la connaissance de la structure tridimensionnelle et des changements conformationnels de protéines est essentielle pour inférer leur fonction biologique qui repose sur l'arrimage avec des molécules présentant une complémentarité géométrique et physico-chimique. Face à l'explosion récente des données issues de la génomique, il est aujourd'hui indispensable de développer des méthodes algorithmiques performantes pour la prédiction de structures 3D de protéines, de leurs déformations et des interactions moléculaires. Ces problèmes se heurtent à la complexité des objets mis en jeu ainsi qu'à la difficulté d'introduire la flexibilité des macromolécules dans les approches de modélisation prédictive, basées sur des modèles énergétiques complexes.

L'objectif de cet axe est l'étude de ces objets moléculaires par une algorithmique robotique qui, grâce à une vision géométrique des forces moléculaires, permette d'accéder de manière globale aux mouvements et déformations mis en jeu, largement hors de portée des techniques actuelles de simulation moléculaire. Les problèmes traités concernent le calcul et la représentation des changements conformationnels de segments protéiques très flexibles (boucles), point d'achoppement au développement de méthodes fiables de prédiction de structures protéiques "ab initio" ou la prédiction des interactions protéines-ligand, voire de l'arrimage entre macromolécules (e.g. de type protéine-ADN), avec prise en compte des adaptations conformationnelles lors de l'interaction.

Les travaux concernent principalement les thèmes de la modélisation et de la planification de mouvement de mécanismes poly-articulés. Le groupe développe des "briques" algorithmiques performantes pour les calculs géométriques (p.ex. tests de collision/distances entre milliers d'atomes), et traite des problèmes de la modélisation de mécanismes complexes avec contraintes de fermeture cinématique, de la planification de mouvements contraints (voire d'assemblage) dans des espaces hautement dimensionnés, de l'étude du couplage entre planification sous contraintes géométriques et cinématiques, de la prise en compte des contraintes dynamiques (techniques de déformation de trajectoires afin d'optimiser les mouvements du point de vue énergétique), et de la planification de tâches de manipulation pour des modèles d'interaction plus complexes mettant en jeu l'action simultanée de plusieurs molécules.