

Proposition d'ARC INRIA

# H-Vis : Vision, navigation et actions intentionnelles des robots humanoïdes

EPI INRIA Bipop, Bunraku, e-Motion, Lagadic,  
groupe Gepetto Laas-CNRS

Correspondant :  
Éric Marchand, EPI Lagadic (INRIA Rennes - Bretagne Atlantique)

## 1 Introduction

L'objectif de ce projet est l'étude des liens entre le processus de perception visuelle et la commande du mouvement d'humanoïdes exécutant des tâches variées en environnement ouvert et dynamique. Plus précisément, nous souhaitons étudier la génération des mouvements de l'ensemble du corps d'un humanoïde à partir de ses capteurs de vision. Par humanoïdes, nous considérerons dans ce projet aussi bien des avatars virtuels que des robots humanoïdes. Les mouvements que nous souhaitons contrôler concernent les mouvements de la tête (et éventuellement des yeux), pour se focaliser et suivre un objet en déplacement, les mouvements des jambes et du torse pour assurer des phases d'approche par rapport à un objet (ces mouvements incluant évidemment des mouvements de marche), et finalement les mouvements d'un ou de plusieurs bras pour assurer des tâches de saisie d'objet, l'ensemble de ces mouvements devant être gérés simultanément.

L'originalité de ce projet vient du fait que nous souhaitons pouvoir générer ces mouvements en fonction d'informations visuelles sans connaissance *a priori* sur la structure de la scène et sur la position relative et les mouvements éventuels des objets par rapport au robot humanoïde. Exprimer les tâches de déplacement, focalisation, suivi, ou même de préhension dans l'espace visuel est une approche anthropomorphique naturelle que nous souhaitons explorer. Ceci pose cependant le problème de la génération de mouvements pour l'ensemble du corps tout en assurant l'équilibre du robot pendant l'exécution de la tâche.

**Asservissement visuel des humanoïdes** L'approche classique permettant d'utiliser conjointement toutes les parties (hautes et basses) d'un humanoïde repose sur des techniques de planification (voir, par exemple, [15]). L'utilisation des techniques d'asservissement visuel [8] devrait permettre, dans une certaine mesure, de doter l'humanoïde d'un comportement plus réactif. On pourra aussi envisager d'inclure des fonctions de décision/planification en ligne opérant en temps réel en fonction des connaissances courantes sur l'état de l'environnement et de la tâche en cours. Ceci implique de coupler des fonctions de planification en ligne (par exemple de type "Partial Mo-

tion Planning” [24]) avec des fonctions permettant de faire une ”Estimation/ Prédiction” sur l’état de l’environnement dynamique [30]).

**Des robots humanoïdes aux avatars** Les liens entre la robotique et la réalité virtuelle sont nombreux et anciens (planification des mouvements d’entités virtuelles, animation d’humanoïde reposant sur les techniques de cinématique directe ou inverse, simulation de systèmes dynamiques, assistance à la téléopération). L’un de nos objectifs sera donc d’étudier la manière dont on peut appliquer les techniques d’asservissement visuel au problème du contrôle d’un humanoïde virtuel. En mettant à profit les travaux réalisés dans le domaine de la robotique, l’asservissement visuel apparaît comme une solution efficace pour gérer le problème du déplacement d’entités virtuelles, caméras, avatar ou humanoïdes, dans des mondes virtuels en proposant à l’animateur une nouvelle modalité d’interface plus “intuitive” avec le monde virtuel en ne spécifiant plus une tâche dans l’espace 3D mais en spécifiant dans l’image produite la position des différents objets, charge au système de prendre en compte en temps-réel les différentes contraintes sous-jacentes et de définir la position ou la trajectoire adéquate de la caméra ou des yeux de l’avatar.

## 2 Axes de recherche

### 2.1 Asservissement visuel de l’humanoïde

L’asservissement visuel [8, 9, 10, 2] consiste à contrôler les mouvements d’un système dynamique en utilisant les informations fournies par une ou plusieurs caméras (ou plus généralement un capteur de vision). L’approche consiste à spécifier une tâche (en général une tâche de positionnement ou de poursuite) comme la régulation *dans l’image* d’un ensemble de caractéristiques visuelles. L’une des qualités intéressantes de cette approche est que, si l’information utilisée est principalement 2D, les mouvements du système sont générés en 3D.

