

Poste de Doctorant

Petit poucet : Localisation indoor en milieu inconnu

Informations Administratives

Thèse : 36 mois

Date de début : Septembre/Octobre 2017

Lieu de la thèse : 50% Brest, 50% Douai

Ecole doctorale : SICMA (UEB)

Encadrants : Pr. Loïc Lagadec, Pr. Noury Bouraqadi, Dr. Luc Fabresse, Dr. Guillaume Lozenguez

Laboratoires : Lab-STICC UMR CNRS 6285 + Institut Mines Telecom Lille Douai (site Douai)

Pré-requis : Master, fortes compétences en Informatique (Programmation par Objets, ...), une expérience en localisation et robotique (ROS) seraient un plus.

Mots clés : modélisation, optimisation, localisation indoor, cartographie robotique, systèmes multi-robot, ingénierie système

Candidature : adresser CV + rapport de master + 2 lettres de recommandations par email (sujet du mail préfixé par « [PhD-Localisation] » à [loic.lagadec\(AT\)ensta-bretagne.fr](mailto:loic.lagadec(AT)ensta-bretagne.fr) et [luc.fabresse\(AT\)imt-lille-douai.fr](mailto:luc.fabresse(AT)imt-lille-douai.fr)

Problématique générale

La localisation précise d'agents d'intervention d'urgence (sécurité civile, pompiers, ...), de forces de l'ordre et de forces armées dans un milieu fermé et inconnu (environnement non collaboratif) est une fonction opérationnelle de très grande importance. Cet enjeu est d'ailleurs au cœur du challenge MAîtrise de la Localisation INdoor (MALIN), donnant lieu à un appel à projets DGA/ANR.

La principale difficulté consiste à opérer en intérieur, donc sans couverture GPS permettant une localisation précise. Il existe cependant plusieurs approches permettant une localisation indoor, mais celles-ci supposent de disposer de balises émettrices pour effectuer une triangulation. En revanche, la localisation de ces balises doit être précise et la prise en compte de l'atténuation des signaux (typiquement, induite par traversée de murs) est nécessaire.

La seconde difficulté consiste à disposer d'une carte précise des lieux, emplacement des balises compris, alors même que l'environnement est supposé inconnu. Pour cela, une solution consiste à construire une carte par exploration automatique à base de robots mobiles autonomes (volants ou terrestres).

Les robots doivent être équipés de capteurs, détectant les obstacles et les classifiant (sources chaudes par exemple). A mesure que la carte se construit, les robots disposent d'une information – toujours partielle – mais en constante maturation. Par exemple, Il est

assez naturel d'imaginer un parcours pièce par pièce.

L'idée de la thèse est de permettre aux robots de disposer des balises de sorte que la localisation des agents d'intervention soit optimale. Ces agents reçoivent la cartographie acquise dont la finesse dépend des capteurs embarqués sur les robots, et visualisent leur position sur la carte, avec des possibilités de calcul d'itinéraires.

Programme de la thèse

Le problème scientifique consiste à maximiser la qualité des emplacements des balises sous contraintes de capacité d'emport des robots et de temps de constitution de la carte. Il impose la définition de politiques (acceptation de risque, intervention sans scan complet, approche spéculative/conservatrice sur la consommation en balises, etc.).

L'approche proposée pourra par ailleurs s'articuler avec des problématiques de perception, reconnaissance et identification. Typiquement, pour les forces armées, l'identification de combattants dans un local est critique. Pour les pompiers en intervention sur des bâtiments enfumés, il s'agit d'accélérer la localisation des victimes, potentiellement inconscientes, avec une première information de triage (MASCAL).

La thèse définira dans un premier temps **des modèles** permettant d'arrêter le choix des emplacements de balises dans un environnement connu dont on dispose d'une carte précise. Cela impose de modéliser les balises et leur caractéristiques (poids, puissance d'émission, etc.). Cela impose également de méta-modéliser l'environnement (nature des obstacles, caractéristiques de propagation, etc.) pour pouvoir modéliser une scène.

