

Soutenance de thèse

Justin CANO soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA SCANR et intitulée «*Optimisation de la localisabilité des systèmes multi-robots et applications au positionnement par Ultra-Large Bande*»

Le 18 avril 2023 à 15h00
Campus de l'Université de Montréal - Canada

devant le jury composé de

M. Éric CHAUMETTE	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
Mme Juliette MARAIS	Directrice de recherche Université Gustave Eiffel	Rapporteuse
M. François POMERLEAU	Professeur Université Laval	Rapporteur
M. Gaël PAGÈS	Chargé de recherche ISAE-SUPAERO	Co-directeur de thèse
M. Jérôme LE NY	Associate Professor Polytechnique Montréal	Directeur de thèse
M. David SAUSSIÉ	Professeur Polytechnique Montréal	

Résumé : Les Systèmes Multi-Robots (SMR) permettent d'effectuer des missions de manière efficace et robuste du fait de leur redondance. Cependant, les robots étant des véhicules autonomes, ils nécessitent un positionnement précis en temps réel. Les techniques de localisation qui utilisent des Mesures Relatives (MRs) entre les robots, pouvant être des distances ou des angles, sont particulièrement adaptées puisqu'elles peuvent bénéficier d'algorithmes coopératifs au sein du SMR afin d'améliorer la précision pour l'ensemble des robots. Dans cette thèse, nous proposons des stratégies pour améliorer la localisabilité des SMRs, qui est fonction de deux facteurs. Premièrement, la géométrie du SMR influence fondamentalement la qualité de son positionnement pour des MRs bruitées. Deuxièmement, les erreurs de mesures dépendent fortement de la technologie utilisée. Dans nos expériences, nous nous focalisons sur la technologie UWB (Ultra-Wide Band), qui est populaire pour le positionnement des robots en environnement intérieur en raison de son coût modéré et sa haute précision. Par conséquent, une partie de notre travail est consacrée à la correction des erreurs de mesure UWB afin de fournir un système de navigation opérationnel. En particulier, nous proposons une méthode de calibration des biais systématiques et un algorithme d'atténuation des trajets multiples pour les mesures de distance en milieu intérieur. Ensuite, nous proposons des Fonctions de Coût de Localisabilité (FCL) pour caractériser la géométrie du SMR, et sa capacité à se localiser. Pour cela, nous utilisons la Borne Inférieure de Cramér-Rao (BICR) en vue de quantifier les incertitudes de positionnement. Par la suite, nous fournissons des schémas d'optimisation décentralisés pour les FCL sous l'hypothèse de MRs gaussiennes ou log-normales. En effet, puisque le SMR peut se déplacer, certains de ses robots peuvent être déployés afin de minimiser la FCL. Cependant, l'optimisation de la localisabilité doit être décentralisée pour être adaptée à des SMRs à grande échelle. Nous proposons également des extensions des FCL à des scénarios où les robots embarquent plusieurs capteurs, où les mesures se dégradent avec la distance, ou encore où des informations préalables sur la localisation des robots sont disponibles, permettant d'utiliser la BICR bayésienne. Ce dernier résultat est appliqué au placement d'ancres statiques connaissant la distribution statistique des MRs et au maintien de la localisabilité des robots qui se localisent par filtrage de Kalman. Les contributions théoriques de notre travail ont été validées à la fois par des simulations à grande échelle et des expériences utilisant des

SMRs terrestres. Ce manuscrit est rédigé par publication, il est constitué de quatre articles évalués par des pairs et d'un chapitre supplémentaire.

Mots clés : Positionnement, Ultra-Large Bande, Robotique, Réseaux de capteurs, Navigation, Multi-robot

Summary: In mobile robotics, accurate position estimation is crucial. For both reliability and efficiency reasons robotics swarms applications are in expansion. To deploy such a network, each robotic agent has to be accurately localized in order to perform its own task. Our goal is to design a system providing autonomous motion planning for robotic swarms in order to keep the more accurate position estimates. The robots of this swarm are equipped with UWB (Ultra-Wide Band) transceivers providing high-precision of the position estimates. Localization system is a network made up of fixed and embedded UWB transceivers. Each node are synchronized with PTP-based (Precise Time Protocol) protocol, and is able to be localized with TOA (Time of Arrival). A large number of eavesdropping “clients” nodes can be localized by the same method. The system is designed to be used without external measurement and indoor workspaces.

Keywords: Positionning, Ultra-Wide Band, Robotics, Sensor networks, Navigation, Multi-robot