

EXPLORE

Robotique mobile Exploration intégrée de l'environnement

Effectifs

au 30/06/2013 :

10 permanents (4,5 ETP)

6 doctorants (6 ETP)

1 autre personnel (1 ETP)

Nombre de thèses soutenues
entre le 01/01/2008
et le 30/06/2013 : 9

Responsables :

René Zapata

Page Internet de l'équipe :

[http://www.lirmm.fr/
recherche/equipes/explore](http://www.lirmm.fr/recherche/equipes/explore)

ROBOTIQUE MOBILE, COMMANDE, MODELISATION, PERCEPTION,
ARCHITECTURES, ENVIRONNEMENT

Présentation

Notre centre d'intérêt est la conception et le développement des outils théoriques et expérimentaux de la robotique mobile pour l'exploration intégrée de l'environnement. Les thèmes abordés sont le contrôle du mouvement, la perception, la localisation, la cartographie centrés sur des modèles perception/action issus des métiers de l'environnement. Notre démarche s'appuie sur la complémentarité de ces travaux pour proposer des solutions originales et les implémenter sur nos robots à travers une architecture de contrôle/commande structurée, tolérante aux fautes et offrant différents niveaux d'autonomie.

Evolution de l'équipe

Créée courant 2012 à la suite de mouvements internes au sein du Département Robotique (dont la modification des contours de l'ex-équipe NERO), l'équipe-projet EXPLORE s'est positionnée sur la robotique pour l'environnement, et développe aujourd'hui sa recherche en robotique mobile pour les milieux terrestres et sous-marins. Bien que récente, l'équipe-projet EXPLORE s'appuie très fortement sur les travaux antérieurs de ses membres. Un travail important a été réalisé pour restructurer l'ensemble de ces travaux, les situer et les intégrer dans une démarche unifiée afin de produire une dynamique cohérente et prospective, autour notamment de plates-formes de robotique mobile communes (cf. plates-formes).

L'autre évolution significative concerne les plateformes expérimentales, en particulier pour la robotique sous-marine. Dans l'ex-équipe NERO, nous concevions et réalisions nos propres vecteurs d'exploration sous-marine dont l'AUV Taipan. Au regard des moyens requis d'une part par l'évolution de ces vecteurs robotiques et d'autre part par la logistique nécessaire à leur opération, l'équipe a en effet changé de stratégie. Ce changement se caractérise par :

- un positionnement sur le milieu aquatique faible fond (étangs, sources, etc.) ou contraint (structures immergées), en opérant des robots sous-marins ne nécessitant pas de logistique lourde, et
- nos travaux sont dorénavant projetés sur des robots commercialisés ou se situent dans le cadre de collaborations industrielles à travers lesquelles nos partenaires assurent la réalisation en bénéficiant de notre expertise dans le domaine (cf. plates-formes).

Cela ne s'oppose pas à la réalisation de prototypes spécifiques hors robotique sous-marine, pour l'exploration de l'environnement (un financement NUMEV a été obtenu et a permis l'achat du robot JACK) ; l'équipe vient aussi de s'engager dans la réalisation d'un robot à pattes, destiné à évoluer en milieu dunaire (contrat régional RHEX).

A travers ses projets, l'équipe EXPLORE collabore régulièrement avec des membres d'autres équipes du Département - dont par exemple A. Chemori (DEXTER) sur les aspects commande en robotique sous-marine et F. Comby (ICAR) sur les aspects perception - et d'autres équipes du LIRMM comme les équipes SMILE et COCONUT du département Informatique sur les aspects décisionnels du contrôle et la modélisation sémantique de l'environnement.

Organisation et Vie de l'équipe

La vie de l'équipe est organisée autour de réunions scientifiques bi-mensuelles où les développements techniques et les avancées théoriques sont discutés collégialement. Plus de 60% des thésards sont suivis par plusieurs permanents aux compétences complémentaires. Le nombre de doctorants et de post-doctorants est en moyenne de 2 par an.

Activités scientifiques

L'objectif principal d'EXPLORE est de produire des solutions concrètes, basées sur des vecteurs d'expérimentations, pour l'exploration ou l'inspection de l'environnement ou de structures. Les deux grands axes structurant ces contributions sont Navigation-Guidage-Commande et Architectures de contrôle. Une part importante de notre activité est en robotique sous-marine (3 plates-formes expérimentales, un contrat européen, un contrat ANR et un financement NUMEV sur la période 2008-2013).