**Stratégies de commande** Nous considérerons dans cette première partie le problème de la commande d’un humanoïde ou d’un avatar pour des tâches de manipulation d’objets. De prime abord, ce sont avant tout les yeux (la caméra) qui jouent le rôle le plus important : ce sont eux qui orientent le regard. Le cou, le torse et le reste du tronc (c’est-à-dire l’ensemble de la colonne vertébrale) font aussi partie de ce processus. Finalement, les bras sont à commander en fonction des informations perçues dans les images. Plusieurs raisons justifient l’emploi de techniques d’asservissement visuel pour la commande d’un humanoïde : simplification des paramètres d’entrée, mimétisme avec la perception humaine dans la spécification de ces entrées, adaptation dynamique et temps réel du système dans des environnements inconnus (grâce à une boucle fermée intégrant des retours du monde réel).

Évidemment, dans le cas d’un humanoïde, les contraintes à respecter tout en assurant la réalisation de la tâche sont nombreuses (gestion des butées et des éventuelles singularités), de l’équilibre (centre de masse et ZMP),... Assurer une meilleure coexistence, dans une même tâche, de différentes contraintes n’est pas un problème simple. Un processus de hiérarchisation des tâches afin de pouvoir effectuer des projections en cascade [1] ou encore la notion de pile de tâche [19] sont des solutions élégantes à ce problème. En considérant la commande des bras, on se place dans le cas d’un asservissement visuel déporté. Ce type de configuration a été très peu étudié même dans le cas de la robotique classique “non-humanoïde”. Des aspects de modélisation seront donc à étudier.

En fonction de la tâche choisie et des mesures associées disponibles dans l'image, il s'agit de déterminer les informations visuelles optimales à utiliser en entrée de la loi de commande. Afin d'obtenir un bon comportement aussi bien dans l'image que dans l'espace de configuration du robot, il faut en effet déterminer des informations visuelles découplées et le moins non-linéaires possibles. De plus, nous aurons à étudier la problématique de la projection de consigne puisque le capteur est, dans ce cas, mobile.

**Stratégies d'actions au niveau tâche** La préhension d'un objet requiert au préalable le calcul de postures d'atteinte favorisant stabilité, manipulabilité et visibilité de l'objet à saisir. La stabilité et la manipulabilité peuvent être évaluées en considérant uniquement la position du robot ou sa position relative à l'objet ; en particulier, les configurations proches des singularités doivent être évitées. La visibilité de la zone de manipulation doit être évaluée en prenant en compte les occultations causées par les obstacles de l'environnement, l'objet manipulable ou les membres du robot eux-mêmes. Une étape de planification est donc requise pour cette évaluation. Cette étape déterminera enfin l'accessibilité des postures d'atteintes calculées depuis la position courante du robot par une séquence de mouvements élémentaires. Le problème de la planification du mouvement est ici particulier car la représentation de l'environnement utilisée pour cette étape découle de la perception de l'humanoïde. Les déplacements nécessaires pour l'atteinte de la posture de préhension fait l'objet de l'axe de recherche décrit dans la partie suivante.

L'utilisation d'avatars pour l'étude du contrôle visuel d'un l'humanoïde permet de s'affranchir du processus de perception. En effet, une vision synthétique permet de simuler cette perception. Elle consiste à filtrer l'accès aux données géométriques de l'environnement et des objets qu'il contient en simulant, par exemple, un cône de vision dont les propriétés sont liées à la configuration de la tête et des yeux de l'avatar. Par ailleurs, au-delà de la géométrie des objets observés, une information supplémentaire peut-être accessible à l'avatar en utilisant le concept d'"affordance". Cette information contient une description de l'ensemble des actions que l'avatar peut réaliser en interagissant avec l'objet. Cette description est directement interprétée par l'avatar sous forme de mouvements pour la réalisation de l'action choisie parmi celles offertes par l'affordance. L'intérêt d'utiliser les avatars dans le cadre de notre projet est alors multiple. Tout d'abord, nous contribuons au domaine de l'Animation Graphique en incluant des contraintes d'attention visuelle pour l'avatar lors de la synthèse de ses mouvements. Cela permet aussi de valider le contrôle de l'attention visuelle d'un robot humanoïde tout en s'affranchissant de nombreuses contraintes expérimentales telles que la perception visuelle ou les calculs de mouvements de préhension.

