

Proposition de sujet de thèse DGA/CNRS

Titre: Observation/reconnaissance active d'objets manufacturés par un robot sous-marin équipé d'une caméra optique
Laboratoire: I3S, CNRS-UNSA, Sophia Antipolis
Encadreur: Maria-João RENDAS (rendas@i3s.unice.fr, 04 92 94 27 14)
Industriel concerné: THALES Underwater Systems (TUS), Brest (P. Florin, J.-P. Malkasse)

Description

L'objectif de cette thèse est l'identification/reconnaissance d'objets manufacturés posés sur le fond de la mer avec un véhicule sous-marin équipé d'une caméra optique. Ces travaux surgissent dans la continuité de travaux sur la détection d'objets manufacturés dans des environnements sous-marin, menés par I3S dans le cadre du projet TOPVISION,¹ coordonné par THALES. L'approche de l'I3S est basée sur la notion de *complexité stochastique* (au sens du principe du MDL [1]), qui permet de déterminer automatiquement la complexité des modèles paramétriques qui sont ajustés aux différents contours détectés dans la séquence vidéo.

Dans le projet TOPVISION, notre objectif est la détection d'objets "non-naturels". Nous ne considérons dans ce cadre ni le problème de la reconstruction d'un modèle 3D pour les objets détectés, ni leur identification dans un ensemble pré-défini de classes (problème de *classification*). Le fait que les séquences traitées ont été pré-enregistrées ne permet plus l'étude des problèmes de *perception active*, à savoir, de déterminer quelle est la meilleure trajectoire de la caméra (ou de la plate-forme qui la porte) pour mieux identifier/caractériser la géométrie des objets perçus. Les objectifs de cette thèse peuvent ainsi être vus comme une extension du travail fait dans TOPVISION, dans les trois sens suivants:

- (1) une **reconstruction 3D** des objets détectés doit être faite,
- (2) la **reconnaissance** (classification) de l'objet parmi un nombre fini de classes d'objets doit être fournie (ou la déclaration de qu'il n'appartient à aucune des classes considérées),
- (3) le problème de **contrôle**, éventuellement sous des perturbations externes, doit être explicitement adressé.

Le problème de reconstruction 3D avec une caméra mobile a été extensivement traité par la communauté de vision robotique. Nous pouvons distinguer principalement deux approches: *feature-based* et *model-based*. Dans le premier cas, la reconstruction 3D est basée sur la poursuite sur la séquence d'images de caractéristiques géométriques des objets telles que des points remarquables ou des droites. Dans le dernier, un modèle global est utilisé pour aider à la reconstruction, imposant des contraintes globales supplémentaires qui entraînent une plus grande robustesse. La reconstruction basée sur des appariements de points remarquables est très sensible à des faux appariements, et est donc appropriée dans des situations où des petites régions des images successives peuvent être associées sans ambiguïté. Elle nécessite de plus l'existence d'un nombre considérable de ces points remarquables sur toute

¹TOPVISION est un projet financé par les Ministères de la Recherche et de la Défense, pour faire la détection, localisation et identification d'objets sous-marins nuisibles. I3S est un des Laboratoires Universitaires qui participent à cette initiative dont la finalisation est prévue en Juillet 2007.

la surface à reconstruire, ce qui n'est souvent pas le cas pour les objets manufacturés, qui peuvent présenter des grandes surfaces courbes de couleur homogène. L'utilisation de segments de droite limite la géométrie des objets à des polyèdres, et est trop restrictive pour la classe d'objets d'intérêt dans cette étude. Une représentation globale intéressante semble correspondre à l'hypothèse de surfaces décrites par des surfaces algébriques (dont les surfaces quadriques sont des cas particuliers) où la dualité entre points et plans tangents peut être efficacement exploitée pour établir des estimateurs linéaires à partir de l'observation de contours apparents [2, 3].

Le Laboratoire I3S a étudié dans le passé [4], dans le cadre du projet Européen NARVAL ², le problème de reconstruction 3D d'objets polyédraux à partir des images acquises par un robot mobile équipé d'une caméra. Dans ces études, le problème de la reconstruction 3D est explicitement formulé comme un problème d'estimation simultanée de la **forme de l'objet 3D** détecté dans la séquence vidéo et de la **trajectoire de la plate-forme** (ou d'une façon équivalente, celle de la caméra) pendant l'acquisition des images. En particulier, nous avons pu mettre en évidence le rôle dual et alterné des informations visuelles et des données de navigation : dans un premier temps, ce sont les informations de navigation qui permettent de contraindre fortement le support de la densité a posteriori dans l'espace des formes des objets, et l'apport des informations visuelles sur la précision de la (rétro)trajectographie de la plate-forme est réduit. À partir d'un certain niveau de précision sur la forme de l'objet, les informations visuelles permettent de dépasser les limitations des capteurs de navigation (inertiels) de la plate-forme, et améliorent considérablement la précision avec laquelle sa trajectoire passée peut être connue. L'utilisation d'une approche Bayésienne nous a permis de quantifier, en fonction de la trajectoire future de la plate-forme, l'information mutuelle entre les nouvelles données acquises et la forme de l'objet perçu. Nous disposons ainsi des outils nécessaires pour nous attaquer au problème de l'optimisation de l'observation proprement dite, c'est à dire, choisir le nouvel angle de vue qui apportera les informations les plus pertinentes sur la forme 3D de l'objet. Cette détermination s'appuie sur une approximation de la densité a posteriori comme un mélange Gaussien, et des formules analytiques qui permettent de déterminer une borne supérieure (proche) de la matrice de covariance de chaque terme du mélange sur un horizon temporel fini.

