

## JNRR'09 – Session : Contrôle moteur et neurorobotique

### 1. Modèles neurobiologiques de contrôle moteur et commande des robots humanoïdes

Emmanuel Guigon<sup>1</sup>, Tran Minh Tuan<sup>2</sup>, Philippe Souères<sup>2</sup>, Michel Taïx<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ISIR-CNRS, Université Pierre et Marie Curie, Paris

<sup>2</sup> LAAS-CNRS, Université Paul Sabatier, Toulouse

#### *Résumé :*

Le développement de robots humanoïdes est un enjeu technologique (e.g. occupation de postes de travail humain) et sociétal (e.g. aide à la personne) important. Un problème-clé est le contrôle du mouvement, c'est-à-dire la capacité à les doter de facultés de déplacement propres à la réalisation de tâches spécifiques (e.g. atteinte d'un objet, locomotion). Les techniques classiques de l'automatique offrent des solutions robustes à ce problème (e.g. suivi de trajectoire garantissant la satisfaction de contraintes additionnelles) mais qui n'ont pas la flexibilité des réponses humaines. L'idée d'une approche « bio-inspirée », qui pourrait rendre les robots mieux adaptés à leur environnement, n'est pas nouvelle. En particulier, elle est très présente dans le domaine de la robotique cognitive, mais reste cependant peu développée dans celui la commande du mouvement. Dans un travail récent, nous avons testé l'application de principes biologiques (en particulier principe d'optimalité), issus de l'étude du contrôle moteur humain, au contrôle du robot humanoïde HRP2. Nous avons montré que ces principes permettaient de produire des mouvements fluides, présentant certaines caractéristiques fondamentales du mouvement humain, pour un système à 7 degrés de liberté (ddl) (membre supérieur et torse). Ces résultats préliminaires sont encourageants, mais réclament une exploration plus approfondie. Après une présentation détaillée des principes biologiques du contrôle moteur, nous discuterons de leur application au contrôle de structures articulées à grand nombre de ddl, au contrôle en ligne du mouvement, et au contrôle simultané de la posture et du mouvement dans le cadre de la robotique humanoïde.

#### *Biographie :*

**Emmanuel Guigon** est chercheur dans l'équipe Perception et Mouvement de l'Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (ISIR/CNRS, Paris). Ancien membre de l'unité INSERM ANIM, ses travaux sont centrés sur l'approche biologique et computationnelle du contrôle moteur humain. Dans le cadre de son nouveau rattachement à l'ISIR, il s'intéresse à l'application de principes biologiques au contrôle des robots humanoïdes.

**Tran Minh Tuan** est doctorant dans le groupe Gepetto du LAAS, son travail de thèse concerne l'utilisation de modèles biologiques pour la commande du geste d'atteinte des robots humanoïdes.

**Philippe Souères** est directeur de recherche CNRS dans le groupe Gepetto du Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS-CNRS) de Toulouse. Ses travaux concernent des approches complémentaires du problème de commande du mouvement (modélisation, commande optimale, commande référencée capteur, planification de mouvements, estimation d'état, perception visuelle et sonore), avec application à la robotique à roues, aux drones et plus récemment à la robotique humanoïde. Depuis plusieurs années, son intérêt pour la commande des systèmes anthropomorphes le conduit à travailler en collaboration avec des neurophysiologistes, spécialistes de la perception de l'espace et du contrôle moteur de l'homme et du primate, dans le cadre de projets de recherche interdisciplinaires.

**Michel Taïx** est maître de conférences à l'Université Paul Sabatier et membre du groupe de recherche Gepetto du LAAS-CNRS à Toulouse. Il a obtenu sa thèse de doctorat en 1991 sur la problématique de la planification de trajectoire pour des robots non-holonomes. Ses recherches actuelles portent sur différents aspects liés au mouvement, que ce soit au niveau de la planification de trajectoires dans un contexte interactif ou pour l'application de modèles neuro-biologique pour le contrôle du mouvement.

## 2. « Boucles visuo-motrices bio-mimétiques pour le pilotage automatique de micro-aéronefs »

Franck RUFFIER

Institut des Sciences du Mouvement, Biorobotique  
CNRS & Univ. de la Méditerranée CP938, 163 av. de Luminy  
13288 Marseille Cedex 09  
04.91.82.83.66      franck.ruffier@univmed.fr

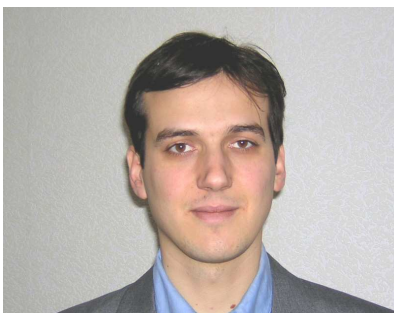
### *Résumé :*

Pour construire un appareil volant autonome de masse inférieure à 100 grammes, il est judicieux de s'inspirer des aéronefs naturels – les oiseaux, les chiroptères et les insectes ailés – car ils suggèrent des solutions intéressantes aux problèmes spécifiques liés à cette échelle miniature.

