

## Sujet de thèse pour Morgan Louédec

### 1 Titre ou intitulé de la thèse

Stratégies de coopération d'une flotte de robots sous-marins pour réalisation de missions autonomes.

La thèse sera encadrée par Luc Jaulin (HDR) et Christophe Viel.

### 2 Objet de la thèse (5 lignes maximum)

Cette thèse a pour objet l'étude et le développement de stratégies robustes et fiables pour la coopération d'un groupe de robots sous-marins autonomes pour des missions d'exploration complexes et dans des environnements non structurés et mal connus. L'environnement considéré sera l'océan, ou plus précisément les fonds marins sans possibilité d'utiliser le GPS pour se localiser.

### 3 Descriptif de la thèse (1 page environ)

Cette thèse vise à étudier et développer des méthodes de coopération pour une flotte de véhicules sous-marins autonomes pour des missions complexes. Ces robots devront évoluer dans leur environnement en étant soumis

- (i) aux contraintes naturelles (courants, obstacles),
- (ii) aux contraintes liées à leur nombre comme la collision inter-robots, l'emmêlement des câbles, la cohésion du groupe (chaque robot doit pouvoir émettre indirectement un message à chaque autre robot) et
- (iii) aux contraintes de communications qui restent limitées et partielles dans un environnement sous-marin.

Le but de cette flotte de robots est d'effectuer des tâches d'exploration sous marine [1], de reconnaissance, de détection de la présence de polluants, de surveillance, de missions archéologiques sous-marines, d'estimation de la signature électrique d'un bateau, de détection de mines, etc.

Dans cette thèse, nous allons nous intéresser à des méthodes numériques permettant la validation des missions. Cette validation peut se faire *a priori*, avant même le lancement de la mission. C'est le cas par exemple si nous voulons garantir qu'un certain cahier des charges sera respecté et ceci dans le pire des cas. Cette validation peut se faire également *a posteriori* alors que l'ensemble des données de missions sont désormais disponibles. Par exemple, une fois la mission effectuée, nous voulons certifier qu'aucun des robots n'est rentré dans la zone interdite et que la zone à explorer a effectivement été couverte [2].

Pour représenter les incertitudes, nous considérerons à la fois l'approche ensembliste [3], probabiliste [4] ou possibiliste [5] et en tentant de les faire collaborer.

Les méthodes développées devront prendre en compte l'environnement sous marin [6] et donc considérer qu'un système de localisation absolue comme le GPS n'est pas disponible. Il faudra donc probablement reconstruire une carte lors de la navigation [7].

Le travail sera d'abord testé en simulation, puis en bassin, et enfin en condition réelle.

[1] J. Leonard and H. F. Durrant-Whyte (1992). Dynamic map building for an autonomous mobile robot. *International Journal of Robotics Research*, 11(4).

[2] 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.

[3] L. Jaulin, M. Kieffer, O. Didrit, and E. Walter (2001). *Applied Interval Analysis, with Examples in Parameter and State Estimation, Robust Control and Robotics*. Springer-Verlag, London, 2001.

[4] J. Leonard and H. F. Durrant-Whyte (1992). Dynamic map building for an autonomous mobile robot. *International Journal of Robotics Research*, 11(4).

[5] D. Dubois and H. Prade (1988). *Possibility Theory*. Plenum, New York.

[6] A. Elfes. *Sonar-based real world mapping and navigation* (1987). *IEEE Transactions on Robotics and Automation*.

[7] U. Frese (2006). *A discussion of simultaneous and mapping*. *Autonomous Robots*.

[8] L. Jaulin (2011). *Range-only SLAM with occupancy maps; A set-membership approach*. *IEEE Transaction on Robotics*

#### 4 Programme de la thèse (2 à 4 pages)

Afin de traiter le problème de la coopération d'un groupe de robots sous-marins dans le but de réaliser des missions d'exploration autonomes, il conviendra d'étudier les sujets suivants :

- Définition d'un formalisme adapté pour modéliser la dynamique d'un groupe de robots.
- Prise de décision collective à partir d'informations non centralisées
- Communication avec un débit souvent faible et des robots capables de communiquer uniquement sous certaines conditions.
- Localisation de chaque robot. On s'intéresse à la fois à une localisation géo-référencée de chaque robot, mais également à une localisation relative vis à vis des autres robots.

