

Proposition de Sujet de thèse de Doctorat **Laboratoire COSMER – EA 7398**

Sujet: *Coordination de systèmes sous-marins : vers une méthodologie intégrée orientée objet dans un environnement Opensource*

Directeur de thèse : Thierry SORIANO (PU), chercheur-associé COSMER-SEATECH

Description du sujet de thèse :

Les Véhicules Sous-marins Autonomes/Bateaux Autonomes Non-habités (VSA/BAN) sont de plus en plus utilisés pour l'arpentage d'océans dans les domaines scientifiques et de la défense. Certains sont déjà exploités dans des applications commerciales en raison de l'amélioration significative de leurs performances. Ils sont amenés à évoluer en groupe.

Le choix d'un schéma d'architecture de commande générique permettant de gérer un ensemble de véhicules coopératifs est d'une importance capitale pour assurer l'interopérabilité des engins.

Dans un schéma centralisé, les actions de tous les véhicules sont décidées par un seul élément en utilisant toutes les informations disponibles. Cela permet d'élaborer les actions des différents véhicules à la fois, et de faciliter leur synchronisation et leur optimisation. Cela nécessite cependant un calcul potentiellement lourd pour résoudre le problème centralisé unique qui peut limiter le nombre de véhicules à prendre en compte. Cela exige également un niveau élevé de robustesse des liaisons de transmission afin de garder une trace de tous les véhicules. Enfin, l'élément responsable du calcul de commande pourrait représenter une source de panne irréversible si aucun autre élément n'était capable de prendre sa place.

Dans un schéma décentralisé, le contrôle distribué réduit la charge de calcul par rapport au cas où chaque véhicule calcule sa propre entrée de commande, et permet donc une meilleure évolutivité et une certaine robustesse. Si une défaillance se produit sur l'un des véhicules, il reste possible de réaffecter la mission sur la flotte restante, ce qui augmente la robustesse vis-à-vis de la mission. Les inconvénients sont à évaluer précisément ; les capacités de calcul disponibles de chaque véhicule peuvent être un facteur limitant pour résoudre des problèmes complexes; les informations disponibles sur d'autres véhicules peuvent être inexactes, incomplètes ou connues avec un retard et donc il existe un risque de collision non négligeable en cas de dysfonctionnement. Le travail proposé dans le cadre de cette thèse explorera en détail la modélisation et la quantification de ces aspects de performance et de robustesse [1], [5], [6], [15], [22].

La conception de lois de commande coopératives exige de prendre en compte le comportement d'un véhicule avec ceux des autres. Pour être plus efficaces, les lois de commande devraient être fondées sur des états actuels et prévus de tous les véhicules [10], [17], [18]. D'autre part, les systèmes de commande prennent en compte des modèles à événements discrets et des modèles de comportement continu : ce sont des systèmes dynamiques hybrides [2]. Ces modèles se distribuent sur différents modes de fonctionnement associés à des traitements liés à l'interactivité avec l'utilisateur. Par ailleurs les systèmes commandés n'ont pas toujours le même comportement car celui-ci est associé à des hypothèses de validité à vérifier à tout instant ; il existe des modes de fonctionnement autres que le mode nominal. Le comportement global de tels systèmes est donc complexe et sera abordé avec des formalismes hybrides. Il est prévu d'avancer sur des scénarios

comportementaux détaillés et sur des algorithmes de commande coopérative dédiés à la coordination de VSA/BAN pour des missions de surveillance.

De surcroît, l'immersion dans un contexte industriel impose au concepteur et au programmeur de la commande de tenir compte des coûts et de l'existant en termes de formalismes et de langages [11], [32].

La réutilisation, la modularité et la spécialisation sont autant d'éléments à associer à la production d'une nouvelle application et sont un point fort des approches objet. Il sera nécessaire d'écrire des règles de personnalisation et de réutilisation des éléments de commande coopérative développés au laboratoire dans des travaux récents. En effet, ce sont des points que nous avons explorés pour le cas d'un seul AUV étudié avec une méthodologie orientée-objet [11], [19] et que nous souhaitons réutiliser et étendre à une collaboration de systèmes pour des nouvelles applications de coordination VSA/BAN. Un protocole de communication suffisamment sûr sera à déterminer [30] [29]. Les communications sous-marines sans fil sont en général basées sur les ondes acoustiques mais des pistes intéressantes à explorer sont les communications de type Li-Fi ou de type Laser qui pourraient être utilisables sur des distances modérées [31].

