

Titre de thèse :

SLAM multi-vues pour la commande de robot spatial

Encadrants: Andrew Comport, Tarek Hamel, I3S-SIS

1 Motivation

L'objectif de cette thèse est de développer des techniques de navigation autonome des robots spatiaux dans des environnements complexes en utilisant de l'information visuelle multi-vues. En particulier, la localisation et la cartographie simultanée (SLAM) seront abordées.

Il existe actuellement une demande importante et toujours croissante pour des robots capables de réaliser des tâches de façon autonome dans divers environnements (espace, urbain, naturel, militaire, industriel) et pour de nombreuses applications (aérospatial, exploration d'environnements lointains ou dangereux, cartographie, transport, agriculture, nettoyage, inspection, surveillance, ...). La navigation autonome est devenue essentielle pour l'exploration interplanétaire. Un effort très important de développement a été réalisé, ces dernières années, par l'agence spatiale européenne et des industriels spécialisés (Thales Alenia Space, ...) afin d'apporter de nouvelles technologies pour l'exploration spatiale. Il s'agit notamment de la navigation autonome du *rover*, atterrissage sûr avec évitement d'obstacle, ou encore des opérations de proximité autour d'un astéroïde. Dans tous les cas, l'environnement est en grande partie inconnu et la dynamique est très incertaine.

La difficulté principale de la navigation autonome concerne la localisation et la cartographie de l'environnement. La navigation via la vision, se trouve particulièrement bien adaptée aux tâches d'exploration. En effet, elle permet l'extraction de la vitesse relative entre le robot et l'environnement, qui est une information capitale pour un atterrissage automatique [16, 8]. Un atterrissage garanti sur une planète, comme Mars par exemple, nécessitera entre autre une identification en ligne des risques (les pentes fortes ou présence de roches, ...) [13] qui doit être accomplie en temps réel. Il faut noter, toutefois, que malgré les avancées techniques et méthodologiques autour de capteurs visuelles, qui ont fait leurs preuves dans de nombreuses applications, les problèmes non résolus restent nombreux. En effet la plupart des méthodes existantes de localisation nécessitent une connaissance a priori sur l'environnement, un éclairage constant, un bon conditionnement de la tâche, une petite variation de la résolution, etc.

Pour des missions vers des astéroïdes (voir le Fig 1) ou vers des comètes où la gravité est faible, la contrainte de temps est beaucoup moins dure [12]. Ce genre de missions commencent habituellement par la construction d'un modèle de forme de l'objet (une carte globale brute et plusieurs cartes locales plus raffinées), utilisant des techniques de SLAM. Cette phase de cartographie peut être réalisée avant que des opérations de proximité ou d'atterrissage aient lieu. Ainsi la détection et l'évitement d'obstacles ne nécessitent plus d'être gérées "en-ligne".

Le but principal de cette thèse est d'étudier la navigation dans des environnements incertains, partiellement connus et restrictifs, sans faire des hypothèses a-priori fortes sur la trajectoire du vaisseau spatial ou sur son interaction avec des environnements dynamiques. Afin de réaliser ceci il sera nécessaire de coupler étroitement des mesures multi-vues dans une loi de commande d'asservissement visuel en boucle fermée.

2 Contexte

L'entrée dans l'atmosphère, la descente et l'atterrissage (EDL) des robots spatiaux peuvent être modélisés par des systèmes physiques divers et complexes pouvant être difficiles à commander sans l'utilisation de



FIG. 1 – Vue d’un astéroïde a partir du simulateur de Thales-Alenia Space.

capteurs et de modèles appropriés. L’utilisation de capteurs visuels pour commander des systèmes robotiques aériens connaît actuellement un essor très important pour tous les drones (micro ou mini, plus lourds ou plus légers que l’air [3]) dans toutes les configurations possibles (voilures fixes [5], tournantes [2, 18, 17, 1, 19, 15, 10, 6], vibrantes ou battantes). Pour des applications dans l’espace, la navigation optique binoculaire est très commune dans la navigation de *rover*, cependant, elle n’a jamais été employée pour d’autres applications spatiales [12, 16, 8]. La navigation optique classique est généralement complétée par un capteur de distance (lidar ou radar). Il semblerait donc pertinent d’étudier cette nouvelle approche et de démontrer son efficacité par rapport aux systèmes existants. Clairement, le problème d’une exploitation optimale des données de ces capteurs optiques pour la localisation et la cartographie demeure un problème essentiel pour beaucoup d’applications.

