

Sujet de la thèse : Recherche d'une épave par un groupe de robots sous-marins.

Candidat : Joris Tillet, qui sera Ingénieur ENSTA-Bretagne en septembre 2018 avec un diplôme de master recherche en robotique.

Directeur de thèse. Luc Jaulin.

1ère partie : problématique générale.

On s'intéresse ici à trouver une épave au fond de l'océan dans une zone relativement grande en utilisant un groupe de robots chercheurs. Ces derniers ne doivent pas refaire surface et ne peuvent donc pas utiliser le GPS pour se localiser pendant la mission. Les robots peuvent collaborer afin de se localiser (par mesure de distance, par exemple) avec une meilleure précision ou aussi afin de trouver l'épave plus rapidement et développant des stratégies de recherche adaptées.

L'épave à trouver peut être repérée des magnétomètres, ce qui est particulièrement intéressant si l'épave est enfuie et contient du métal. Elle peut également être visible par une caméra sous-marine ou bien, ce qui est plus adapté au monde sous-marin, par un sonar latéral.

La difficulté qui nous préoccupe est de pouvoir démontrer que la procédure recherche permet de garantir à coup sûr, sous certaines conditions réalistes, que l'épave sera trouvée. Ou de façon équivalente, un échec de la mission pourra être considéré comme une preuve de la non-présence de l'épave.

La garantie se fait relativement à des hypothèses ensemblistes où la dynamique des robots chercheurs est bien connue. La bathymétrie de la zone est supposée disponible et sera utilisée pour la localisation. Un modèle de perception, qu'il soit magnétique, acoustique, ou autre est donné : nous savons ce que nous cherchons.

Nous nous placerons dans un contexte où les espaces à explorer sont grands avec un nombre de robots relativement limité.

Le cas d'application qui nous intéressera sera la recherche de la Cordelière dont une première étude peut se trouver sur

<https://www.ensta-bretagne.fr/jaulin/cordelière.html>

Cette thèse se fera donc un lien avec le DRASSM et sera également suivie par Michel L'Hour.

2ième partie : programme de la thèse

L'objectif de cette thèse est de développer des méthodes certifiées capables de permettre à un groupe de robots retrouver une épave peu visible dans un grand espace. La garantie pourra être établie en combinant des méthodes formelles avec des méthodes numériques ensemblistes à base de calcul par intervalles.

La première étape sera une reformulation du problème en termes académiques de façon à pouvoir appliquer les outils de résolution existants.

Le caractère distribué est également à prendre en compte car nous disposons de plusieurs robots avec des capacités de communication limitées.

Les contraintes sont de trois types :

- *Les contraintes différentielles.* Les robots chercheurs ont une dynamique bien connue. Leur rayon de courbure, leur accélération, etc. sont supposées bornées. Ces contraintes peuvent être modélisées par des équations d'état ou des inclusions différentielles.
- *Les contraintes d'état pour les robots.* Les robots doivent rester dans une zone prédéfinie et ne pas en sortir. Ces contraintes doivent être vérifiées à chaque instant et pour chaque robot chercheur.
- *Les contraintes inter-robots.* Pour certains scénarios, les robots doivent être capables de communiquer avec un certain débit, pouvoir se voir localiser et se partager la mission. Si ces contraintes ne sont pas satisfaites, le bon déroulement de la mission ne peut plus être garanti.

Les outils théoriques utilisés pour faire les preuves de bon fonctionnement du système combineront les outils du calcul par intervalles et ceux du *model checking*. Ces méthodes ont en effet montré qu'elles pouvaient calculer de façon efficace des bassins de capture, des noyaux de viabilité ou des invariants de systèmes dynamiques.

Comme exemple d'application plus spécifique, cette thèse s'intéressera à la recherche d'une épave qui pourra être celle de la Cordelière qui a coulé au large de Brest le 10 août 1512. Elle sera donc suivie par le DRASSM.

Le candidat recherché doit avoir des compétences en programmation, en robotique et en automatique. Le travail pourra se décomposer comme suit.

- Faire une étude bibliographique sur les différents systèmes utilisés pour rechercher un objet par un groupe de robots chercheurs.
- Comprendre sur les méthodes par intervalles avec leur utilisation pour la sécurité des systèmes dynamiques.
- Lire la littérature le calcul dans un contexte distribué et faiblement communiquant.
- Etudier les méthodes de *model checking* et leur utilisation dans l'étude

des propriétés des systèmes dynamiques continus.

- Développer des méthodes par contracteurs pour effectuer une preuve théorique de recouvrement total d'une zone.
- Proposer un démonstrateur sur des robots réels permettant de valider la méthode.

La thèse se déroulera à l'ENSTA Bretagne.

3ème partie : références de l'équipe sur le sujet et bibliographie avec 5 références principales

Au Lab-STICC, nous travaillons depuis 10 ans sur les méthodes par intervalles et leurs applications pour les systèmes dynamiques.

Ci-dessous quelques exemples de publications récentes de notre équipe brestoise sur ce domaine.

[1] B. Desrochers and L. Jaulin (2016). A Minimal Contractor for the Polar Equation; Application to Robot Localization, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 55, Pages 83-92.

[2] T. Le Mézo, L. Jaulin and B. Zerr (2017). An interval approach to compute invariant sets. *IEEE Transaction on Automatic Control*. Volume 62, Number 8, Pages 4236-4243,

[3] S. Rohou, L. Jaulin, M. Mihaylova, F. Le Bars and S. Veres (2017). Guaranteed Computation of Robots Trajectories. *Robotics and Autonomous Systems*. Volume 93, Pages 76-84.

[4] B. Desrochers and L. Jaulin (2017). Computing a guaranteed approximation the zone explored by a robot. *IEEE Transaction on Automatic Control*. Volume 62, Issue 1, pages 425-430.

[5] B. Desrochers and L. Jaulin (2017). Thick set inversion. *Artificial Intelligence*. Volume 249, Issue C, Pages 1-18.