L'exploitation de ces modèles se fera via la mise en œuvre d'algorithmes de routage (A*, pathfinder) et d'un rendu sur tablette (visualisation de la scène, de la position de l'agent, des points d'intérêt, des consignes et en particulier des directions à suivre). Ces algorithmes s'appuieront sur des objectifs (sanctuarisation de zone, exfiltration, évacuation, etc.) et des politiques (optimum global, priorisation, premier résultat atteignable en premier, etc.). Pour ce faire, on transposera des mécanismes bien connus en système d'exploitation.

Dans un second temps, on relâchera la contrainte sur la connaissance de l'environnement. Cela signifie concrètement migrer d'une modélisation statique de zones/scènes à une **modélisation dynamique, permettant une construction à la volée de la carte**, et sur la foi des retours d'information acquis via les capteurs embarqués. On s'intéressera à ce stade à **l'utilisation d'une flotte de robots** pour la cartographie de l'environnement. En effet, un système multi-robot offre l'avantage d'accélérer la vitesse d'exploration tout en garantissant la robustesse de la solution face aux éventuelles défaillances. Cela est bien entendu plus complexe qu'une solution mono-robot, puisqu'il est nécessaire de coordonner l'activité des différents robots. Dans notre cas, il faut coordonner leurs déplacements tout en veillant à respecter les contraintes de communication et d'espacement entre les balises déposées. Suivant le type de balises, on peut envisager de les exploiter comme relais de communication entre les robots pendant la phase de construction de la carte.

Il s'agit ensuite d'inscrire le travail dans un contexte **d'ingénierie système**, en considérant trois volets. Ainsi il faut s'intéresser à la faisabilité de l'approche sur les terrains opérationnels, avec des problématiques de reconditionnement (récupère-t-on les balises ? quel est le degré de modularité des porteurs ? etc.) et de maintien en condition

opérationnelle (en fonction des terrains, en fonction de la fréquence d'usage, etc.). Ensuite, ces systèmes étant critiques au sens où une défaillance engage la vie humaine, la fiabilité devra être quantifiée (*min-time-to-failure*, sensibilité, précision, etc.). Enfin, les contraintes d'intervention imposent de considérer des modes dégradés. Par exemple, devoir se contenter d'une exploration partielle (partie de local inaccessible), devoir déclencher l'intervention alors que l'exploration est toujours en cours, devoir dégrader le maillage des balises par crainte d'épuiser le stock de balises disponibles (ce qui impliquerait une exploration partielle de fait) sont autant de scénarios à considérer. Le rôle des porteurs peut aussi évoluer, surtout dans la mesure où ce sont ces derniers qui sont munis de capteurs. Maintenir un porteur à un emplacement critique (escalier, couloir, etc.) peut aussi permettre de se prémunir contre une évolution silencieuse de la scène (apparition de combattants par exemple) ou permettre de diffuser des signaux sonores ou lumineux (flécher la sortie de victimes/otages libérés, etc.).

En fin de thèse, un démonstrateur sera proposé : solution (système robotique de cartographie et de déploiement des balises, outil de localisation sur tablette), et mise en place de politiques (définition de scénario, validation à minima par simulation). La solution étant par nature distribuée, nous aurons à recourir à un middleware tel que ROS (Robot Operating System).

PhD Position

Petit poucet : Indoor Localisation in an Unknown Environment

Administrative Informations

Duration: 36 months

Starting date: Sept/Oct 2017

Where: 50% Brest, 50% Douai (France)

Doctoral School: SICMA (UEB)

Supervisors: Pr. Loïc Lagadec, Pr. Noury Bouraqadi, Dr. Luc Fabresse, Dr. Guillaume Lozenguez

Laboratories: Lab-STICC UMR CNRS 6285 + Institut Mines Telecom Lille Douai (site Douai)

Prerequisites: Master diploma, strong competences in Computer Science (Object-oriented programming, ...), knowledge in localization techniques and robotics will be appreciated.

Keywords: Modeling, optimization, indoor localization, robotics mapping, multi-robots systems, system engineering

How to candidate: send a CV + master report + 2 recommandation letters by email (email subject prefixed by « [PhD-Localisation] ») to [loic.lagadec\(AT\)ensta-bretagne.fr](mailto:loic.lagadec(AT)ensta-bretagne.fr) and [luc.fabresse\(AT\)imt-lille-douai.fr](mailto:luc.fabresse(AT)imt-lille-douai.fr)

General Issues

The precise location of emergency responders (civil security, firefighters, etc.), law enforcement and armed forces in a closed and unknown environment (non-collaborative environment) is a very important operational function. This challenge is at the heart of the call for projects MALIN by DGA / ANR about Indoor Localization.