*Ces actions seront conduites principalement par les EPI Bunraku et Lagadic*

## **2.2 Commande du déplacement de l'humanoïde**

Si l'on considère l'attention visuelle au niveau tâche, il apparaît que la simple cinématique du buste, de la tête et des yeux de l'humanoïde ne suffit pas. Plusieurs mécanismes sont mis en jeu, dont notamment la locomotion, ou d'autres gestes comme s'accroupir, etc.

Contrairement aux approches fondées sur la planification, il existe peu de travaux utilisant des tâches référencées vision autre que pour le contrôle de l'équilibre. On peut tout de même citer [32] qui propose une solution pour positionner le pied d'un robot marcheur par asservissement visuel et [5] qui, dans le contexte de l'animation, propose de contrôler le mouvement d'un avatar par

asservissement visuel mais où les mouvements de marche sont générés par motion capture. De nombreux travaux se sont par contre intéressés à des tâches de manipulation en utilisant uniquement la partie haute du corps du robot [3, 29, 18]. Ces travaux restent cependant à généraliser en considérant un humanoïde complet.

Plus récemment, Nicolas Mansard a proposé d'utiliser la notion de pile de tâches pour générer simplement un contrôle de l'ensemble du corps du robot [20]. La tâche retenue était une tâche de manipulation/saisie d'un objet en mouvement lors de la marche de l'humanoïde. Les mouvements induits par la marche (générés par l'algorithme du *Pattern generator* [12]) sont directement pris en compte par la pile de tâche et compensés pour éviter qu'ils ne perturbent la tâche de manipulation.

Dans l'optique du développement d'un module de navigation dans un environnement a priori inconnu, il apparaît souhaitable de pouvoir disposer d'un module permettant l'exploration et la reconstruction de l'environnement. Nous nous intéresserons donc évidemment aussi aux processus de perception, de vision intentionnelle, et de contrôle de l'attention.

**D'une locomotion planifiée à une locomotion réactive** La génération de mouvements de marche stable constitue un problème de commande sous contraintes dynamiques d'inégalités, ces contraintes s'exprimant sur les forces de contact entre l'humanoïde et son environnement [31]. Ce problème est résolu à l'heure actuelle en deux étapes, une étape de génération d'une trajectoire satisfaisant ces contraintes, et une étape de stabilisation locale de cette trajectoire par une loi de commande de suivi de trajectoire classique de type hybride en force et position [12, 13]. Les méthodes utilisées à ce jour supposent dès lors que le mouvement de marche soit en permanence connu et planifié au moins un pas à l'avance. Diverses méthodes de modification en ligne de la trajectoire planifiée ont été proposées afin de réagir à des perturbations ou des requêtes non planifiées, mais sans obtenir à ce jour une robustesse et une généralité satisfaisantes [22, 23, 16]. Il s'agira d'étendre ces techniques pour autoriser une locomotion réactive, c'est-à-dire directement contrôlée en vitesse (linéaire et angulaire). Cette fonction doit non seulement permettre une plus grande réactivité à des changements de l'état de l'environnement (évitement local d'obstacles) mais également prévoir des fonctions d'arrêt d'urgence. Nous envisageons également de prendre en compte la variabilité de l'environnement (obstacles mobiles en particulier) ainsi que l'incertitude associée. Ceci nécessite d'appliquer une méthode de planification itérative temps réel opérant sur la base d'une estimation continu de l'état de l'environnement et de la tâche. Nous proposons d'étudier comment le principe PMP (Partial Motion Planning) [24] peut s'adapter et s'étendre dans le cas d'un robot humanoïde.