En ce qui concerne l'environnement et le prototypage, on tirera parti des standards tels que le langage UML/SysML en analyse et conception, en lien avec les environnements Opensource de simulation d'objets physiques tels que Openmodelica et UWSim [25], simulateur de mission sous-marine issu de projets européens récents Fp7 tels que Trident [26].

Une base d'expérimentation existante au laboratoire est constituée par le robot compact et léger Bluerov-2 (Bluerobotics) et son environnement logiciel ArduSub (le laboratoire en possède trois). Cet ensemble, prévu initialement pour des missions en mode téléopération, comporte également un nano-ordinateur de type ARM (Raspberry Pi 3) d'une capacité de calcul suffisante pour envisager potentiellement d'exécuter un code embarqué permettant à l'engin de passer en mode autonome en gérant des informations issues de capteurs sonar ou autres dispositifs optiques de communication.

L'unification des exécutions de prototypes virtuels ou réels s'appuiera sur le système robotique d'exploitation ROS [24] open-source déjà mis en œuvre sur les robots sous-marins du laboratoire.

Durée : 36 mois (du 01 octobre 2017 au 30 septembre 2020).

La proposition de thèse pourrait s'intégrer dans le cadre d'une collaboration existante avec l'Institut Polytechnique de Hanoï (Professeur associé **NGO Van Hien**, chercheur invité en 2016).

Bibliographie:

- [1] Allotta B., Costanzi R., Meli E., Pugi L., Ridolfi A., Vettori G. (2014), Cooperative localization of a team of AUVs by a tetrahedral configuration, *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, ISSN 0921-8890, Volume 62, Issue 8, pp. 1228–1237. 2014.
- [2] Carloni L. P., Passerone R., Pinto A., Sangiovanni V. A., *Languages and Tools for Hybrid Systems Design*, now Publishers Inc., Boston. 2006.
- [3] Douglass B. P., *Real-Time UML Workshop for Embedded Systems*, 2nd Edition, Elsevier. 2014.
- [4] Fritzson P. (2011), *Introduction to Modeling and Simulation of Technical and Physical Systems with Modelica*, Wiley & Sons. 2011.
- [5] Ghommam R., Mahmoud M. S., Saad M., Robust cooperative control for a group of mobile robots with quantized information exchange, *Journal of the Franklin Institute*, Elsevier, ISSN 0016-0032, Volume 350, Issue 8, pp. 2291–2321. 2013.
- [6] Khaleghi A. M., Xu D., Wang Z., Li M., Lobos A., Liu J., Son Y. J., A DDDAMS-based planning and control framework for surveillance and crowd control via UAVs and UGVs, *Journal of Expert Systems with Applications*, Elsevier, ISSN 0957-4174, Volume 40, Issue 18, pp. 7168–7183. 2013.
- [7] Lekkas A. M., *Guidance and Path-Planning Systems for Autonomous Vehicles*, PhD Thesis, NUST, Trondheim, Norway. 2014.
- [8] Lima P. U., Ahmad A., Dias A., Conceição A. G. S., Moreira A. P., Silva E., Almeida L., Oliveira L., Nascimento T. P., Formation control driven by cooperative object tracking, *Journal of Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, ISSN 0921-8890, doi:10.1016/j.robot.2014.08.018, 12 pages. 2014.
- [9] McCune R. R., Madey G. R., Swarm Control of UAVs for Cooperative Hunting DDDAS, *Journal of Procedia Computer Science*, Elsevier, ISSN 1877-0509, Volume 18, pp. 2537–2544. 2013.
- [10] McGillivray P., Coordinating AUV, ASV and UAS Capabilities for Maritime Domain Awareness, CG/DHS/CIMES Persistent Surveillance Workshop, Feb.16th -17th, 2012, Alameda, CA, USA. 2012.
- [11] Ngo V. H., Soriano T., A Model Transformation Process to Realize Controllers of Ship Autopilot Systems by the Specialized MDA's Features with UML/SysML, *IEEE Conference on MECATRONICS-REM*, Paris, France, ISBN 978-1-4673-4771-6, pp. 20-26. 2012.
- [12] OpenModelica, OpenModelica version 1.9.1, Website: <http://www.openmodelica.org>. 2014.
- [13] Ortiz A., Bonnin-Pascual F., Garcia-Fidalgo E., Beltran J. P., A Control Software Architecture for Autonomous Unmanned Vehicles inspired in Generic Components. *Proceedings of IEEE-Mediterranean Conference on Control and Automation*, ISBN 978-1-4577-0123-8, Aquis Corfu Holiday Palace, Corfu, Greece, pp. 1217-1222. 2011.
- [14] Robert G. N., Sutton R. (Eds.), *Advances in Unmanned Marine Vehicles*. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom. 2008.
- [15] Rochefort B., Piet-Lahanier H., Bertrand S., Beauvois D., Dumur D.. Model predictive control of cooperative vehicles using systematic search approach, *Journal of Control Engineering Practice*, Elsevier, ISSN 0967-0661, Volume 32, pp. 204–217. 2014.
- [16] Selic B., Gerard S., *Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded Systems with UML and MARTE*, Elsevier. 2014.
- [17] Shamma J. (Eds), *Cooperative Control of Distributed Multi-Agent Systems*, Wiley. 2007.
- [18] Shen D., Sun W., Sun Z.. Adaptive PID formation control of nonholonomic robots without leader's velocity information, *ISA Transactions*, ISSN 0019-0578, Elsevier, Volume 53, Issue 2, pp. 474–480. 2014.
- [19] Soriano T., Ngo V. H., Tuan K. M., Anh T. V.. An object-unified approach to develop controllers for autonomous underwater vehicles, *IFAC Mechatronics-The Science of Intelligent Machines*, Elsevier <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics.2015.12.011> 0957-4158. Elsevier Ltd. 2016.

