



■ Calcul par intervalles pour la robotique mobile intelligente

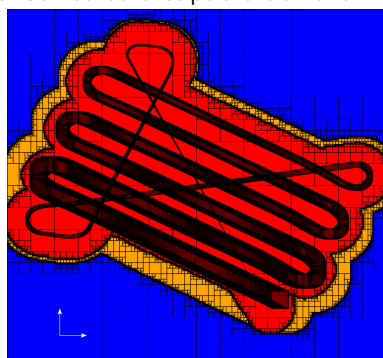
Lab-STICC / Robotique d'exploration | **Luc JAULIN**
UBO, ENSTA Bretagne | lucjaulin@gmail.com

Membres impliqués ¹

- Benoît ZERR, PR
- Fabrice LE BARS, MCF
- Simon ROHOU, MCF
- Damien MASSÉ, MCF

Contexte

Ces dernières décennies, la robotique mobile s'est développée largement dans des milieux structurés et déjà cartographiés. Dans des environnements inconnus et non-structurés, comme les planètes lointaines, les volcans, des grottes profondes, des zones irradiées, des veines karstiques, les bâtiments en feu, les fonds marins, la robotique change de nature. Non seulement, elle devient indispensable car l'humain peut difficilement intervenir de façon sécurisée, mais souvent l'opérateur ne peut plus aider les robots par téléopération. Ces derniers doivent alors posséder un maximum d'autonomie et d'intelligence afin de pouvoir accomplir leur mission. On parle alors de robotique exploratoire car le robot doit cartographier son environnement, prendre des décisions, se localiser et être capable de revenir.



Objectif

AU Lab-STICC (UMR 6285), nous cherchons à développer les outils théoriques à base de calcul par intervalles afin concevoir des algorithmes intelligents permettant à des robots d'accomplir une mission d'exploration de façon autonome. Sous certaines hypothèses sur l'environnement et la dynamique du robot, nous nous intéressons à garantir des propriétés comme l'évitement d'une zone interdite, le respect de contraintes sur l'état du système, l'intégrité de la localisation et la capacité de revenir au point de départ. Nous nous efforçons à prendre en compte avec rigueur tout type d'incertitude, d'obtenir des solutions théoriquement élégantes, et de faire des validations expérimentales convaincantes en collaboration avec des partenaires industriels.

Outils théoriques

Nous focalisons sur les outils ensemblistes, l'interprétation abstraites, la commande non-linéaire et l'inférence bayésienne/ensembliste. Nous cherchons à représenter et à propager les incertitudes de la façon la plus rigoureuse possible sans faire d'approximations non maîtrisées, comme celles induites par la linéarisation, la quantification ou la discrétisation. Dans nos problèmes, les variables incertaines sont être la carte de l'environnement, les données capteur, la trajectoire des robots [9] [10], les prises de décision passées ou futures, la dynamique des robots [7] et les interventions humaines. La modélisation de ces différents types d'incertitude demande une réflexion et

1. Seules sont représentées les personnes impliquées dans la thématique ###THEME###.



l'élaboration d'outils capables de répondre à nos objectifs [5]. Ces outils sont généralement à base de programmation par contraintes [4] et par contracteurs [1] [2].

La figure montre la zone explorée par un robot sous marin, avec la zone explorée à coup sûr (en rouge), la zone qui n'a pas été vue (bleu), et la pénombre [3] qui a peut être été vue (orange). Le calcul est fait à l'aide de capteurs proprioceptifs uniquement [6]. Cette figure est donc une illustration d'un ensemble incertain [3].

Expérimentations

Un des principes de notre équipe est que chaque expérimentation doit être une preuve de concept associé à un résultat théorique original. De même tous les développements théoriques devront aller jusqu'à une expérimentation robotique. Nous cherchons à nous limiter à des problèmes d'exploration par des robots en cherchant à garantir certaines propriétés dictées par un cahier des charges, comme la non intrusion dans une zone interdite ou bien la capacité à revenir à la position initiale. La figure ci-dessous montre le voilier BRAVE capable de naviguer à l'ancienne, sans GPS, à l'aide de la vision.



Exemples

Nous donnons ici quelques exemples illustratifs de problèmes qui se font avec des collaborations industrielles.

1. (Avec ECA) Concevoir et réaliser un robot sous marin intelligent capable d'explorer son environnement seul, sans refaire surface

pour capter le GPS, avec un sonar comme unique capteur extéroceptif [8].

2. (Avec le DRASSM) Réaliser, dans un monde sous marin, un suivi d'isobath dans un but d'explorer et revenir, avec un simple écho-sondeur. L'idée finale est de faire une carte magnétique du fond marin afin de retrouver une épave : La Cordelière, coulée en 1512.

3. (Avec DGA-TN) Réaliser la capture d'un robot par plusieurs robots dans un environnement incertain et non structuré.

4. (Avec Ifremer) Concevoir des robots dérivants capables de faire de très longues distances dans l'océan en utilisant les courants marins comme moyen de propulsion.

Références

- [1] G. Chabert and L. Jaulin. Contractor Programming. *Artificial Intelligence*, 173 :1079–1100, 2009.
- [2] B. Desrochers and L. Jaulin. A minimal contractor for the polar equation; application to robot localization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 55 :83–92, 2016.
- [3] B. Desrochers and L. Jaulin. Thick set inversion. *Artificial Intelligence*, 249 :1–18, 2017.
- [4] L. Jaulin. Pure range-only slam with indistinguishable marks. *Constraints*, 21(4) :557–576, 2016.
- [5] L. Jaulin and G. Chabert. Resolution of nonlinear interval problems using symbolic interval arithmetic. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(6) :1035–1049, 2010.
- [6] L. Jaulin and B. Desrochers. Introduction to the algebra of separators with application to path planning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 33 :141–147, 2014.



- [7] T. Le Mézo, L. Jaulin, and B. Zerr. An interval approach to compute invariant sets. *IEEE Transaction on Automatic Control*, 62 :4236–4243, 2017.
- [8] S. Rohou, P. Franek, C. Aubry, and L. Jaulin. Proving the existence of loops in robot trajectories. *International Journal of Robotics Research*, 2018.
- [9] S. Rohou, L. Jaulin, M. Mihaylova, F. Le Bars, and S. Veres. Guaranteed Computation of Robots Trajectories. *Robotics and Autonomous Systems*, 93 :76–84, 2017.
- [10] S. Rohou, L. Jaulin, M. Mihaylova, F. Le Bars, and S. Veres. Reliable non-linear state estimation involving time uncertainties. *Automatica*, pages 379–388, 2018.