La plupart des techniques existantes en planification et contrôle de mouvement niveau tâches pour les systèmes redondants reposent sur des opérateurs de cinématique ou de dynamique inverse généralisée. Du fait du sous-actionnement de la locomotion, ces opérateurs font l'hypothèse que le robot garde une base fixe ou que la base suit une trajectoire prédéfinie. Il s'agira d'étendre ces techniques pour intégrer plus étroitement (c'est à dire sans présupposer une décomposition fonctionnelle du corps) la locomotion comme partie intégrante de la tâche, quelle qu'elle soit. Des premiers travaux dans ce sens ont été développés [33]. Ils reposent sur un contrôle de la forme du polygone de sustentation au niveau de la planification de la tâche. Sur la base de ces premiers résultats, il s'agira de passer du mode planifié à un mode réactif, l'enjeu étant en particulier l'amélioration des performances en temps de calcul.

Un des objectifs de cette ARC est de générer un mouvement de marche qui puisse être asservi en continu, par exemple en fournissant une consigne donnée dans un repère attaché à la partie haute de l'humanoïde, lié à l'exécution de tâches de vision ou de manipulation. L'hypothèse de

planification d'au moins un pas à l'avance apparaît alors comme une contrainte forte qui doit être assouplie. Se pose en plus la question de l'interaction entre des problèmes ayant des constantes de temps, et des comportements dynamiques très différents : d'un côté, l'asservissement visuel est généralement réalisé en cinématique pure, en faisant abstraction des effets dynamiques, alors que la locomotion est un problème qui ne peut se réduire à de la cinématique pure. De l'autre côté, l'alternance de pas qui constitue la locomotion bipède induit une cyclicité qui ne peut être entièrement abolie et qui n'est pas forcément désirable dans l'exécution de tâches complexes.

La mise en place de cette interaction entre asservissement et locomotion devra notamment pouvoir prendre en compte les incompatibilités qui ne manqueront pas de se produire, par exemple lorsque la tâche à réaliser pousse l'humanoïde à aller dans une direction dans laquelle ses jambes ne peuvent pas le mener, du moins dans l'instant. De ce point de vue, le rôle joué par le concept de pile de tâche pourra être amené à se développer.

*Ces actions seront conduites sur la base d'une coopération entre Bibop, Gepetto et e-motion.*

**Navigation dans un environnement ouvert et dynamique** Les techniques de commande qui seront développées dans le cadre de ce projet reposeront sur l'utilisation de capteurs de vision. Les techniques d'asservissement visuel requièrent l'extraction d'information de l'image. Ces informations peuvent être de nature 2D ou 3D. Dans l'optique du développement d'un module de navigation dans un environnement a priori inconnu, il apparaît souhaitable de pouvoir disposer d'un module permettant l'exploration et la reconstruction de l'environnement ainsi que la localisation du robot humanoïde dans celui-ci.

L'un de nos objectifs sera donc de résoudre simultanément le problème de l'odométrie visuelle et de la reconstruction de l'environnement (SLAM) ce qui revient à estimer conjointement le mouvement 3D des "yeux" de l'humanoïde et la position 3D des informations visuelles extraites de l'image [7, 25]. Aucun *a priori* n'est en théorie nécessaire pour résoudre ce problème même si, dans notre cas, le mouvement de la caméra est bien entendu sujet aux contraintes cinématiques et structurelles imposées au robot. Ces contraintes pourront être utilisées pour améliorer le processus de perception. Nous examinerons la possibilité d'intégrer les données visuelles avec celles fournies par les capteurs inertiels (par exemple, des gyroscopes, IMU, encodeurs).

Le champ de vision des caméras classiques étant relativement limité, nous envisageons l'utilisation de caméra omnidirectionnelle ou d'objectif de type fish-eye. En réduisant l'influence des occultations, en augmentant la quantité d'information disponible et le temps pendant lesquelles cette information est disponible, l'utilisation de ce type de caméra permettra un suivi et donc une localisation plus robuste de l'humanoïde dans son environnement. *A contrario*, ces capteurs offrent une résolution non uniforme qui requièrent des adaptations importantes des algorithmes de sélection, de mise en correspondance spatio-temporelle et de localisation. Nous souhaitons donc aborder de nouvelles stratégies de sélection (le processus de contrôle de l'attention visuelle évoqué dans le paragraphe suivant prend ici toute sa mesure) et de suivi spatio-temporel de l'information visuelle.

