

Année 2019-2020

## Proposition de sujet de stage M2

MODÈLES MÉCANIQUES FORMELS POUR L'ALGORITHMIQUE DISTRIBUÉE, GÉOMÉTRIES NON EUCLIDIENNES

LIEUX : LIRIS  
Bât Nautibus, Université Claude Bernard Lyon 1  
69100 Villeurbanne

PERSONNES ENCADRANT LE STAGE :

Pierre Courtieu, Xavier Urbain, Lionel Rieg  
Tél. : 01 40 27 24 13, 04 27 46 57 07, 04 57 42 22 09  
Email : pierre.courtieu@cnam.fr, xavier.urbain@univ-lyon1.fr,  
lionel.rieg@univ-grenoble-alpes.fr

CONTEXTE ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

*Ce stage se place dans le contexte du projet ANR **SAPPORO** (2020-2024) dont sont partenaires l'université Lyon-1, Sorbonne Université, le CNAM Paris et le Tokyo Institute of Technology (Japon).*

<https://liris.cnrs.fr/recherche/safe-adaptive-and-provable-protocols-oblivious-robots-operation>

L'algorithmique distribuée fait partie des domaines où le raisonnement informel n'est pas une option, en particulier lorsque des erreurs dites byzantines peuvent survenir. Elle est également caractérisée par une grande diversité de modèles dont les modulations subtiles impliquent des propriétés radicalement différentes. On considère dans ce travail les « réseaux de robots » : nuages d'entités *autonomes* devant accomplir une tâche *en coopération*. Dans ce cadre émergent, les modèles sont distingués par les capacités des robots, la topologie de l'espace dans lequel ils évoluent, le degré de synchronisme (modélisé par les propriétés du démon d'activation), les caractéristiques des erreurs pouvant survenir, etc.

On s'intéresse à l'obtention, à l'aide de l'assistant à la preuve Coq, de garanties mécaniques formelles de propriétés de certains protocoles distribués [5]. Un modèle Coq<sup>1</sup> pour les réseaux de robots récemment présenté capture assez naturellement de nombreuses variantes de ces réseaux, notamment en ce qui concerne la topologie ou les propriétés des démons. Ce modèle est bien sûr à l'ordre supérieur et s'appuie sur des types coinductifs. Il permet de démontrer en Coq à la fois des propriétés positives : le programme embarqué dans chacun des robots permet de réaliser la tâche *quelle que soit* la configuration de départ [4, 2] comme des propriétés négatives : il *n'existe aucun* programme embarqué permettant de réaliser la tâche [3, 1].

Le stage aborde les aspects *géométriques* pouvant intervenir dans le comportement des robots. En effet, les modèles développés jusqu'à présent considèrent généralement une perception idéale de l'environnement, avec une précision absolue. Une approche plus « réaliste » doit prendre en compte les approximations des capteurs et, donc, se placer dans des géométries qui ne sont plus forcément euclidiennes (que se passe-t-il si des capteurs perçoivent une intersection de deux droites pourtant parallèles ?)

Le stage consiste en l'étude, d'une part, et l'introduction au sein du framework formel, d'autre part, des géométries exprimant une *perception non exacte* (pour une définition raisonnable de « non exacte ») de l'environnement.

*Une étude de cas* intéressante pourrait, comme preuve de concept, s'attaquer à un résultat de correction de protocole ou d'impossibilité de tâche dans ce contexte.

Parmi les points de départ d'une telle étude, on pourra considérer certaines géométries non euclidiennes, des arithmétiques d'intervalles ou à erreur contrôlée, etc.

CONTEXT AND SCIENTIFIC GOALS

Distributed computing is one of the domains where informal reasoning is not an option, in particular when Byzantine failures are involved. What characterises also Distributed Computing is its diversity of models subtle modifications of which induce radical change in the system behaviour. We consider

---

1. <http://pactole.lri.fr>

Robot Networks, that is swarms of *autonomous* mobile entities that have to accomplish some task in *cooperation*. In this emerging framework, models can be distinguished by the capabilities of robots, the topology of the considered space, the level of synchrony (that is the properties of a demon), the type of the failures likely to occur, etc.

We are interested in obtaining formal and moreover mechanical guarantees of properties for certain protocols, using the Coq proof assistant. A Coq framework<sup>1</sup> for robot networks recently proposed can express quite a few variants of models for such networks, in particular regarding topology or demon properties. This framework is higher order and based on coinductive types. It allows to prove in Coq positive results (the task will be fulfilled using the algorithm embedded in all robots *for all* initial configuration) [4, 2] as well as negative results (*there cannot be any* embedded algorithm that will work for this task for all initial configuration) [3, 1].

This internship addresses *geometrical aspects* in the robot behaviour. As a matter of fact, most of the existing models consider the sensors to be ideal, that is absolutely accurate. However, a more realistic approach has to take their approximations into account and, thus, to acknowledge that the geometry might be non-Euclidean (what happens if sensors perceive an intersection of two parallel lines?)

The internship consists of the *study* and the *extension* of the current formal model to geometries that allow for a *non-accurate perception* of the environment (for a reasonable definition of “non-accurate”).

An interesting *case study* could be, as a proof of concept, the validation of a distributed protocol or the exhibition of an impossibility result in that context.

Among the potential starting points for such a study, one could consider some relevant non-Euclidean geometries, arithmetics based on intervals or with controlled error, etc.

#### COMPÉTENCES :

- Assistant à la preuve Coq,
- Algorithmique distribuée.

## Références

- [1] Cédric Auger, Zohir Bouzid, Pierre Courtieu, Sébastien Tixeuil, and Xavier Urbain. Certified Impossibility Results for Byzantine-Tolerant Mobile Robots. In Teruo Higashino, Yoshiaki Katayama, Toshimitsu Masuzawa, Maria Potop-Butucaru, and Masafumi Yamashita, editors, *Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems - 15th International Symposium (SSS 2013)*, volume 8255 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 178–186, Osaka, Japan, November 2013. Springer-Verlag.
- [2] Thibaut Balabonski, Amélie Delga, Lionel Rieg, Sébastien Tixeuil, and Xavier Urbain. Synchronous gathering without multiplicity detection : A certified algorithm. *Theory of Computing Systems*, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00224-017-9828-z>.
- [3] Pierre Courtieu, Lionel Rieg, Sébastien Tixeuil, and Xavier Urbain. Impossibility of Gathering, a Certification. *Information Processing Letters*, 115 :447–452, 2015.
- [4] Pierre Courtieu, Lionel Rieg, Sébastien Tixeuil, and Xavier Urbain. Certified universal gathering algorithm in  $\mathbb{R}^2$  for oblivious mobile robots. In Cyril Gavoille and David Ilcinkas, editors, *Distributed Computing - 30th International Symposium (DISC 2016)*, volume 9888 of *Lecture Notes in Computer Science*, Paris, France, September 2016. Springer-Verlag.
- [5] Maria Potop-Butucaru, Nathalie Sznajder, Sébastien Tixeuil, and Xavier Urbain. Formal methods for mobile robots. In Paola Flocchini, Giuseppe Prencipe, and Nicola Santoro, editors, *Distributed Computing by Mobile Entities*, volume 11340 of *Lecture Notes in Computer Science, Theoretical Computer Science and General Issues*, pages 278–313. Springer Nature, 2019.