

Sujet de thèse

Validation a priori d'une mission robotique

1. Titre ou intitulé de la thèse

Validation a priori d'une mission robotique

2. Objet de la thèse (5 lignes maximum)

L'objectif de cette thèse est de concevoir des outils numériques et formels pour prouver *a priori* qu'un robot pourra satisfaire des objectifs de mission, en fonction des mesures de navigation que le robot pourra prendre en cours de mission.

3. Descriptif de la thèse (1 page environ)

On considère ainsi un robot évoluant en environnement peu connu (comme des fonds marins), ne pouvant obtenir que quelques mesures extéroceptives (comme la distance à des balises) permettant de se localiser imparfaitement en cours de mission. Ces mesures doivent permettre au robot de corriger sa trajectoire afin de parvenir à un objectif (zone définie). L'objectif est de pouvoir démontrer a priori que pour toutes les mesures possibles, en prenant en compte les incertitudes et les conditions du milieu, le robot parviendra à son objectif.

Cette validation doit pouvoir être garantie par l'utilisation de formalismes maîtrisant les approximations, comme les approches ensemblistes ou l'analyse par intervalles. Le doctorant pourra s'appuyer sur les formalismes et outils développés au sein de l'équipe Robex et s'inspirer d'approches existantes en d'autres contextes (vérification de propriétés temporelles, automates hybrides) pour ses travaux. Ceux-ci pourront comprendre la description formelle des propriétés à valider, la conception de nouvelles approches ou l'adaptation d'approches existantes permettant de valider ces propriétés, et éventuellement vérifier l'intérêt de l'approche par le développement d'un prototype.

Lien avec les thématiques prioritaires

La maîtrise des fonds marins demande la capacité de façon autonome dans un environnement où les capacités de localisation sont extrêmement réduites. De plus l'absence de balise et le non fonctionnement du GNSS sous l'eau demande des outils de navigation fiables, ce que propose cette thèse.

De plus, l'utilisation de méthodes bas coût comme celle proposée ici permet un développement massif de la présence sous l'eau et permet donc une surveillance étroite de ce qu'il s'y passe. Une meilleure surveillance accompagnée d'une prise de mesure continue permet de mieux comprendre les enjeux climatiques et d'anticiper des réponses convaincantes au défi qui nous attend.

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

Questions scientifiques. Lors de missions robotiques en environnements inconnus et non-structurés comme par exemple les fonds marins, il n'est souvent pas possible d'assurer la téléopération des robots par un opérateur humain. Le robot doit donc pouvoir effectuer sa mission avec un maximum d'autonomie et d'intelligence. La localisation du robot de façon garantie, ainsi que l'exploration de l'environnement de façon sécurisée sont alors des enjeux essentiels. L'équipe Robex cherche ainsi à développer des algorithmes et outils intelligents permettant à des robots d'accomplir une mission d'exploration de façon autonome. Afin d'assurer le bon fonctionnement de la mission, nous cherchons à garantir a priori, avant le déroulement de la mission, des propriétés comme l'évitement de certaines zones, le retour au point de départ, et de façon générale le respect de contraintes sur l'état du système. Cette doit prendre en compte rigoureusement les sources d'incertitude et doit donc aller au-delà de simulations.

Approche proposée. Des approches ensemblistes, sous différents formalismes comme le calcul par intervalles ou l'interprétation abstraite, permettent de prendre en compte les sources d'incertitude de façon rigoureuse. Des outils basés sur ces approches permettent ainsi d'approximer les états accessibles d'un système dynamique grâce à l'intégration garantie d'une équation différentielle. Un tel système dynamique peut permettre de représenter le robot dans son environnement. Plusieurs obstacles existent pour l'adaptation de ces outils à la vérification a priori des missions robotiques en environnement peu connu. Dans un environnement structuré où la localisation est aisée, le robot peut par exemple utiliser en temps-réel des mesures de sa position pour corriger sa trajectoire. Cette prise en compte des mesures peut se faire directement dans la formalisation du système dynamique en équation différentielle. A l'inverse, dans un environnement où les mesures sont rares et peu précises, il n'est pas possible pour l'instant de prendre en compte a priori de ces mesures (sur l'ensemble des valeurs mesurées possibles). Un autre obstacle pour la conception d'un outil utilisable sur des missions concrètes est la difficulté de formaliser les conditions recherchées afin de les traduire dans les outils développés. Enfin, il convient d'assurer que les abstractions utilisés (intervalles, polyèdres...) sont suffisamment précis pour garantir les propriétés recherchées, tout en gardant un temps de calcul acceptable.