Le dernier point concerne l'extension des techniques précédentes au cas d'un environnement dynamique et ouvert. Dans ce cas, le robot possède quelques connaissances *a priori* sur son environnement statique, mais les autres informations portant sur les modifications locales et sur les obstacles mobiles sont acquises en ligne par la perception. Ces informations sont par nature évolutives, et elles sont de ce fait soumises à des contraintes d'incertitude qu'il faut prendre en compte dans les

fonctions de navigation. Nous proposons d'appliquer pour cela une approche de type Bayésienne, basée sur le concept de "Bayesian Occupancy Filter" [6] et sur celui de prédiction de mouvements [30, 17, 28]. L'approche vise à faire à chaque instant et en temps réel une estimation et une prédiction des évolutions futures de l'état de l'environnement, en exploitant pour cela l'historique des observations, les données capteur courantes, et des connaissances apprises sur le comportement dynamique moyen des entités observées.

*Ces actions seront conduites principalement par les EPI e-motion et Lagadic*

**Contrôle de l'attention** Enfin, il est souhaitable de définir des stratégies d'action des humanoïdes en fonction de leur attention visuelle afin d'accroître leur autonomie d'évolution et, dans le cas d'avatars, leur degré de crédibilité.

Les travaux sur la simulation de la perception visuelle (eg, [11]) semblent constituer une piste de recherche intéressante pour le choix automatique des éléments visuels à observer. Les informations saillantes peuvent être extraites en utilisant d'une part des filtres de Gabor qui modélisent relativement bien le comportement de la rétine [21], des estimateur de mouvement robuste utilisé pour la détection des zones saillantes au sens du mouvement ou encore des information sur la profondeur, la couleur, etc. Des travaux initiés dans un contexte de réalité virtuelle [4] ou même dans le domaine du contrôle de robots humanoïdes ont montré la richesse de ce type d'approche [26, 27] pour la détection puis la focalisation sur des zones riches en information spatiale ou spatio-temporelle. La fixation sur ce type de régions (dans l'espace image) est l'une des clé de l'autonomie de ce type de robot. On pourra ainsi envisager de réaliser des tâches intégrant des processus d'exploration, de découverte, de reconnaissance puis d'approche et enfin de saisie d'objets fixes ou mobiles.

Enfin, l'un des objectifs de cette ARC est de définir des stratégies d'action des avatars en fonction de leur perception afin d'accroître leur autonomie d'évolution et leur degré de crédibilité. Concernant les déplacements, l'objectif est de donner plus de réalisme aux actions produites en sélectionnant pour l'humanoïde automatiquement et selon des critères psychovisuels les points de fixation. Pour cela, les objets composant un environnement doivent offrir aux avatars des informations sur la façon de se comporter pour réaliser telle ou telle tâche (principe de "affordances").

*Ces actions seront conduites principalement par les EPI Bunraku et Lagadic*

### 3 Validation et valorisation

Les validations expérimentales des recherches issues de ce projet seront réalisées d'une part en simulation sur les plates-formes logicielles du projet Bunraku (MKM<sup>1</sup>), Lagadic (ViSP<sup>2</sup>), sur la plate-forme logicielle du projet Bipop, Siconos-HuMANs<sup>3</sup>, sur le simulateur du robot HRP2 et d'autres part sur le robot HRP2 humanoïde dont dispose le LAAS.

Nous souhaitons aussi organiser un workshop associé à une conférence internationale de haut niveau (ICRA ou IROS) ayant pour objectif de confronter les résultats de l'ARC à ceux des

---

<sup>1</sup>MKM (Manageable Kinematic Motions) est un moteur d'animation pour humain virtuels basé captures de mouvement.

<sup>2</sup>ViSP est une plate-forme logiciel dédiée à l'asservissement visuel.

<sup>3</sup>Simulation and Control of Nonsmooth Systems - Humanoid Motion Analysis and Simulation

différentes équipes internationales travaillant sur ce sujet.

