

# LABORATOIRE VISION ET ROBOTIQUE - LVR

UPRES EA 2078 de l'Université d'Orléans<sup>(1)</sup>, commune Université d'Orléans et Ensi de Bourges<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> LVR-IUT de Bourges, 63 av. de Lattre de Tassigny, 18020 BOURGES Cedex

<sup>(2)</sup> LVR-ENSI de Bourges, 10 bd Lahitolle, 18020 BOURGES Cedex

Le LVR possède un effectif de 30 enseignants-chercheurs permanents et 19 doctorants répartis sur 2 établissements et 4 sites. Les thématiques du LVR, situées dans les domaines de la recherche méthodologique et de la recherche appliquée, concernent : la robotique dans plusieurs de ses aspects (conception, perception, commande), le traitement du signal et de l'image pour la robotique et l'imagerie médicale, l'automatique comme outils pour la commande, l'identification, l'estimation d'état et la détection. Le laboratoire est structuré autour de 3 équipes :

- **Robotique** : perception de l'environnement, architecture pour l'autonomie des robots, robotique mobile à roues et à pattes, microrobotique, conception et commande de robots, téléopération.
- **Signal Image Vision** : traitement du signal et interprétation d'images, vision artificielle, reconstruction 3D.
- **Automatique** : observation, commande, surveillance, diagnostic et détection de défauts.

## L'équipe Robotique du LVR

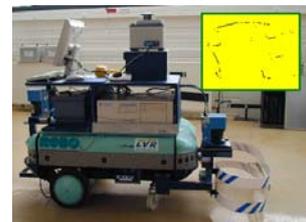
C'est au travers de deux axes : « Robotique Autonome » et « Robotique Téléopérée » que se déclinent les thématiques de cette équipe. Ces thématiques sont : perception de l'environnement et autonomie en robotique mobile, et robotique à pattes pour la partie « Robotique Autonome » ; conception et commande de robots, chaînes de téléopération, et microrobotique pour la partie « Robotique Téléopérée ». La vidéo « JNRR » présente 5 séquences illustrant les travaux menés sur ces thèmes.

### 1. Robotique autonome

Nous nous intéressons dans ce cadre aux techniques permettant d'accroître le degré d'autonomie des robots. Nous considérons en particulier les aspects ayant trait à la structure mécanique intrinsèque du robot, à la perception de l'environnement et aux architectures de commande. Sur le premier point, nous avons conçu et réalisé un robot omnidirectionnel possédant 3 essieux et des roues sphériques (Romni). Sa capacité cinématique d'omnidirectionnalité lui permet d'effectuer des trajectoires où les composantes sont complètement découplées, simplifiant par conséquent la couche « pilote » de l'architecture de commande. Sur le deuxième point, nous avons proposé une technique de génération de carte locale d'un environnement structuré et inconnu. Le processus d'élaboration de cette carte locale est modulaire et combine les étapes suivantes : l'agrégation des mesures acquises en sous-ensembles cohérents, la modélisation de ces sous-ensembles en primitives, la construction de la carte de l'environnement puis la mise à jour de cette carte (intégrant un transport et un vieillissement de la carte) grâce au rafraîchissement continu des mesures provenant des différents capteurs. Une fusion est pratiquée entre des mesures télémétriques et l'odométrie. Ce processus est rapide et suffisamment robuste pour fournir, en « temps réel » (rafraîchissement à 40 Hz), une carte locale sécurisée, autorisant les mouvements d'un robot mobile à roues dans un environnement structuré inconnu avec des obstacles mobiles.

Le robot est une plate-forme Robuter, instrumentée de 2 lasers à balayage (Sick). La solution informatique est développée autour d'un noyau RT Linux. Nous nous sommes attachés à proposer un enchaînement d'étapes découplées : pour chacune d'elles, la technique mise en œuvre ne contraint pas le choix du mode d'exécution des étapes suivantes dans le processus d'élaboration de la carte.

Le troisième point concerne la proposition d'une architecture de commande générique, modulaire et hiérarchisée. Nous avons exploité les couches basses de cette structure pour la navigation des deux plateformes. Elle permet également d'intégrer la télé-opération à différents niveaux, et de faire cohabiter des niveaux d'autonomie et des niveaux de téléopération.



