

# Détection d'erreurs de montages par comparaison d'une maquette numérique avec des mesures acquises avec un système multi-capteurs

Encadrants : Ezio MALIS\*, Pierre ALLIEZ\*\*, Philippe MARTINET\*

\*Equipe-projet Inria ACENTAURI, Sophia Antipolis \*\*Equipe-projet Inria TITANE, Sophia Antipolis

## Equipes de recherche

ACENTAURI est une équipe de robotique dirigée par Ezio MALIS qui étudie et développe des robots autonomes et intelligents qui collaborent entre eux pour réaliser des tâches difficiles dans des environnements complexes et dynamiques. L'équipe aborde les problèmes de perception, de décision et de contrôle pour la collaboration multi-robot en proposant une approche hybride originale de l'intelligence artificielle basée sur les modèles et les données et en étudiant des algorithmes efficaces. L'équipe se concentre sur les applications telles que les systèmes multi-robot ronds pour la surveillance de l'environnement et le transport de personnes et de marchandises. Dans ces applications, plusieurs robots partagent des informations multi-capteurs provenant éventuellement de l'infrastructure. L'efficacité des approches proposées est démontrée sur des systèmes robotiques réels comme les voitures et les drones en collaboration avec des partenaires industriels.

TITANE est une équipe dirigée par Pierre ALLIEZ qui étudie la modélisation géométrique 3D et le traitement numérique de la géométrie. L'équipe conçoit des algorithmes et des structures de données géométriques, notamment pour la conversion de mesures en modèles 3D, l'approximation de formes, la génération de maillages et les composants algorithmiques utilisés pour le jumeau numérique. L'équipe contribue à la bibliothèque C++ CGAL, qui offre des structures de données et des algorithmes géométriques en 2D, 3D et dD (dimension arbitraire). Les applications privilégiées sont la reconstruction de villes en 3D, les jumeaux numériques de sites de construction et de sites industriels, la robotique et la génération de cartes 3D à partir d'images satellites.

## Contexte et sujet du postdoc

Le contexte est celui de l'usine du futur pour Naval Group, pour les frégates et les bâtiments de surface. En entrée on dispose d'une maquette numérique (par exemple d'une frégate), du planning de montage des équipements et de données de mesures (images ou Lidar). La plupart des composants à monter sont fournis par des sous-traitants. En sortie on souhaite opérer un suivi du chantier de montage pour comparer les modèles "as-designed" avec les modèles "as-built". L'enjeu du projet est un besoin de coordination sur les chantiers pour la décision de planification. Il faut pouvoir suivre l'avancement d'un projet réel et vérifier sa conformité à l'aide d'un jumeau numérique [1]. Actuellement, comme il faut voir à bord pour vérifier, des rondes de visite sont requises pour valider l'avancement ainsi que la montabilité des équipements: par exemple, le carlingage et les attaches doivent être à la bonne place, avec les bonnes dimensions et les trous pour les vis, etc. Ces rondes sont chronophages et accidentogènes, sans parler des contraintes du chantier, par exemple l'absence temporaire d'électricité ou les nombreux équipements temporaires de montage et de sécurité.

L'objectif de ce postdoctorat de 24 mois est d'automatiser le suivi, avec une intelligence par capteurs pour valider les travaux. On envisage des systèmes de capteurs fixes (par exemple des caméras ou des Lidar) ou mobiles (par exemple montés sur un trépied), et l'ajout de smartphones/tablettes portés par des opérateurs sur le terrain pour la visualisation des résultats.