## 4 Équipes impliquées dans cette demande d'ARC

La section suivante présente succinctement les différents groupes de recherche impliqués dans cette demande d'ARC ainsi que les personnes qui seront impliquées. On retrouvera les équipes-projet suivantes :

- EPI Lagadic (INRIA Rennes-Bretagne Atlantique)
- EPI Bipop (INRIA Grenoble - Rhône Alpes)
- EPI Bunraku (INRIA Rennes-Bretagne Atlantique)
- EPI e-Motion (INRIA Grenoble - Rhône Alpes)

ainsi que le Groupe Gepetto du LAAS-CNRS à Toulouse.

### 4.1 Groupe Gepetto

Le groupe Gepetto du LAAS-CNRS se compose de trois chercheurs CNRS, un maître de conférence, deux chercheurs visiteurs de l'AIST et 13 doctorants. L'objectif scientifique du groupe est de contribuer à la compréhension et à la modélisation du mouvement pour des systèmes anthropomorphes, qu'ils soient artificiels (les robots humanoïdes), virtuels (les mannequins numériques), ou naturels (l'homme). Dans ce cadre, il s'agit d'étudier les bases intégratives et calculatoires des boucles sensori-motrices du mouvement, comme composante spatio-temporelle de l'action, par une approche basée sur les sciences et techniques de la robotique, principalement :

- le traitement du signal pour l'analyse du mouvement et la perception,
- l'automatique pour la commande des actions, et
- l'algorithmique pour les modèles d'actions et de comportement.

Seront impliqués dans cette ARC : J.P. Laumond (DR CNRS), F. Lamiroux (CR CNRS), P. Souères (CR CNRS), E. Yoshida (chercheur AIST), O. Kanoun (doctorant), S. Dalibard (doctorant), M. Tran (doctorant).

### 4.2 EPI Bipop

L'objectif de l'équipe-projet Bipop (<http://bipop.inrialpes.fr>) est de modéliser, contrôler, optimiser des problèmes non-lisses, et en particulier des systèmes dynamiques non-réguliers. Les systèmes mécaniques avec contact unilatéral, et en particulier les robots humanoïdes constituent une classe particulière de tels systèmes dynamiques, et donc un domaine d'application privilégié de ces travaux. L'équipe-projet Bipop a en particulier hérité du robot marcheur humanoïde Bip, issu des travaux de l'équipe éponyme.

Le chercheur impliqué dans ce projet est Pierre-Brice Wieber, CR1 INRIA.

### 4.3 EPI Bunraku

Le thème de l'équipe-projet Bunraku est la "*Perception, décision et action d'humains réels et virtuels au sein d'univers virtuels et l'impact sur le monde réel*". Les trois axes de recherche de l'équipe-projet sont : l'interaction multimodale avec les objets du monde, les langages de

scénarisation de sessions interactives et les humains virtuels autonomes expressifs. Un des objectifs de l'axe Humains Virtuels Autonomes vise à enrichir les possibilités d'interaction entre l'humain virtuel et son environnement.

Le chercheur impliqué dans ce projet est Julien Pettré (CR2 INRIA).

#### **4.4 EPI e-Motion**

L'objectif de l'EPI e-Motion est de développer des modèles géométriques et bayésiens en vue de l'autonomie de mouvement et d'action dans un environnement dynamique ouvert, i.e. dans un environnement perçu par des capteurs, en constante évolution, et soumis à des incertitudes diverses. Les axes de recherche principaux de l'équipe portent sur la perception multimodale d'un environnement dynamique, la reconstruction et la localisation dans cet environnement, la planification en ligne de mouvements en environnement dynamique, et l'inférence bayésienne pour la décision en présence d'incertitude. Les travaux de recherche sont validés sur une plate-forme expérimentale comportant des capteurs variés, un réseau de caméras, des véhicules autonomes de type Cycab, divers robots mobiles, et un simulateur robotique incluant des capteurs virtuels et une interface avec les véhicules autonomes.

Les chercheurs impliqués dans ce projet sont Christian Laugier (DR INRIA), Agostino Martinielli (CR INRIA), et 2 doctorants à temps partiel sur le sujet suivants les choix faits (Thiago Bellardi sur les aspects "apprentissage comportements et prediction", Chiara Fugnezi sur les aspects navigation en environnement dynamique).