The main difficulty about indoor localization is the absence of GPS coverage allowing for precise localization. There are several approaches to achieve precise indoor localization but they relies on triangulation techniques of signals emitted by electronic beacons placed in the environment. Nevertheless, the location of these beacons must be precise and the triangulation must take into account the attenuation of the signals (typically when the signals pass through walls).

The second difficulty is the need for a precise map of the environment including the location of the beacons, even though the environment is supposed unknown. To do this, one solution is to construct a map by automatic exploration based on autonomous mobile robots (flying or terrestrial).

Robots must be equipped with sensors, detecting obstacles and classifying them (hot springs for example). As the map is built, the robots have information - always partial - but

in constant maturation. For example, it is quite natural to imagine an exploration room by room.

The idea of this PhD is to make the robots placing the beacons in the environment so that the localization of the intervention agents is optimal. These agents receive the mapping acquired, the map accuracy depends on the sensors on the robots, and they can visualize their position on the map, with the possibility to calculate itineraries.

PhD program

The scientific problem consists in maximizing the quality of the locations of the beacons under constraints of robot's carrying capacity and of the mapping and exploration overall time. It imposes the definition of policies (acceptance of risk, intervention without complete scan, speculative / conservative approach on consumption in beacons, etc.).

The proposed approach could also be articulated with problems of perception, recognition and identification. Typically, for the armed forces, identification of combatants in a room is critical. For firefighters working on smoky buildings, it is a question of accelerating the location of victims, potentially unconscious, with a first sorting information (MASCAL).

The thesis will initially define models allowing to stop the choice of the locations of beacons in a known environment of which one has a precise map. This requires the modeling of the beacons and their characteristics (weight, emission power, etc.). This also requires meta-modeling the environment (nature of obstacles, propagation characteristics, etc.) in order to be able to model a scene.

The use of these models will be done by implementing path planning algorithms (A*, pathfinder) and rendering on a tablet (visualization of the scene, the position of the agent, points of interest, Instructions and in particular directions to follow). These algorithms will be based on objectives (zone sanctuarisation, exfiltration, evacuation, etc.) and policies (global optimization, prioritization, first achievable result first, etc.). To do this, we will transpose well known mechanisms into the operating system.

In a second step, the constraint on knowledge of the environment will be relaxed. This means concretely migrating from a static modeling of zones / scenes to a dynamic modeling, allowing on-the-fly construction of the map, and on the basis of the feedbacks acquired via the embedded sensors. At this stage, attention will be focused on the use of a fleet of robots for environmental mapping. Indeed, a multi-robot system offers the advantage of accelerating the speed of exploration while guaranteeing the robustness of the solution faced with possible failures. This is of course more complex than a single-robot solution, since it is necessary to coordinate the activity of the different robots. In our case, it is necessary to coordinate their movements while taking care to respect the constraints of communication and spacing between the beacons deposited. According to the type of beacons, it is possible to use them as communication relays between the robots during the construction phase of the card.

The next step is to put the work into a system engineering context, considering three aspects. In this way, the feasibility of the approach on the operational terrain has to be considered, with problems of repackaging (how do we retrieve the tags, how modular the carriers are, etc.) and keeping them in operational condition (Depending on the terrain, depending on the frequency of use, etc.). Secondly, as these systems are critical in the sense that a failure engages human life, reliability must be quantified (min-time-to-failure,

sensitivity, precision, etc.). Finally, the intervention constraints make it necessary to consider degraded modes. For example, having to settle for a partial exploration (part of inaccessible room), have to trigger the intervention while the exploration is always going, to degrade the mesh of the beacons for fear of exhausting the stock of available beacons (Which would involve a partial de facto exploration) are scenarios to consider. The role of the carriers can also change, especially since they are equipped with sensors. Maintaining a carrier at a critical location (staircase, corridor, etc.) can also help to protect against a silent evolution of the scene (for example, the appearance of combatants) or to make it possible to broadcast sound or light signals / Hostages released, etc.).

