

Virtual to real two-ways distributed self-reconfiguration algorithm for programmable matter

Sujet proposé par Pr. Julien Bourgeois (directeur) et Dr. Benoît Piranda (encadrant)

Département d'Informatique des Systèmes Complexes (DISC), équipe Optimisation, Mobility, NetworkIng (OMNI), FEMTO-ST CNRS 6174

Sujet en Français

Mot clés : matière programmable, intelligence distribuée, réseau de robots communicants, simulation à événements discrets.

Ce sujet porte sur les problématiques engendrées par la conception de systèmes de micro-robots autonomes connectés pour former de la matière programmable. Nous considérons un ensemble de micro-robots autonomes équipés d'une unité de calcul, de capteurs et d'actionneurs leur permettant de se déplacer les uns par rapport aux autres et de communiquer entre eux, cet ensemble forme « la matière programmable » [1].

Nous envisageons d'utiliser la matière programmable comme de la glaise connectée proposant une évolution importante du processus de CAO pour la conception et de fabrication d'objets. L'impression 3D permet déjà de créer des modèles réels souvent indéformables, à partir de la CAO, le scan 3D permet de numériser une forme réelle pour l'intégrer à une CAO, mais il n'existe pas de solution permettant de réaliser ce double passage entre le virtuel et le monde réel. Le sujet de cette thèse porte sur la proposition d'une solution à ce problème. Pour cela, 3 fonctionnalités doivent être étudiées :

1. La transmission de la forme que doit prendre la matière à partir d'un modèle de CAO réalisé sur un outil extérieur. Ce travail a déjà fait l'objet de recherches au sein de l'équipe [4].
2. L'auto-reconfiguration, c'est-à-dire la réorganisation spatiale des robots pour qu'ils atteignent une configuration définie à l'avance. L'auto-reconfiguration d'un ensemble de robots occupant un espace 3D représente un grand challenge du domaine. Aucune solution répondant à notre besoin pour la matière programmable n'a été jusqu'à présent proposée dans la littérature.
3. La matière programmable peut ensuite être transformée manuellement : ajouter de la matière (des nouveaux micros robots), supprimer ou déplacer les robots. Suite à de telles modifications, l'ensemble de micro-robots doit pouvoir transférer sa nouvelle configuration globale à la machine centrale pour permettre, par exemple, une production. Une étude devra être réalisée sur la création distribuée d'un modèle de description de la forme occupée par l'ensemble de robots par les robots eux-mêmes.

Des travaux récents de l'équipe [1] ont abouti à la conception d'un robot modulaire quasi sphérique, capable de se déplacer relativement à ses voisins par rotations successives [2]. Ces robots appelés Catoms 3D sont placés dans une grille cubique face centrée (FCC), leur permettant d'avoir jusqu'à 12 voisins connectés simultanément. Cette grande densité de connecteurs augmente le nombre de possibilité de déplacements et permet d'optimiser les communications [6]. La réalisation de prototypes de tels robots fait actuellement l'objet du projet ANR « Programmable Matter » ANR-16-CE33-0022-02 dirigé par notre équipe.

Le laboratoire développe et exploite depuis plusieurs années un simulateur comportemental permettant de visualiser les robots modulaires dans leur environnement (VisibleSim [3]). Les modèles physiques développés au cours de la thèse devront être intégrés au simulateur ce qui permettra la validation théorique des reconfigurations pour des grands ensembles robots connectés.

Pour résumer, le candidat retenu participera à la réalisation du premier modèle de CAO hybride entre réel et virtuel utilisant la Matière Programmable. Ce travail s'intègre dans le projet ANR-16-CE33-0022-02 sur la matière programmable. Le début de la thèse est prévu pour le 1^{er} septembre 2017.

Les candidatures doivent être adressée par courrier électronique avant le 15 juin à Julien Bourgeois et Benoît Piranda (julien.bourgeois@femto-st.fr, benoit.piranda@femto-st.fr). Le dossier doit contenir :

- un CV détaillé,
- une lettre de motivation,
- les résultats obtenus au cours du Master ou de la formation Ingénieur.
- et éventuellement des lettres de recommandation.

Subject in English

Keywords: programmable matter, distributed algorithms, network of communicated robots, discrete event simulation.