Même si beaucoup de recherches ont été effectuées sur l’asservissement visuel monoculaire [7, 4, 15, 10, 6] pour différents systèmes, très peu d’études ont porté sur la commande par des systèmes multi-vues tel que [14] ou dans un contexte du SLAM visuel [9]. De plus, si des études approfondies sur la vision géométrique multi-vues ont été largement abordées dans le domaine de la vision par ordinateur [11], relativement peu de tentatives ont été faites pour intégrer ces contraintes directement dans une boucle de commande différentielle. L’utilisation de cette information dans un boucle de control, promet non seulement d’améliorer l’autonomie des véhicules, mais aussi de rendre la perception du monde plus robuste et de fournir une meilleure interactivité avec l’environnement. En effet, le contrôle en boucle fermée exploite d’une part des connaissances sur le mouvement du robot pour une meilleure perception et d’autre part, des connaissances sur la perception de l’environnement pour obtenir une commande performante, tout en améliorant l’efficacité de calcul, la précision, et la robustesse.

Cette thèse s’intègre parfaitement au projet scientifique CNRS-PICS “Visual servo control of unmanned aerial vehicles”, au projet national ANR-SCUAV (Sensory control of unmanned aerial vehicles) coordonnés par le laboratoire I3S et au programme de recherche mené par l’unité “Optical Observation and Science” de Thales Alenia Space.

3 Description

Ce sujet de thèse concerne le développement de techniques de localisation et de cartographie (SLAM) en temps réel, qui permettent la navigation et l’exploration spatiale via des véhicules autonome.

La majeure partie de cette étude concerne la localisation et consistera à développer un système d’asservissement visuel multi-vues pour un robot spatial. L’intérêt ici sera d’intégrer des théories sur la géométrie différentielle multi-vues avec des théories de commande par asservissement visuel. Il sera nécessaire de formaliser des relations analytiques entre le mouvement d’un engin volant et le mouvement perçu à partir de multiples

points de vues. Cela permettra d'identifier les paramètres de contrôle pertinents qui adhèrent à un ensemble de critères rigoureux (robustesse, stabilité, précision, efficacité), ainsi que de choisir des configurations telles que le placement optimal des caméras. En particulier, il sera intéressant de développer une fonction de tâche globale qui permettra au drone spatial de se comporter correctement en fonction de la dynamique (par exemple, mouvement d'astéroïde), des conditions d'éclairage (selon la luminosité ou la visibilité), des perturbations (telles que les différences de température) ou des grandes différences d'échelles de l'environnement perçu par les capteurs.

Le seconde partie de cette étude consistera à développer des algorithmes de cartographie de l'environnement dans une phase d'apprentissage qui permettra de réduire la complexité du problème "en ligne" en effectuant l'essentiel de l'effort de calcul "hors-ligne". Ceci conduira à la création de cartes d'images stéréos sur lesquelles un robot se base pour exécuter une tâche. L'objectif sera de construire une représentation optimale à partir de ces cartes locales de façon à ce que la localisation et la commande de l'appareil se réalisent de façon précise tout en restant insensible aux changements dynamiques dans l'environnement.

4 Compétences requises

L'implémentation de ces techniques sera intégrée, testée et validée, sur des plates-formes robotiques disponibles au sein du laboratoire I3S et des laboratoires partenaires. Thales Alenia Space dispose d'un simulateur réaliste (voir la figure 1). Il serait donc important de tester les algorithmes développés sur ce simulateur.