Navigation-Guidage-Commande

Les enjeux scientifiques résident dans la capacité à faire fonctionner des robots mobiles sur le long terme (autonomie) en assurant la sûreté de fonctionnement et la garantie de performances. La principale application visée est la robotique mobile pour l'environnement (exploration, inspection, sécurité civile,...).

Contrôle du mouvement

Notre premier apport est une nouvelle méthode pour le contrôle du mouvement d'engins sous-actionnés (sous-marins et terrestres) évoluant de manière coordonnée et exhibant des garanties en terme de convergence globale, sous contrainte de communications restreintes. Ces travaux se basent sur une fusion des problématiques de suivi de chemin et de trajectoire, incluant l'évitement d'obstacles réactif et minimisant les informations qu'il est nécessaire d'échanger pour la tenue de la formation de la flottille. Ces résultats, initialement validés sur un robot non holonome (Pioneer), ont ensuite été étendus au cas d'un véhicule sous-marin sous-actionné autonome (AUV Taipan) en analysant les similarités cinématiques entre ces deux types de véhicules et prenant en compte les propriétés dynamiques de ces systèmes. L'extension au cas de la flottille est initialement traitée sur le principe du leader-follower et est ensuite généralisée par la méthode des structures virtuelles, résultant en un contrôle décentralisé pour lequel la cohérence globale est assurée par un échange minimal d'information et utilisant la théorie des graphes (contrat européen FreeSubNet). Ces travaux ont été expérimentalement validés sur les véhicules de surface (Charlie et Alanis) de nos partenaires italiens (CNR ISSIA, 2 Coop. Bilatérale France -Italie).

Un autre aspect de cet axe est la commande robuste de robots sous-marins en présence d'incertitudes sur les paramètres (flottabilité, traînée...) et de perturbations externes (impacts, traction de l'ombilical...) (contrat industriel Tecnia). Nous avons proposé et implanté sur l'AC-ROV une version étendue de la commande adaptative non linéaire en norme L1, en collaboration avec A. Chemori (équipe DEXTER). Contrairement aux commandes adaptatives traditionnelles, cette commande permet une adaptation très rapide des paramètres inconnus/variables du système, sans requérir la moindre connaissance a priori de leur valeur (initialisation à 0). La commande L1 proposée rejette également les

perturbations externes telles que les à-coups infligés au ROV par l'ombilical ou les chocs mécaniques et permet d'atteindre une précision en profondeur de 3 cm, dans des conditions où la plupart des ROV n'atteignent que 10 cm. Ces travaux sont complétés, en collaboration avec F. Comby (équipe ICAR), par le développement de méthodes optiques robustes et rapides pour le suivi de pipelines dans le cadre d'un projet PCP Conacyt avec l'Unité Mixte Internationale LAFMIA (CNRS/CINVESTAV, Mexico). Parallèlement, nous étudions le suivi de mur ou de coque dans le cadre d'une collaboration industrielle (Tecnia) et d'un projet régional ARPE. Les méthodes développées mettent en œuvre la vision monoculaire ou la vision stéréoscopique couleur associée à une centrale inertielle. Des hypothèses sur la nature de la structure suivie permettent d'accomplir une détection robuste aux mouvements des algues (décorrélés des mouvements du véhicule), aux particules en suspension et aux reflets, tout en minimisant le temps de calcul.

Localisation et SLAM

Dans le cadre de la localisation des robots mobiles, nous avons proposé une amélioration de l'algorithme de localisation de Monte Carlo par filtre particulaire utilisant une auto-adaptation des particules et une technique de mise en cache préliminaire afin de réduire le temps de calcul. En outre, nous avons défini la notion de région d'énergie similaire (SER), qui est un ensemble de poses pour lesquelles l'énergie-capteur, à savoir la plausibilité de pose du robot simulé ramenée dans l'espace capteur, est similaire à celle du robot dans l'espace réel. En distribuant les échantillons globaux dans SER au lieu de les distribuer au hasard dans la carte, SAMCL obtient une meilleure performance de localisation du point de vue temps de calcul et taux de réussite. La validité et l'efficacité de notre approche ont été démontrées par des expériences sur un robot Pioneer évoluant dans un environnement connu et préalablement cartographié. Par rapport à l'existant, notre contribution est l'exploitation maximale de données brutes (informations proximétriques issues de capteurs laser et/ou ultrasonores).