#### **4.5 EPI Lagadic**

L'objectif de l'équipe-projet Lagadic (15 personnes, <http://www.irisa.fr/lagadic>) est de modéliser et d'élaborer des stratégies de perception et d'action autour des techniques d'asservissement visuel pour des applications dans tous les secteurs de la robotique, en vision par ordinateur, réalité augmentée et animation virtuelle. Nos axes de recherche principaux portent sur la modélisation d'informations visuelles optimales pour les différents capteurs de vision ; la spécification et la réalisation de tâches de haut niveau en environnement complexe ; la conception d'algorithmes de traitements d'images temps réel. LAGADIC dispose d'un parc robotique constitué d'un robot manipulateur, d'une cellule de vidéo-surveillance, d'un robot mobile, et d'un robot médical.

Les chercheurs impliqués dans ce projet sont Eric Marchand (CR1 Inria) et François Chaumette (DR2 Inria).

### **5 Moyens demandés, budgets**

Le budget missions est relativement important mais se justifie par des déplacements de relativement longue durée pour des expérimentations sur le robot HRP-2 du LAAS auquel s'ajoute des missions plus classiques, incluant l'organisation de journées de travail régulières. Nous pensons par ailleurs faire la demande de deux post-doc Inria sur les thématiques couvertes par cet ARC qui permettront de compléter les équipes. L'un sera localisé à Rennes (et travaillera conjointement avec les projets Lagadic et Bunraku) et l'autre à Grenoble. Ils effectueront des séjours au LAAS.



Missions	20000 €
Stage de Master	30000 €
Demande totale (hors postdoc)	50000 €
Post-doctorants (24 mois)	830000 €

## Références

- [1] P. Baerlocher and R. Boulic. Kinematic control of the mass properties of redundant articulated bodies. In *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'00*, pages 2557 – 2562, San Francisco, CA, April 2000.
- [2] F. Chaumette. Asservissement visuel. In W. Khalil, editor, *La commande des robots manipulateurs*, Traité IC2, chapitre 3, pages 105–150. Hermès, 2002.
- [3] J. Coelho, J. Piater, and R. Grupen. Developing haptic and visual perceptual categories for reaching and grasping with a humanoid robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 37(2-3) :195–218, November 2001.
- [4] N. Courty and E. Marchand. Visual perception based on salient features. In *IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS'03*, volume 2, pages 1024–1029, Las Vegas, Nevada, Octobre 2003.
- [5] N. Courty, E. Marchand, and B. Arnaldi. Through-the-eyes control of a virtual humanoid. In H.-S. Ko, editor, *IEEE Computer Animation, CA'01*, pages 74–83, Seoul, South Korea, November 2001.
- [6] C. Coué, C. Pradalier, C. Laugier, T. Fraichard, and Bessière P. Bayesian occupancy filtering for multitarget tracking : an automotive application. *Int. Journal of Robotics Research*, 25(1) :19–30, January 2006.
- [7] A. Davison, I. Reid, N. Molton, and O. Stasse. Monoslam : Real-time single camera slam. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(6) :1052–1067, 2007.
- [8] B. Espiau, F. Chaumette, and P. Rives. A new approach to visual servoing in robotics. *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 8(3) :313–326, June 1992.
- [9] K. Hashimoto, editor. *Visual Servoing : Real Time Control of Robot Manipulators Based on Visual Sensory Feedback*. World Scientific Series in Robotics and Automated Systems, Vol 7, World Scientific Press, Singapor, 1993.
- [10] S. Hutchinson, G. Hager, and P. Corke. A tutorial on visual servo control. *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, 12(5) :651–670, October 1996.
- [11] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11) :1254–1259, Nov 1998.
- [12] S. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, K. Fujiwara, K. and Harada, K. Yokoi, and H. Hirukawa. Biped walking pattern generation by using preview control of zero-moment point. In *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'03*, volume 2, pages 1620– 1626, September 2003.