## 2. Robotique mobile à pattes : Systèmes marcheurs

Le thème des systèmes marcheurs s'articule autour de deux problématiques complémentaires. La première a pour objectif d'émuler l'apprentissage de la marche chez les êtres humains et de montrer que des règles mécaniques simples suffisent pour générer des allures de marche stables et hautement dynamiques pour un système bipède. Par un processus d'apprentissage supervisé, il est alors possible d'obtenir les mêmes effets que ceux désirés obtenus par les règles mécaniques puis d'utiliser la capacité de généralisation des réseaux de neurones pour effectuer des transitions de vitesse, des transitions de l'arrêt vers la marche et des transitions de la marche vers l'arrêt.



Les algorithmes ont été validés par un simulateur réaliste du comportement dynamique du système pour différentes vitesses et 4 types de perturbations : changement de nature du sol avec perte d'adhérence, sol irrégulier avec des hauteurs variables non spécifiées à l'avance, frottements secs et visqueux dans les articulations, forces de poussée imprévues appliquées vers l'avant ou l'arrière du robot. La robustesse de l'approche a été validée expérimentalement d'avril à juin 2004 par le LVR sur le site de Grenoble puis à distance. Les résultats expérimentaux sont illustrés ici sur le robot sous-actionné RABBIT (ROBEA).

La seconde problématique, plus fondamentale, vise à remonter à la source de la locomotion en trouvant de manière théorique les critères générateurs qu'un système marcheur (être humain ou robot) doit optimiser pour assurer sa stabilité et sa propulsion pour un régime de vitesse donné. Etant donné les limites technologiques des actionneurs, l'ensemble des termes de la dynamique, l'état du système, les efforts externes perturbateurs qui lui sont appliqués, les couples articulaires, la situation du système par rapport aux butées articulaires, est déterminé l'intervalle admissible des efforts  $[ E_{\min} ; E_{\max} ]$  que peut fournir l'ensemble des membres à la plate-forme. Dans le cas où les efforts idéaux  $E_I$  à fournir à la plate-forme du système pour assurer le régime désiré appartiennent à  $[ E_{\min} ; E_{\max} ]$ , c'est que le système est capable d'assurer le régime désiré en termes de stabilité et de propulsion de la plate-forme. Il s'agit d'exploiter au mieux les efforts développés par les divers membres en présence et d'évaluer la contribution actuelle et potentielle de chaque jambe pour assurer le régime désiré. Ce critère permet de déterminer, à un instant donné, quel membre doit être en contact et quel membre doit être en transfert. Les transitions d'état entre double et simple support ne sont plus alors fonction que de l'état du système et complètement indépendantes du temps. Les règles pragmatiques utilisées en première approche ne sont plus que les effets désirés des critères générateurs développés dans la seconde.

## 3. Télé-Micromanipulation Multimodale Assistée par la Réalité Virtuelle

L'activité microrobotique de l'équipe est axée sur la téléopération à l'échelle micro, voire nanométrique. Un système de télé-micromanipulation assisté par des interfaces multimodales a été élaboré pour la supervision de tâches de micromanipulation d'objets rigides et/ou biologiques à l'échelle micrométrique. L'objectif est d'améliorer le triptyque « Perception – Communication – Interaction » entre l'opérateur et le micromonde en incluant de nouveaux moyens d'interaction (voix, son 3 D, vision 3 D, haptique). Ces interfaces homme/machine ont pour rôle d'assister l'opérateur dans ses tâches de manipulation en lui fournissant une aide contextuelle et bien adaptée aux contraintes du micromonde (effets d'échelle, environnement, tâches...). Différents travaux menés au LVR ont montré que les techniques de réalité virtuelle combinées avec des méthodes d'asservissement visuel augmentent considérablement les interactions homme/machine dans divers domaines : assemblage de pièces micromécaniques, micromanipulation de cellules biologiques et bio-nanotechnologie. L'opérateur peut alors explorer intuitivement la scène, améliorer sa compréhension des phénomènes physiques à l'échelle micrométrique et contrôler la bonne exécution des opérations. Ce dernier est assisté dans ces tâches par une aide visuelle en ligne lui permettant d'augmenter sa perception du micromonde à travers du texte, du son ou des images. Après une phase de reconstruction 3D, un module de planification de trajectoires, optimisé vis à vis des contraintes de la scène (micro-objets, obstacles, lumière) est proposé. Une fois la trajectoire choisie, le geste de l'opérateur est guidé par des champs de potentiels virtuels symbolisant les différentes interactions avec les micro-objets. Le moteur graphique, haptique et sonore réalise l'immersion des différents sens de l'opérateur à l'aide d'interfaces sensori-motrices (retour d'effort, visuel et sonore).