Pour le problème du SLAM nous avons proposé une représentation originale de l'environnement par B-splines ainsi qu'une approche d'exploration intégrée de cet environnement où les objets de la carte sont modélisés par ces courbes paramétrées. Avec cette représentation, une évolution de l'exploration de type Search-Random-Tree a pu être faite en étendant la structure d'arbre de recherche à celle d'un graphe. L'algorithme d'exploration qui en résulte permet ainsi au robot de naviguer de façon optimale entre les nœuds sans avoir à respecter la relation de voisinage de type père-fils qui serait imposée par un arbre classique.

Modélisation et perception

Les travaux de cet axe viennent en complément logique de ceux évoqués sur la commande, dans une approche perception/action.

En collaboration avec l'Université de Manouba en Tunisie,

nous avons développé une approche de modélisation et d'appariement globale/locale d'un environnement d'intérieur utilisant des grilles d'occupation et basée sur des distributions possibilistes floues des contraintes dues aux capteurs stéréoscopiques. Cette approche a été implémentée sur une plate-forme fixe et le sera prochainement sur un robot Pioneer. Nous devrions alors pouvoir améliorer les algorithmes de localisation et de SLAM par fusion d'informations proximétriques issues des lasers et des capteurs ultrasonores et d'informations proximétriques issues de capteurs visuels.

Un autre aspect de cet axe se situe en exploration aquatique et concerne le domaine de l'archéologie. Nous avons développé une méthode de reconstruction multi-modale 3D à partir de 2 cartes issues de capteurs de résolution différentes (système stéréoscopique et sonar) afin d'obtenir des reconstructions précises d'objets archéologiques. Ces travaux sont impliqués dans un contrat PICS tripartite France, Italie, Portugal dédié à l'archéologie sous-marine (début en 2013).

Architectures de contrôle

Notre objectif est le développement d'un cadre de modélisation et d'implémentation des Architectures de Contrôle Robotiques (ACR) devant répondre à un ensemble de propriétés non fonctionnelles (modularité, flexibilité, réutilisabilité, fiabilité, etc). Ces propriétés favorisent l'intégration des contributions des différents acteurs des projets robotiques, comme ceux d'EXPLORE. L'ACR doit nécessairement prendre en compte les aspects temps-réel (contraintes d'exécution temporelle des modules) et critiques (réactions prioritaires à certains événements), intrinsèques aux applications robotiques. La méthodologie ContrACT (CONTRol Architecture Creation Technology) proposée est supportée par un environnement de développement et un middleware permettant de réifier la gestion des contraintes temps réel. C'est une des originalités de notre solution qui, au niveau exécutif, procure à la fois les leviers de contrôle de l'activité des modules (contenant les algorithmes de commande, perception, etc.) et de leurs interactions et enchaînements, et les mécanismes d'observation de leur exécution. Au niveau décisionnel, nous avons défini le langage Cactal (ContrACT Architecture Language) qui permet une description très élaborée du comportement des superviseurs, grâce à une syntaxe et une sémantique claire faisant appel aux notions de règle, de pré et post conditions, et de persistance d'événements. L'ensemble de ces travaux a été porté sur le robot Pioneer et est en cours de portage sur le robot Jack, et ils ont été expérimentés dans le cadre de plusieurs projets ANR (Prosit, Assist, Icaro).

La tolérance aux fautes est une nouvelle thématique au sein d'EXPLORE, qui complète les travaux sur les architectures de contrôle. Cet aspect, encore peu abordé dans le domaine de la robotique, est incontournable face à la nature et la complexité des applications de robotique autonome actuelles et futures. Nous avons décidé de l'intégrer dès la conception de nos solutions de contrôle, et avons mis au point une méthodologie permettant le

développement d'ACR tolérantes aux fautes avec, et c'est essentiel, une adaptation du niveau d'autonomie face à l'évolution du contexte. Après une analyse préalable des différentes fautes pouvant affecter le système et de leurs effets potentiels (AMDEC - Diagrammes d'Ishikawa), nous avons intégré à l'ACR chacune des étapes de la tolérance aux fautes à savoir : détection des dysfonctionnements (logiciel, matériel), localisation et diagnostic de la (des) faute(s) (analyse de signature, résidus) et enfin recouvrement par reconfiguration ou adaptation des schémas de commande, ou ajustement du niveau d'autonomie. Cette contribution est directement intégrée à notre plate-forme logicielle ContrAct, exploitant tant les mécanismes d'observation que les leviers de réaction.