- [20] Sousa J. B., Johansson K. H., Silva J., Speranzon A., A verified hierarchical control architecture for coordinated multi-vehicle operations, *Int. J. Adapt. Control Signal Process*, Wiley & Sons, pp. 159–188. 2007.
- [21] Sujit P. B., Sousa, J., Pereira F. L., UAV and AUVs Coordination for Ocean Exploration, *Proceedings of IEEE-OCEANS 2009 EUROPE*, ISBN 978-1-4244-2522-8, pp 1-7. 2009.
- [22] Zhang B., Liu W., Mao Z., Liu J., Shen L., Cooperative and Geometric Learning Algorithm (CGLA) for path planning of UAVs with limited information, *Journal of Automatica*, Elsevier, Volume 50, Issue 3, pp. 809–820. 2014.
- [23] Shihua Li, Xiangyu Wang. Finite-time consensus and collision avoidance control algorithms for multiple AUVs. *Automatica* 49. 3359–3367 Elsevier. 2013.
- [24] Morgan Quigley, Brian Gerkey, Ken Conley, Josh Fausty, Tully Foote, Jeremy Leibs, Eric Bergery, Rob Wheeler, Andrew Ng. ROS: an open-source Robot Operating System. *Conference ICRA*. 2009.
- [25] UWSim. <http://www.irs.uji.es/uwsim/>
- [26] David Ribas and al . I-AUV Mechatronics Integration for the TRIDENT. FP7 Project. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 20, no. 5. 2015
- [27] Olivier Parodi. Simulation hybride pour la coordination de véhicules hétérogènes au sein d'une flottille. Thèse de doctorat. Montpellier. 2008.
- [28] Yan Guo. Perception multimodale pour un robot mobile en milieu marin. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie. 2011.
- [29] Assia Belbachi. Une architecture coopérative pour la localisation de cibles marines avec des véhicules sous-marins. Thèse de doctorat. Université de Toulouse. 2011.
- [30] Lara Brinon. Commande coopérative d'une flotte de véhicules autonomes sous-marins avec contraintes de communication. Thèse de l'université de Grenoble. 2011.
- [31] Harald Haas. LiFi: Conceptions, Misconceptions and Opportunities. *IEEE Photonics Conference (IPC)*. 2016.
- [32] Yang Shi, Chao Shen, Huazhen Fang, Huiping Li. Advanced Control in Marine Mechatronic Systems: A Survey. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. DOI: 10.1109/TMECH.2017.2660528. 2017