At the end of the thesis, a demonstrator will be proposed: solution (robotic mapping and deployment system, tablet localization tool), and implementation of policies (scenario definition, minimum validation by simulation). The solution being inherently distributed, we will have to resort to a middleware such as ROS (Robot Operating System).

References of the Team

- [1] **Damien Picard**, Méthodes et outils logiciels pour l'exploration architecturale d'unités reconfigurables embarquées, 2010 (<http://www.theses.fr/s148653>)
- [2] **Ciprian Téoorov**, Model-driven physical design for future nanoscale architectures, 2011 (<http://www.theses.fr/2011BRES2050>)
- [3] **Papa issa Diallo**, Définition d'un framework d'exécution basé sur les Modèles de Calcul (Mac) pour les systèmes embarqués, 2013 (<http://www.theses.fr/s102837>)
- [4] **Mohamed Ben Hammouda**, Un flot de conception pour générer automatiquement des moniteurs sur puce pendant la synthèse de haut niveau d'accélérateurs matériels, 2013 (<http://www.theses.fr/s105933>)
- [5] **Jean-Philippe Schneider**, Les rôles : médiateurs dynamiques entre modèles système et modèles de simulation, 2014 (<http://www.theses.fr/s105933>)
- [6] **Model-Driven Toolset for Embedded Reconfigurable Cores: Flexible Prototyping and Software-like Debugging** Loïc Lagadec, Ciprian Teodorov, Jean-Christophe Le Lann, Damien Picard, Erwan Fabiani. Journal of Science of Computer Programming, Elsevier, 2014
- [7] **Model Driven Physical design automation for FPGAs: Fast prototyping and legacy reuse** Loïc Lagadec, Ciprian Teodorov. Journal of Software: Practice and experience. Wiley, 2013, 44 (4), pp.455-482
- [8] **International Workshop on Smalltalk Technologies: 2010, 2011, 2012, 2013**. Online <http://www.esug.org/wiki/pier/Conferences/2011/International-Workshop-on-Smalltalk-Technologies>
- [9] **Gestion de l'obsolescence matérielle par virtualisation**. Convention de subvention DGA-DS/ENSTA Bretagne n° 2012.60.0010.00.470.75.01
- [10] **Role Framework to Support Collaborative Virtual Prototyping of System of Systems**. Jean-Philippe Schneider, Joël Champeau, Loïc Lagadec, Eric Senn: WETICE 2015
- [11] **A role language to interpret multi-formalism System of systems models**. Jean-Philippe Schneider, Joël Champeau, Ciprian Teodorov, Eric Senn, Loïc Lagadec. SysCon 2015
- [12] **Site web de l'équipe CAR de l'IMT Lille-Douai**. avec notamment des vidéos de différentes démonstartations
- [13] **A Methodology for Testing Mobile Autonomous Robots**, J. LAVAL, L. FABRESSE, N. BOURAQADI, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2013), Tokyo, Japan, November 3-7, 2013
- [14] **Mercury: Properties and Design of a Remote Debugging Solution using Reflection**, N. PAPOULIAS, N. BOURAQADI, L. FABRESSE, S. DUCASSE, M. DENKER, Journal of Object Technology (JOT), Vol 14, N°1, pp 1-36, 2015.
- [15] **Team Size Optimization for Multi-robot Exploration**, Z. YAN, L. FABRESSE, J. LAVAL, N. BOURAQADI, 4th International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN 2014), Bergamo, Italy, October 20-23, 2014, Vol 8810, pp 438-449, Ed. Springer Verlag
- [16] **Metrics for Performance Benchmarking of Multi-robot Exploration**, Z. YAN, L.

FABRESSE, J. LAVAL¹, N. BOURAQADI, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2015), Hamburg, Germany, 28 sept - 2 oct, 2015

[17] Vector Maps: A Lightweight and Accurate Map Format for Multi-robot Systems, K. BAIZID, G. LOZENGUEZ, L. FABRESSE, N. BOURAQADI, Intelligent Robotics and Applications, 9th International Conference, ICIRA 2016, Tokyo, Japan, August 22-24, 2016