Le premier problème à étudier est celui du placement des capteurs qui doivent couvrir l'ensemble de la zone à surveiller. Un recouvrement commun deux à deux des parties observées est souhaitable à la fois pour faciliter la calibration du système (c'est à dire, l'estimation de l'emplacement relatif des capteurs pour recalibrer l'ensemble des données acquises dans le même repère), et pour obtenir des mesures redondantes en cas d'occultations. Au cours du montage, la densité des équipements augmente au fur et à mesure, pour finir par obtenir uniquement des courbes et un bâtiment rempli d'équipements dans le cas d'usage du sous-marin. Il y a donc potentiellement de plus en plus

d'occlusions. Il est probablement souhaitable de positionner les capteurs sur des points hauts pour minimiser les occlusions et ne pas gêner le passage. Les données de mesure sont envoyées à un serveur central pour le stockage et le traitement. La restitution des résultats de contrôle peut se faire sur un dispositif mobile (par exemple une tablette) sur place ou à distance. Une seconde difficulté est qu'il y a des différences entre les pièces conçues en CAO et celles montées (avec brides, gainages, boulonnerie, etc). De plus, le modèle "as-designed" peut se chevaucher avec le modèle "as-built", et des équipements peuvent apparaître tardivement. L'équipement du chantier peut masquer la perception du réel: gaines, échafaudages, échelles, garde-corps, câbles, etc. La caméra doit pouvoir voir assez loin et les éclairages sont artificiels, ce qui crée des halos et des ombres dures. La précision requise doit être suffisante pour valider la présence et le montage valide d'un équipement. De plus, la maquette numérique 3D est disponible sous divers formats, des convertisseurs étant à l'étude pour générer un format unifié.

La détection d'erreurs de montage peut se faire en comparant la maquette géométrique avec la réalité reconstruite en 3D à partir de nuages de points Lidar ou par photogrammétrie, ou en utilisant des images issues de la caméra. La méthode basée images est plus compliquée à mettre en place car nous n'avons pas d'images de référence pour comparer la situation actuelle avec la maquette. Des approches par apprentissage machine pourraient toutefois être utilisées en opérant une corrélation entre les images acquises et la maquette numérique projetée dans les images, à condition de générer des données d'apprentissage de manière procédurale, par modélisation 3D et rendu photoréaliste. Le défi est alors de combler le fossé entre le réel et le virtuel dans la phase de génération de données pour l'apprentissage.

Pour la partie expérimentale, le candidat travaillera en étroite collaboration avec un ingénieur de R&D qui sera en charge de la calibration des capteurs et de l'accompagner dans la mise en oeuvre des algorithmes en temps réel. Les expérimentations en grandeur réelle s'effectueront sur les chantiers de Naval Group à Lorient. Des déplacements sont à prévoir pour la mise au point du système, l'acquisition des données et des démonstrations.

## Plan de travail

Le plan de travail est décomposé comme suit:

- étude bibliographique sur la reconstruction 3D multi-capteur (LiDAR et vision) et le recalage modèle CAO / modèle reconstruit.
- mise en oeuvre de la meilleure approche de l'état de l'art.
- test sur les données fournies par Naval Group.
- étude et mise en oeuvre d'une approche exploitant un système multi-capteur (un LiDAR et une camera stéréo) monté sur un trépied.
- étude de l'apport d'une approche par apprentissage machine.
- test sur les données acquises par notre système multi-capteur sur les chantiers de Naval Group.
- comparaison avec les techniques de l'état de l'art.
- validation finale sur les chantiers de Naval Group.
- rédaction de la documentation et d'articles pour des conférences et journaux internationaux.

## Compétences

Le(a) candidat(e) doit avoir obtenu de préférence un doctorat en traitement du signal ou mathématiques appliquées. Le(a) candidat(e) doit avoir des bases solides en développement logiciel (Matlab, C/C ++, Python, Git, ...). Il/elle doit également être très motivé(e) pour les études pluridisciplinaires et tous les aspects de la recherche allant du travail fondamental au travail expérimental. Enfin, un bon niveau en anglais lu/écrit/parlé est important.

## Candidature

Les candidats intéressés doivent envoyer un CV détaillé, une lettre de motivation et une ou plusieurs lettres de recommandation à [ezio.malis@inria.fr](mailto:ezio.malis@inria.fr).

## References

- [1] Taihun Choi and Yoonho Seo. A Real-Time Physical Progress Measurement Method for Schedule Performance Control Using Vision, an AR Marker and Machine Learning in a Ship Block Assembly Process.