Intégrer la tolérance aux fautes ne se substitue pas à la validation amont, des processus décisionnels notamment. Les méthodes et outils de validation formelle basés sur la modélisation par machines à états (model checking) sont à l'heure actuelle difficilement utilisables dans le contexte de la validation des systèmes embarqués, critiques et temps réel à l'image de la complexité de l'architecture de contrôle embarquée dans un robot mobile. La prise en compte des contraintes temporelles du système, et la considération de paramètres pour refléter le dimensionnement ou les contraintes de l'architecture entraîne en effet des problèmes de complexité combinatoire. Nous avons proposé une approche outillée (Little Parametric Tool) permettant une validation formelle efficace d'un modèle paramétré.

Enfin, en collaboration avec l'équipe SMILE du Département Informatique, nous avons développé une approche de coopération de robots sous-marins en flottille basée sur les systèmes multi-agents et plus particulièrement sur le concept Agent Groupe Rôle associé au modèle satisfaction-altruisme. Ce travail se situe dans la problématique des architectures décisionnelles réactives. Notre principal apport est l'introduction d'une surcouche «sociale» conférant une attitude à rechercher un but commun, selon une spécification très abstraite des buts qui n'implique pas l'échange de données complexes comme le font les approches par HTNi ou réseaux de Petri (une réduction des besoins de communication, si contraignante en sous-marin notamment, ANR CFLAM).

Plates-formes robotiques

Une part importante de notre travail de recherche est la validation expérimentale des concepts et approches développés. L'équipe EXPLORE dispose pour ce faire de plusieurs plates-formes matérielles, permettant de fédérer nos travaux et mutualiser les résultats de nos recherches, en partie à travers notre plate-forme logicielle ContrAct.

Certains de nos vecteurs robotiques sont opérationnels (Pioneer, ROV/AUV Jack) et ont donné lieu à des expérimentations illustratives des travaux de l'équipe comme précédemment mentionné. D'autres sont en cours de développement ou en évolution à travers nos partenariats industriels (ROV-LR, ROV/AUV Jack).

Publications majeures

L. ZHANG, R. ZAPATA, P. LEPINAY, Self-Adaptive Monte Carlo Localization for Cooperative Multi-Robot Systems, Robotica Vol 30 : pp 229-244, 2012

L. LAPIERRE, R. ZAPATA, A guaranteed obstacle avoidance guidance system : the safe maneuvering zone, AUTONOMOUS ROBOTS, January 2012

B. DURAND, K. GODARY-DEJEAN, L. LAPIERRE, D. CRESTANI, Global Methodology in Control Architecture to Improve Mobile Robot Reliability, IROS, TAIPEI, TAIWAN 2010

A. MELINE, J. TRIBOULET, B. JOUVENCEL, Comparative study of two 3D reconstruction methods for underwater archaeology, IROS 2012, Portugal 2012

D. MAALOUF, V. CREUZE, A. CHEMORI, Novel Application of Multivariable L1 Adaptive Control: from Design to Real-Time Implementation on an Underwater Vehicle, IROS 2012, Portugal 2012.



De haut en bas et de gauche à droite :
AC-ROV, L2ROV, PIONEER, ROV / AUV Jack

Evolution du projet et formation

Suite à sa restructuration, l'équipe s'est clairement positionnée, tant au niveau local (axes prioritaires de l'UM2, identité et compétences régionales sur l'environnement) qu'international (partenariats académiques) autour du thème de la robotique pour l'environnement, centré à ce jour sur la robotique aquatique, terrestre. Un projet de robot à pattes pour évolution en milieu dunaire (plages) a d'ailleurs débuté (robot RHEX). Le périmètre est amené à s'étendre à l'aérien, avec des applications en agronomie notamment.

Faits marquants

- Prix spécial du jury Prix Georges Frêche 2012, décerné à Vincent Creuze pour « Robot sous-marin pour inspections environnementales »
- Contrat Européen FreeSubnet et contrat ANR CFlam, Labex NUMEV

Collaborations externes

Académiques :

- Robotique sous-marine : LAFMIA (UMI CNRS/CINVESTAV Mexico)
- Robotique et archéologie sous-marine : DSOR (FCT, Portugal), ISSIA (CNR, Italy), UCL (Belgique), LIP6 (UMR7606)
- Robotique d'exploration aquatique : HSM (UMR 5569), IRCYNN (UMR 6597), ENSTA (EPA défense).

Industrielles : TECNALIA France, CISCREA, ECA-HYTEC