Les études rapportées en [4] concernaient l'observation visuelle d'objets dans un environnement terrestre (un robot terrestre d'intérieur a été utilisé). Nous avons également étudié le problème de suivi autonome de contours entre des environnements benthiques naturels avec un robot sous-marin [5, 6]. La difficulté majeure de ce problème réside dans le fait que les contours recherchés ne sont pas des figures géométriques simples, comme des droites ou des arcs de cercle, et sont définis plutôt par une variation de texture que par une simple variation de valeur moyenne. Nous avons proposé un nouveau critère pour le suivi de contours dans des séquences vidéo, où des "contours actifs" sont déformés par des "forces" dérivés d'un test statistique optimal sur la complexité de leurs voisinages [5, 6]. Dans le cadre de cette thèse, nous pensons utiliser cette approche de modélisation statistique non-paramétrique de l'intensité (ou couleur) des pixels de l'image pour optimiser simultanément la détection des contours apparents et la reconstruction 3D de l'objet, en admettant

²Navigation of Autonomous Robots Via Active Environmental Perception, Projet ESPRIT/LTR coordonné par l'Instituto Superior Técnico, Lisbonne, Portugal narval project [ISR damiao.isr.ist.utl.pt/vislab/NARVAL/index.html](http://damiao.isr.ist.utl.pt/vislab/NARVAL/index.html)

que la surface des objets perçus peut être bien approximée par un pavage de surface algébriques, et en extrapolant l'approche présentée en [2, 3] au cas où il faut estimer aussi la trajectoire de la caméra (nous admettrons que l'objet est fixe et que tout le mouvement est du au mouvement de la plate-forme robotique)

Dans une première phase nous considérerons le problème de reconstruction 3D sans utilisation de modèles globaux des possibles types de formes à détecter. Le problème de classification sera abordé dans une deuxième phase de la thèse, en considérant connus des modèles CAD de la géométrie des objets à détecter sous la forme de pavages de surfaces algébriques. La considération de ces modèles sera importante surtout pour le problème d'observation active, permettant d'identifier les zones pas (ou mal) observées qui conduiront le plus rapidement à une décision sur la classe de l'objet perçu.

Dans une dernière phase nous introduirons les contraintes liées à l'existence de courants (en admettant une plate-forme sous-accionée). Nous utiliserons une approche de commande prédictive aliée à des outils d'optimisation du type génétique pour déterminer les trajectoires qui correspondent au meilleurs compromis entre le temps/énergie dépensé et la probabilité de classification correcte de l'objet. Nous avons par le passé, motivés par le problème de la détermination de trajectoires de recouvrement complet, proposé un Algorithme Génétique pour propager une population de solutions dans la surface de Pareto de problèmes multi-critère [7].

Tous les algorithmes développés seront dans un premier temps testés sous simulation et sur les séquences d'images réelles pré-enregistrées (sauf pour ce qui concerne les problèmes d'observation active). Ils seront intégrés dans un deuxième temps à l'architecture du robot sous-marin Phantom de l'I3S pour permettre la réalisation de tests en mer (dans la Rade de Villefranche-sur-mer, en bénéficiant d'un accord de collaboration entre l'I3S et l'Observatoire Océanographique de Villefranche-sur-mer).

Bibliography

- [1] J. Rissanen, "Stochastic Complecity in Statistical Inquiry." World Scientific Series in Computer Science, 15, 1989.
- [2] K. Kang et al, "A linear dual-space approach to 3D surface reconstruction from occluding contours using algebraic surfaces," Int. Conf. Comp. Vision (ICCV'01).
- [3] K. Kang, J.-P. Tarel, D. Cooper, "A unified linear fitting approach for singular and non-singular 3D quadrics from occluding contours." IEEE Workshop on Higher-level Knowledge in 3D Modeling and Motion (HLK'2003).
- [4] Maria Serrano Mullet, "Fusing odometry and visual data for navigation of mobile robots." Rap. DEA, Laboratoire I3S, UNSA, 1998.
- [5] S. Rolfes, J. Rendas, "Statistical snakes: robust tracking of benthic contours under background variation," Proc. Int. conf. Int. Robots & Systems (IROS 2004).
- [6] S. Rolfes, J. Rendas, "Statistical snakes, application to tracking of benthic contours," 5th Symp. Int. Autonomous Vehicles (IAV'04).
- [7] M.-J. Rendas, W. Têtenoire, "Definition of exploratory trajectories in robotics using genetic algorithms," (IEA-97).