Les insectes ailés ont résolu des problèmes ardues de stabilisation, de pilotage, d'évitement d'obstacles, de navigation, d'odométrie et d'atterrissage automatique, problèmes sur lesquels bute encore la robotique d'aujourd'hui. Des principes extraits de ces guidages efficaces peuvent apporter à la robotique des idées innovantes qui présentent le mérite d'avoir été testées sur des millions d'années. Nous savons depuis 68 ans que les insectes ailés réagissent visuellement aux mouvements relatifs du sol causés par leur propre mouvement [1]. De façon surprenante, cet indice visuel naturel, plus récemment nommé « flux optique » [2], n'a pas encore envahi le champ de l'aéronautique, alors même que les capteurs et les traitements mis en œuvre par les insectes et leur comportement commencent à être connus quantitativement [3-11].

Accorder quelque autorité à un micro-aéronef est une tâche difficile : en particulier pendant le décollage, l'atterrissage ou en présence de vent. Construire un aéronef de quelques dizaines de grammes équipé d'un pilote automatique demande une approche innovante. C'est une approche résolument tournée vers les insectes ailés qu'ont choisie de nombreux auteurs pour le décollage, le contrôle de la vitesse, l'évitement d'obstacles, la réaction au vent ou encore l'atterrissage [12-34].

### *Biographie :*



Franck Ruffier

a reçu son diplôme d'ingénieur en Informatique, Electronique et Automatique de l'INP Grenoble. Il passa un an comme étudiant en échange dans le département d'automatique à Lund en Suède en 1999. En 2000, il rejoint l'équipe de Biorobotique du CNRS à Marseille pour préparer sa thèse : il reçut le diplôme de doctorat de l'INP Grenoble en septembre 2004.

Franck Ruffier réalise des expériences comportementales pour mieux comprendre le pilotage des insectes, conçoit de nouvelles stratégies de pilotage basées sur la vision du mouvement et réalise des micro-robots aériens autonomes.

Franck Ruffier est actuellement chargé de recherche CNRS dans l'équipe Biorobotique de l'Institut des Sciences du Mouvement (CNRS/Univ. de la Méditerranée) à Marseille.

### 3. Contrôle d'impédance dans les interfaces cerveau-machine

Rodolphe Héliot<sup>1,2</sup> et Jose M. Carmena<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Sciences

<sup>2</sup>Helen Wills Neuroscience Institute

<sup>3</sup>Program in Cognitive Science

University of California, Berkeley, CA 94720, USA

#### *Résumé :*

Les interfaces cerveau-machine visent à contrôler un dispositif artificiel (bras robot ou curseur sur une interface graphique, par exemple) à l'aide de signaux biologiques enregistrés dans le cerveau. Une interface cerveau-machine motrice se compose classiquement de quatre éléments : un dispositif pour enregistrer l'activité neurale, un algorithme transformant cette activité en signaux de commande, un système à contrôler, et un mécanisme qui informe l'utilisateur de l'état de ce système. A partir d'enregistrements intra-corticaux, nous nous sommes penchés sur l'apport des modèles dynamiques dans les algorithmes de transformation de l'activité neurale en plan moteur.

Précisément, nous avons montré qu'il est possible d'extraire de l'activité neurale, en plus de la cinématique du mouvement désiré, des informations concernant la dynamique de ce mouvement. Pour cela, nous utilisons un modèle musculo-squelettique du bras dont les variables d'entrée sont les excitations musculaires. Il est alors possible d'en déduire simultanément des informations de position et de raideur ; la modélisation du système musculo-squelettique assure la cohérence physique de ces deux estimations. Une procédure de contrôle optimal visant à inverser le modèle dynamique a été mise en place pour permettre un apprentissage. A terme, nous espérons que des neuroprothèses intégrant un contrôle d'impédance seront plus fiables dans des environnements quotidiens.

#### *Biographie :*



**Rodolphe Héliot** a reçu son diplôme de l'École Supérieure d'Électricité (Supélec) en 2004, en s'étant spécialisé dans les architectures et l'intégration en électronique. Il a également reçu la même année son Diplôme d'Etudes Approfondies de l'Université de Rennes I, dans la spécialité Architecture Logicielle et Matérielle des Systèmes. Il reçoit son diplôme de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble en 2007, école doctorale Électronique, Électrotechnique, Automatique et Traitement du Signal, spécialité traitement du signal. De Janvier 2008 à Juillet 2009, il était post-doctorant à l'Université de Californie, Berkeley, dans le département Electrical Engineering and Computer Sciences, ainsi que dans l'institut de Neurosciences Helen

Wills.

Ses thématiques de recherche explorent les liens entre les systèmes électroniques et les systèmes biologiques, notamment le système nerveux. En particulier, ses travaux visent à appliquer des outils de l'automatique et de la robotique dans des applications de restauration fonctionnelle pour les personnes handicapées.