Le candidat devra être inscrit à un Master spécialisé en vision par ordinateur, asservissement visuel, et/ou automatique. Le candidat devra également avoir de bonnes aptitudes en programmation et en rédaction.

Références

- [1] E. Altug, J. Ostrowski, and R. Mahony. Control of a quadrotor helicopter using visual feedback. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 72–77, Washington, DC, May 2002.
- [2] O. Amidi, T. Kanade, and R. Miller. *Robust Vision for Vision-Based Control of Motion : Vision-based autonomous helicopter research at Carnegie Mellon Robotics Institute (1991-1998)*. New York : IEEE Press/SPIE, 1999.
- [3] J.R. Azinheira, P. Rives, and J.R.H Carvalho. Visual servo control for the hovering of an outdoor robotic airship. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 2787–2792, Washington, DC, May 2002.
- [4] S. Benhimane and E. Malis. Homography-based 2d visual tracking and servoing. *International Journal of Robotic Research (Special Issue on Vision and Robotics joint with the International Journal of Computer Vision)*, 26 :661–676, 2007.
- [5] O. Bourquardez and F. Chaumette. Visual servoing of an airplane for auto-landing. In *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, IROS'07*, pages 1314–1319, San Diego, CA, October 2007.
- [6] O. Bourquardez, R. Mahony, N. Guenard, F. Chaumette, T. Hamel, and L. Eck. Image-based visual servo control of the translation kinematics of a quadrotor aerial vehicle. *IEEE Trans. on Robotics*, 2009.
- [7] F. Chaumette and S. Hutchinson. Visual servo control, part i : Basic approaches and part ii : Advanced approaches. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 14(1) :109–118, March 2007.
- [8] Y. Cheng, A. Johnson, and L. Matthies. Mer-dimes : a planetary landing application of computer vision. In *IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, volume 1, pages 806 – 813, San Diego, CA, USA, 20-25 June 2005.
- [9] A. J. Davison and D. W. Murray. Simultaneous localisation and map-building using active vision. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, July 2002.

- [10] T. Hamel and R. Mahony. Image based visual servo-control for a class of aerial robotic systems. *Automatica*, 2006.
- [11] R. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in computer vision*. Cambridge University Press, 2001. Book.
- [12] A. Johnson and L. Matthies. Precise image-based motion estimation for autonomous small body exploration. In *5th Intl Symp. On Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space*, ESTEC, Netherlands, 1-3 June 1999.
- [13] A. Johnson, J. Montgomery, and L. Matthies. Vision guided landing of an autonomous helicopter in hazardous terrain. In *IEEE conf on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, April 18-22 2005.
- [14] T. Lemaire, Cyrille Berger, I-K. Jung, and S. Lacroix. Vision-based SLAM : stereo and monocular approaches. *International Journal on Computer Vision*, 74(3) :343–364, 2007.
- [15] R. Mahony and T. Hamel. Image based visual servo control of aerial robotics systems using linear image features. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 40(2), 2005.
- [16] B. Polle, B. Frapard, G. Flandin, P. Bernard, C. Vétel, X. Sembely, and S. Mancuso. Navigation for planetary approach and landing. In *5th Int. ESA Conference on Guidance and Navigation Control Systems*, Frascati, Italy, 22-25 October 2002.
- [17] S. Saripalli, J.F. Montgomery, and G.S. Sukhatme. Vision-based autonomous landing of an unmanned aerial vehicle. In *International Conference on Robotics and Automation*, pages 2799–2804, Washington, DC, 2002.
- [18] O. Shakernia, Y. Ma, T.J. Koo, and S. Sastry. Landing an unmanned air vehicle : Vision-based motion estimation and nonlinear control. *Asian Journal on Control*, 1(3) :128–146, 1999.
- [19] H. Zhang and J.P. Ostrowski. Visual servoing with dynamics : Control of an unmanned blimp. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 18 :199–208, April 2002.