

Sujet de thèse pour Mirado Rajaomarosata

Encadrement. Luc Jaulin (40%), Simon Rohou (30%), Lionel Lapierre (30%)

Contexte. Cette thèse est une composante d'une initiative de recherche mondiale, appelée Robots for Karst Exploration (REK) consacrée au développement de systèmes robotiques pour l'exploration du karst. L'application principale de ce nouvel outil robotique est l'évaluation des ressources en eau souterraine.

Le karst est généralement constitué d'un réseau de conduits naturels souterrains. Ces derniers drainent les eaux souterraines à grande échelle, de leur bassin versant intérieur jusqu'à leurs exurgences marines. Ils fournissent de l'eau potable à des millions de personnes dans le monde et, lors de fortes pluies, ils peuvent être le siège de violents transferts de charges qui peuvent provoquer des inondations dramatiques et soudaines dans des zones fragiles et imprévisibles.

La connaissance et l'exploration de karsts est donc une priorité, à la fois pour subvenir aux besoins en eau potable, mais également afin de pouvoir limiter et prévenir les catastrophes.

Objectifs. L'objectif de la thèse est de développer un robot hautement manœuvrable et fiable, capable de se déplacer dans un environnement confiné, aquatique et non structuré. Une possibilité serait un système robotique polyarticulé de type anguilliforme. Les avantages seront d'obtenir un système compact capable d'évoluer dans un environnement très étroit, avec une géométrie d'actionnement variable qui peut faire face à un fort courant (dans le cas d'une réduction de la section karstique qui produit une augmentation du courant d'eau) ou offrir une manœuvrabilité totale et élevée lorsque le maintien de la station est nécessaire. De plus, dans un environnement karstique, une téléopération est quasiment impossible du fait d'une transmission hertzienne de longue portée impossible et d'une transmission filaire à proscrire pour éviter de rester bloqué. De ce fait, une autonomie minimale sera à concevoir.

Méthode. En plus du développement des lois de commande pour de tels systèmes qui sont particulièrement difficiles à concevoir (Xiang et al, 2015), il faudra mettre en place le bloc de navigation. En effet, pour se déplacer, sans se perdre, il conviendra de

générer un comportement réactif qui amène naturellement le robot à s'éloigner le plus possible des parois et à pénétrer de manière autonome le plus loin possible dans le labyrinthe karstique, et ceci, tout en étant capable de revenir au point de départ. Cette capacité à revenir de façon autonome est un verrou académique qu'il conviendra de lever.

Capteurs. Pour la navigation différents types de capteurs peuvent être envisagés comme par exemple une caméra (sachant que la clarté de l'eau dans un contexte souterrain ne peut être garantie), le sonar (sachant que dans un environnement confiné, les échos, les trajets multiples et les interférences potentielles entre les dispositifs acoustiques peuvent complexifier le traitement), le sens électrique (Boyer et al 2011) (sachant que l'interprétation de ce type de capteur est un des sujets de recherche de cette étude) et le magnétisme (sachant que de fortes perturbations sont à prévoir dans les environnements étudiés). La fusion capteur ainsi que la capacité à discriminer les données aberrantes et données significatives sont des éléments à étudier.

Validation. En parallèle du développement du système robotisé, qui pourra se faire avec la collaboration des autres acteurs du projet, la thèse cherchera à valider des solutions retenues en utilisant des outils numériques de validation. Plus particulièrement, nous pensons aux méthodes de calcul par intervalles en plein essor dans le domaine de la robotique mobile.

Les validations à effectuer pourront concerner à la fois la conception poly-articulée du robot, la garantie de pouvoir revenir au point de départ, et enfin la localisation pour laquelle une intégrité forte est demandée.

La localisation est en effet un des points clefs de l'exploration karstique dans cet environnement totalement dépourvu de GPS. La méconnaissance des environnements explorés nous demandera de construire une carte tout en cherchant à se localiser. Pour cela, il faudra probablement proposer une approche de type SLAM fondée sur une approche ensembliste. Dans un environnement non structuré, l'approche à retenir sera apparentée au SLAM de type bathymétrique (Rohou et al, 2017) particulièrement adapté aux environnements non structurés (tel que le karst). Les garanties apportées par l'approche ensembliste permettent d'effectuer un contrôle en ligne fiable des performances de localisation et d'adapter la méthode de localisation et de contrôle à des événements imprévus. Une telle approche nous permettrait d'éviter le déploiement de dispositifs de localisation lourds à la surface.

(Rohou et al, 2017) S Rohou, L Jaulin, L Mihaylova, F Le Bars, S M. Veres, Reliable robot localization: a constraint-programming approach over dynamical systems, ISTE, Wiley

(Xiang et al, 2015) X Xiang, L Lapierre, B Jouvencel, Smooth transition of AUV motion control: From fully-actuated to under-actuated configuration. Robotics and Autonomous Systems 67, 14-22

(Boyer et al 2011) F Boyer, PB Gossiaux, B Jawad, V Lebastard, M PorezModel for a sensor inspired by electric fish. IEEE transactions on robotics 28 (2), 492-505