- [13] S. Kajita, K. Yokoi, M. Saigo, and K. Tanie. Balancing a humanoid robot using backdrive concerned torque control and direct angular momentum feedback. In *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'01*, 2001.
- [14] J.J. Kuffner and J.C Latombe. Fast synthetic vision, memory, and learning models for virtual humans. In *Computer Animation'99*, pages 118–127, Genève, Suisse, May 1999.
- [15] J.J. Kuffner, K Nishiwaki, S. . Kagami, M. Inaba, and H. Inoue. *Robotics Research*, chapter Motion Planning for Humanoid Robots, pages 365–374. Springer, 2005.
- [16] F. Lamiraux, D. Bonnafous, and O. Lefebvre. Reactive path deformation for nonholonomic mobile robots. *IEEE Trans. on Robotics*, 20(6) :967–977, December 2004. King-Sun Fu Memorial Best Transactions on Robotics Paper Award 2004.
- [17] C. Laugier, D. A. Vasquez Govea, M. Yguel, and Aycard O. Fraichard T. Geometric and bayesian models for safe navigation in dynamic environments. *Intelligent Service Robotics*, 2007.
- [18] M. Lopes and J. Santos-Victor. Visual learning by imitation with motor representations. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Part B*, 35(3) :438–449, June 2005.
- [19] N. Mansard and F. Chaumette. Task sequencing for sensor-based control. *IEEE Trans. on Robotics*, 23(1) :60–72, February 2007.
- [20] N. Mansard, O. Stasse, F. Chaumette, and K. Yokoi. Visually-guided grasping while walking on a humanoid robot. In *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, ICRA'07*, pages 3041–3047, Roma, Italia, April 2007.
- [21] S. Marcelja. Mathematical description of the responses of simple cortical cells. *Journal of Optical Society of America*, 70 :1297–1300, 1980.
- [22] M. Morisawa, K. Harada, S. Kajita, K. Kaneko, F. Kanehiro, K. Fujiwara, S. Nakaoka, and H. Hirukawa. A biped pattern generation allowing immediate modification of foot placement in real-time. In *Int. Conf. on Humanoid Robotics*, 2006.
- [23] K. Nishiwaki, W.-K. Yoon, and S. Kagami. Motion control system that realizes physical interaction between robot's hands and environment during walk. In *Int. Conf. on Humanoid Robotics*, 2006.
- [24] S. Petti and T. Fraichard. Partial motion planning framework for reactive planning within dynamic environments. In *IFAC/AAAI Int. Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics*, Barcelona, Spain, September 2005.
- [25] Davide Scaramuzza, Agostino Martinelli, and Roland Siegwart. A flexible technique for accurate omnidirectional camera calibration and structure from motion. In *IEEE Int. Conf. on Computer Vision Systems, ICVS'06*, 2006.
- [26] J.F. Seara, O. Lorch, and G. Schmidt. Gaze control for goal-oriented humanoid walking. In *IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, 2001.
- [27] J.F. Seara, O. Lorch, and G. Schmidt. Information management for gaze control in vision guided biped walking. In *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS 2002*, pages 31–36, Lausanne, Switzerland, October 2002.
- [28] C. Tay and Laugier C. Modelling smooth paths using gaussian processes. In *Int. Conf. on Field and Service Robotics*, 2007.

- [29] G. Taylor and L. Kleeman. Flexible self-calibrated visual servoing for a humanoid robot. In *Australian Conference on Robotics and Automation*, pages 79–84, Sidney, Australia, November 2001.
- [30] D. A. Vasquez Govea, F. Large, T. Fraichard, and C. Laugier. High-speed autonomous navigation with motion prediction for unknown moving obstacles. In *IEEE-RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS'04*, pages 82–87, Sendai, Japan, October 2004.
- [31] P.-B. Wieber. On the stability of walking systems. In *Int. Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics*, 2002.
- [32] Y. Yamamura and N. Maru. Positioning control of the leg of the humanoid robot by linear visual servoing. In *IEEE/RAS Int. Conf. on Humanoid Robots*, pages 1–12, Los Angeles, USA, November 2004.
- [33] E. Yoshida, O. Kanoun, C. Esteves, and J.-P. Laumond. Task-driven support polygon humanoids. In *IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, Genova, Italy, 2006.