This subject deals with the design of connected autonomous micro-robot systems to produce programmable matter. We consider a set of autonomous micro-robots equipped with a computing unit, sensors and actuators enabling them to move one relatively to neighbors and to communicate with every connected neighbors, this assembly forms "Programmable Matter" [1].

We are considering the use of programmable matter as a connected clay, offering an important evolution of the CAD process for the design and manufacturing of objects. 3D printing already makes it possible to create real models (often not deformable) from CAD, 3D scanning allows to digitize a real shape to integrate it into a CAD, but there is no solution allowing to realize this two-ways exchange between the virtual and the real world. The subject of this thesis is to propose a software solution to this problem. For this purpose, three steps must be studied:

1. The transmission and representation of the shape taken from a CAD model made on an external tool, that the programmable matter must mimic. This work has already been studied within our team [4].
2. Self-reconfiguration, which is a spatial reorganization of the robots so that they reach a predetermined configuration. Self-reconfiguration of a set of robots occupying a 3D space represents a great challenge of the domain. Many works propose distributed self-reconfiguration algorithms in 2D like in [3] or [5], but self-reconfiguration of a set of robots in a 3D space remains an important challenge. There is no efficient solution in the literature that is adapted to the fully distributed context of programmable matter.
3. Programmable matter can then be manually transformed by adding material (new micro-robots), removing or moving some of the robots. Following such changes, the set of micro-robots must be able to transfer its new global configuration to the central machine.

Some recent works of our team proposed the design of a quasi-spherical modular robot capable of moving relatively to its neighbors by successive rotations [2]. These micro-robots called 3D Catoms are placed in a Face Centered Cubic lattice (FCC) giving, up to 12 neighbors per robots. This high density is an asset for multiplying possible displacements and optimizing communications [6].

For several years, our laboratory has been developing and operating a behavioral simulator to visualize modular robots in their virtual environment (VisibleSim [3]). The physical models developed during the thesis must be integrated into our simulator. This powerful tool will allow to validate self-reconfiguration algorithms for large sets of connected robots.

To summarize, the successful candidate will participate to the realization of one of the first model combining virtual and real world for CAD process using the Programmable Matter. This work is part of the ANR project "Programmable Matter" (ANR-16-CE33-0022-02). The beginning of the thesis is scheduled for 2017/09/01.

The application must be sent as soon as possible to Julien Bourgeois and Benoît Piranda (julien.bourgeois@femto-st.fr, benoit.piranda@femto-st.fr) and before 2017/06/15. An application should include:

- a detailed CV,
- a motivation letter with names of referees,
- marks obtained during the Master and/or engineering studies,
- and eventually, recommendation letters.

References

- [1] Julien Bourgeois, Benoît Piranda, André Naz, Hicham Lakhlef, Nicolas Boillot, Hakim Mabed, Dominique Dhoutaut, Thadeu Tucci, "Programmable matter as a cyber-physical conjugation", IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2016), Budapest, Hungary, Oct. 9-12, 2016, 6 pages.
- [2] Benoît Piranda, Julien Bourgeois, "Geometrical study of a quasi-spherical module for building programmable matter", 13th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS 2016), London, United Kingdom, nov. 7-9, 2016, 12 pages.
- [3] Sebastian Möbes, Benoît Piranda, Guillaume J. Laurent, Julien Bourgeois, Cédric Clévy and Nadine Le Fort-Piat, Toward a 2D Modular and Self-Reconfigurable Robot for Conveying Microparts, dMems 2012, 2ème workshop on design, control and software implementation for distributed MEMS, 2012, 2-3 april 2012, Besançon, France, ISBN 978-0-7695-4695-4679-7, pp. 7-13.
- [4] Thadeu Knychala Tucci, Benoit Piranda, Julien Bourgeois "Efficient Scene Encoding for Programmable Matter Self-Reconfiguration Algorithms" SAC 2017, 28-th ACM Symposium On Applied Computing. Association for Computing Machinery (ACM), 2017.

- [5] M. Yim, D. G. Duff, and K. D. Roufas, "Polybot: a modular reconfigurable robot," in IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), vol. 1, 2000, pp. 514–520.
- [6] André Naz, Benoît Piranda, Thadeu Knychala Tucci, Seth Copen Goldstein and Julien Bourgeois, "Network Characterization of Lattice-Based Modular Robots with Neighbor-to-Neighbor Communications", 13th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS-2016), In pres, 2016.