#### 4. Robotique et échographie téléopérée : échographie spatiale



La validation du concept d'échographie téléopérée et robotisée légère a été réalisée par le LVR en 1998. Ceci a permis l'émergence, en 2000, du projet Teresa, réalisé un partenariat avec la société Sintors à Toulouse et le CHU de Tours, et supporté en partie par l'Agence Spatiale Européenne (ESA). D'un coté de la chaîne de télé-échographie est situé le poste maître où l'expert médical rend son diagnostic ; grâce notamment à un instrument d'entrée « pseudo-haptique » dédié, il pilote un robot distant et reçoit en retour les images échographiques de son patient, sur lesquelles il fonde son diagnostic. De l'autre coté, au poste patient, un robot porte-sonde reproduit sur une sonde réelle les gestes de l'expert, un échographe standard acquiert les images ultrasonores du patient, celles-ci sont compressées et transmises à l'expert.

Un robot prototype a été conçu et réalisé. Teresa est un robot à 4 DDL : 3 DDL en rotation et 1 DDL en translation suivant l'axe de la sonde pour contrôler la force de contact avec le patient. Sa légèreté le prédestine à une utilisation spatiale embarquée, cependant Teresa a également été pensé pour trouver son application dans plusieurs types de véhicules terrestres, maritimes ou aériens.

Le module de rotation permet une mise en position angulaire selon les 3 directions de l'espace. C'est une structure de type « série » constituée de trois articulations pivot ayant la particularité de présenter des axes de rotation concourants. Le point de concours de ces 3 axes se trouve à l'extérieur de la structure mécanique et représente le point idéal où devrait se situer l'extrémité de la sonde, afin que le mouvement de cette sonde présente une vitesse de déplacement nulle en son extrémité. La sonde échographique peut atteindre théoriquement toutes les orientations possibles dans le cône du demi-espace supérieur au corps du patient pour une inclinaison par rapport à la normale à la peau allant jusqu'à 45°. Le robot Teresa est non redondant mais possède deux points de singularité. La gestion de ces singularités a été réalisée en laissant la première hors de l'espace accessible et en générant des trajectoires de consigne évitant la seconde. L'espace de travail accessible a été limité par la présence de butées mécaniques ou logicielles sur les articulations. Nous avons pu montrer que l'écart accepté entre trajectoire désirée et trajectoire réalisée (non réductible du fait de l'aspect non invasif de l'application), ne perturbe pas l'expert médical dans sa téléopération du robot. Cet expert parvient alors sans difficulté à l'élaboration de son diagnostic.

Les transmissions d'informations (consignes, mesures, images...) entre postes expert et patient, ont été réalisées par lignes ISDN ou satellites. Teresa a été testé en situation de microgravité dans l'Airbus *Zéro G*.

#### 5. Robotique et échographie téléopérée : échographie mobile et portable

Dans le cadre du projet européen Otelo (mOBile Tele-Echography using an ultra-Light rObot), nous avons conçu trois structures robotiques (Otelo 1 à Otelo 3) et développé à ce jour deux prototypes de chaînes téléopérées complètes pour la pratique d'échographies à distance.

Le robot Otelo 1 a été réalisé au cours de l'année 2002. Il dispose de 6 DDL (3 DDL en rotation permettent de reproduire toutes les inclinaisons et les rotations de la main du médecin, 2 DDL en translation permettent de reproduire la translation de la sonde sur la peau du patient et 1 DDL en translation permet de contrôler la force de contact). Cette structure s'inspire de celle du robot Teresa complétée de deux translations auxiliaires afin de pouvoir déplacer la sonde sur une surface de 5 cm x 5 cm. Ce système a été largement utilisé de 2003 à 2005 pour les validations cliniques, via différents moyens de communication (lignes ISDN, satellites fixes ou mobiles, respectivement *Eutelsat* et *Globalstar*). Les symptômes digestifs, pelviens, urinaires et cardiaques, faisant suite à un traumatisme physique ou à des contrôles de routine en gynécologie obstétrique, sont à ce jour identifiables par technique téléopérée.

Nous avons recherché, en particulier pour Otelo 2 et Otelo 3 des structures ne présentant pas de singularité, ou avec des singularités hors des espaces de travail. En exploitant une méthode basée sur le concept du groupe des déplacements, des structures cinématiques légères non redondantes sont proposées pour le robot porte-sonde (structures série, hybride et parallèle). Une technique d'optimisation multicritères sous contraintes est appliquée pour rendre les 3 types de structures précédentes optimales du point de vue de la performance cinématique et de l'adaptabilité à l'application médicale dédiée.