Plan de travail. Ce projet de thèse s'appuie sur des outils et méthodes développés au sein de l'équipe (tubes, mazes, Codac...) ainsi que sur son expertise en expérimentation robotique. L'extension d'un outil d'intégration garanti à d'autres formalismes mathématiques (par exemple les équations différentielles retardées) peut servir de point d'appui à la prise en compte de mesures en cours de mission. Une autre piste est de spécialiser les abstractions afin de conserver des relations entre mesures faites à des instants fixés et états accessibles après ces mesures. Ces deux pistes peuvent bénéficier en particulier de la représentation temporelle des états sous forme de tubes. La formalisation des spécifications temporelles peut s'inspirer d'approches existantes dans les systèmes discrets (logiques temporelles) ou hybrides (automates hybrides), qui doivent être adaptés au contexte. Le développement et l'expérimentation d'un prototype peut enfin permettre de valider la précision de l'approche sur des missions robotiques simples.

Environnement scientifique

La validation a priori d'une mission robotisée est une étape indispensable pour pouvoir lancer une mission sous-marine. On ne peut de permettre de perdre un robot pour des raisons financières et pour des raisons écologiques. Or, dans un contexte d'exploration sous-marines, seules des missions autonomes peuvent être envisagées.

De telles missions peuvent permettre

- la cartographie, bathymétrie ou magnétique des fonds de l'océan
- de retrouver une épave
- de sécuriser une zone (dans un contexte de guerre des mines)
- de surveiller le vieillissement d'une infrastructure offshore, etc.

Collaborations scientifiques (nature/partenariat/pays) et partenariat socio-économique envisagé

Pour les expérimentations, nous pensons pouvoir collaborer avec des entreprises locales travaillant sur la robotique sous-marine comme (ECA/iXBlue, Cyber, RTSys ou Pixel sur mer).

5. Références (5 références principales, par exemple)

La thèse se déroulera à l'ENSTA-Bretagne dans l'équipe Robex :

<https://www.ensta-bretagne.fr/robex/>

au sein du laboratoire Lab-STICC.

Cette équipe cherche à développer les outils académiques 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, elle s'intéresse à garantir certaines 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.

Ci dessous vous trouverez quelques publications récentes de l'équipe sur le sujet de cette proposition.

[1] M. Louedec, L. Jaulin and C. Viel (2023). Computational tractable guaranteed numerical method to study the stability of n-dimensional time-independent nonlinear systems with bounded perturbation, *Automatica*.

[2] S. Rohou and L. Jaulin (2023). Brunovsky decomposition for dynamic interval localization, *IEEE Transactions on Automatic Control*.

[3] L. Jaulin (2022). Actions of the hyperoctahedral group to compute minimal contractors, *Artificial Intelligence*, Volume 313.

[4] J. Damers, L. Jaulin and S. Rohou (2022). Lie symmetries applied to interval integration, *Automatica*, Volume 144. T. Le Mézo, L. Jaulin, D. Massé and B. Zerr (2022). Kleene Algebra to Compute Invariant Sets of Dynamical Systems, *Algorithms* .

[5] T. Le Mézo, L. Jaulin, D. Massé and B. Zerr (2022). Kleene Algebra to Compute Invariant Sets of Dynamical Systems, *Algorithms*