- Choix du type de communications entre agents (optique-acoustique) pour partager des informations et assurer la coopération. Les informations à transmettre sont également à choisir de façon pertinente.
- Évitement de la collision entre les différents robots des milieux marins où les courants ou une mauvaise localisation peuvent être à l'origine de déplacements imprévus et incontrôlés.
- La planification de trajectoire afin d'éviter les collisions, éviter de gêner la visibilité des autres véhicules, et éviter l'emmêlement des câbles.

Enfin, dans un but d'obtenir des méthodes fiable et intègres, nous allons chercher à utiliser des méthodes de calcul ensembliste. Cela nous permettra de garantir le succès de la mission tout en prenant en compte les différentes incertitudes sur l'estimation de l'état, et la mauvaise connaissance a priori des débits de communication. Une version probabiliste et une version possibiliste seront également étudiées. Cela pourra nous permettre de donner un niveau d'intégrité ou un indice de confiance, que ne nous permet pas d'obtenir une méthode ensembliste seule.

La propagation de l'incertitude, à travers les équations différentielles qui régissent la dynamique des robots sera à étudier proprement. En effet, cette propagation est celle que l'on retrouve derrière les méthodes de navigation à l'estime ou très peu de mesures extéroceptives sont disponibles.

En ce qui concerne les applications, nous envisagerons les scénarios suivants

- chercher à explorer le fond de l'océan afin d'en faire une carte magnétique, par exemple pour la recherche de mines, ou d'épaves enfouies;
- caractériser la signature électrique et magnétique d'un bateau à partir de mesures sous-marines effectuées par les robots.
- Chercher à faire un parcours et revenir sans avoir à refaire surface pour prendre un point GPS.

Le candidat recherché doit avoir des compétences en programmation, en robotique, en mécanique et en automatique.

Le travail de thèse pourra se décomposer comme suit.

- Faire une étude bibliographique sur les différentes stratégies pour de coopération d'un groupe de robots.
- Faire une étude bibliographique sur les outils ensemblistes, probabilistes et possibilistes afin de pouvoir garantir ou quantifier le succès de la mission et démontrer que les contraintes exigées seront respectées.
- Étudier différents scénarios pouvant être envisagés pour illustrer la navigation et la prise de décision collaborative.
- Développer des méthodes de localisation distribuée pour des robots faiblement communicants.
- Proposer un démonstrateur permettant de valider les outils développés dans un environnement entièrement sous-marin.

## 5 Références (5 références principales, par exemple)

L'équipe d'accueil est Robex <https://www.ensta-bretagne.fr/robex/>

Robex s'est spécialisée dans la robotique d'exploration avec une forte coloration robotique sous marine.

Voici 5 publications de l'équipe qui concernent la coopération de robot dans un contexte marin.

C. Viel, U. Vautier, J. Wan and L. Jaulin (2019). *Platooning control for heterogeneous sailboats based on constant time headway*, *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, Vol. 21, No 5, pp 2078-2089.

S. Rohou, L. Jaulin, M. Mihaylova, F. Le Bars and S. Veres (2017). *Guaranteed Computation of Robots Trajectories*. *Robotics and Autonomous Systems*. .

T. Le Mézo, L. Jaulin and B. Zerr (2017). *An interval approach to compute invariant sets*. *IEEE Transaction on Automatic Control*.

S. Rohou, L. Jaulin, M. Mihaylova, F. Le Bars and S. Veres (2018). *Reliable non-linear state estimation involving time uncertainties*. *Automatica*.

S. Rohou, P. Franek, C. Aubry and L. Jaulin (2018). *Proving the existence of loops in robot trajectories*, *International Journal of Robotics Research*.

Il existe également une publication, fait pendant le stage de master du candidat Morgan Louédec qui montre l'intérêt qu'il porte au sujet. L'article est en deuxième phase d'évaluation.

*Morguan Louédec et Luc Jaulin : "Interval Extended Kalman Filter ; Application to underwater localization of robots". Submitted.*