

Call for PhD candidates

1. PhD thesis description

PhD Title

Generative design of structures integrating digital materials based on artificial intelligence and robotic systems programming for 4D printing

Keywords

Design; 4D printing; Smart materials; Additive manufacturing; Robotic; Artificial Intelligence

Presentation of the research team

The ICB UMR 6303 CNRS lab at Univ. Bourgogne Franche-Comté / Belfort-Montbéliard University of Technology is composed of six research departments in which COMM department leads research efforts on design, modeling and optimization of mechanical systems. In such a department, three issues are currently addressed:

1. Mechanical modeling and optimization;
2. Manufacturing processes and techniques optimization;
3. Advanced design of mechanical systems.

Among these research works, a cross research theme – led by **Prof. Frédéric Demoly** – has recently been emerged in order to address the design, modeling and optimization for 4D printing of transformable systems. Therefore, this PhD thesis proposal is part of this aforementioned theme, fully innovative regarding current scientific issues in France or even within the international community, more specifically at Georgia Institute of Technology and University of Colorado.

Description of the PhD subject

Based on these current technological advances, the path of multi-material 4D printing can be understood as a disruptive and interdisciplinary risk-taking. This scientific orientation breaks voluntarily with the work of the key actors of the 4D printing field. Indeed, the innovative work of the ICB UMR 6303 CNRS laboratory opens up promising prospects for the creation of a start-up company in the medium term, claiming advanced design/simulation methodologies, software tools coupled with artificial intelligence (AI) and a hybrid 4D additive manufacturing system using poly-articulated robots.

These first technological bricks require user feedback, essential for continuous improvement and adoption, but especially scientific and technological reinforcements. Thus, the proposed thesis topic concerns the generative design of AI-based multi-material structures for 4D printing. The originality lies, on the numerical level, in designing objects capable of changing shape by exploiting different representations (geometric skeletons, solids and voxels). These representations are essential to integrate business knowledge and constraints, but also to apply qualitative (symbolic AI) and quantitative (connectionist AI) reasoning. The representation of 3D/4D objects based on voxels, exploiting digital materials, raises the greatest number of scientific issues regarding the need for reasoning on how to distribute properties and materials in the design space, but also for the control of the manufacturing phase. The manufacturing of 4D composite objects (multi-materials), involves multiple strategies to investigate.

Supervisors

Prof. Frédéric Demoly

Full Professor

Director of the Design, Optimization and Mechanical Modeling Department

ICB UMR 6303, CNRS

Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM
Tél.: +33 (0) 3 84 58 39 55
F-90010 BELFORT Cedex, France
frederic.demoly@utbm.fr

Prof. Samuel Gomes
ICB UMR 6303 CNRS
Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, France

Candidate skills

Mechanical design and modeling, materials science, robotics, open-mindedness, autonomy, programming skills, motivation for entrepreneurship.

Application

Applicant must send CV, motivation letter, and transcripts to frederic.demoly@utbm.fr by 05/15/2022.

2. References related to the PhD thesis

- [1] Sossou G., Demoly F., Montavon G., Gomes S., Design for 4D printing: rapidly exploring the design space around smart materials. *Procedia CIRP*, 2018, 70, 120-125.
 - [2] Ge Q., Qi H.J., Dunn M.L., Active materials by four-dimension printing, *Applied Physics Letters*, 2013, 103(13), 131901.
 - [3] Tibbits S., 4D Printing: Multi-Material Shape Change, *Architectural Design*, 2014, 84(1), 116-121.
 - [4] Sossou G., Demoly F., Belkebir H., Qi H.J., Gomes S., Montavon G., Design for 4D printing: A voxel-based modeling and simulation of smart materials, *Materials and Design*, 2019.
 - [5] Hamel C., Roach D., Long K., Demoly F., Dunn M., H.J. Qi, Machine-learning based design of active composite structures for 4D printing, *Smart Materials and Structures*, 2019, Accepted.
 - [6] André J.-C., From additive manufacturing to 3D/4D printing 1 – From Concepts to Achievements. ISTE Wiley, November 2017, 354p.
 - [7] Sossou G., Demoly F., Belkebir H., Qi H.J., Montavon G., Gomes S. Design for 4D printing : A voxel-based modeling and simulation of smart materials. *Materials & Design*, 2019, 175, 107798.
 - [8] Sossou G., Demoly F., Belkebir H., Qi H.J., Montavon G., Gomes S. Design for 4D printing : Modeling and computation of smart materials distributions. *Materials & Design*, 2019, 181, 108074.
 - [9] Sun X., Yue L., Yu L., Shao H., Peng X., Zhou K., Demoly F., Zhao R., Qi H.J., Machine Learning-Evolutionary Algorithm Enabled Design for 4D-Printed Active Composite Structures. *Advanced Functional Materials*, 2022, 32 (10), 2109805.
 - [10] Demoly F., Dunn M.L., Wood K.L., Qi H.J., André J.-C., The status, barriers, challenges, and future in design for 4D printing. *Materials & Design*, 2021, 212, 110193.
-

Offre de Thèse en Sciences pour l'Ingénieur

1. Description du sujet de thèse

Titre de la Thèse

Conception générative de structures intégrant des matériaux numériques à base d'intelligence artificielle et planification de systèmes robotiques pour l'impression 4D

Keywords

Conception; Impression 4D; Matériaux actifs; Fabrication additive; Robotique; Intelligence artificielle.

Presentation of the research team

Le laboratoire ICB UMR 6303 CNRS de l'Université Bourgogne Franche-Comté - Université de Technologie de Belfort-Montbéliard est composé de six départements de recherche dont le département CO2M qui travaille sur plusieurs thèmes de recherche tels que la conception, la modélisation et l'optimisation de systèmes mécaniques innovants appliqués à la fabrication numérique. Au sein du département, trois problématiques de recherche sont abordées :

- La modélisation et l'optimisation mécanique ;
- L'optimisation des procédés de fabrication (fabrication additive et impression 4D) ;
- La conception avancée des systèmes mécaniques.

Parmi ces thèmes de recherche, un thème de recherche transversal a récemment émergé afin d'aborder la conception, la modélisation et la fabrication de structures actives multi-matériaux. La proposition de thèse s'inscrit donc dans cette thématique et est totalement innovante au regard des enjeux scientifiques actuels en France ou même au sein de la communauté internationale (i.e., 4D Printing Society).

Site web : <https://www.utbm.fr>

Description of the PhD subject

Sur la base de ces avancées technologiques actuelles, la voie de l'impression 4D multi-matériaux peut être comprise comme une prise de risque de rupture et interdisciplinaire. Cette orientation scientifique rompt volontairement avec les travaux des acteurs clés du domaine de l'impression 4D. En effet, les travaux novateurs du laboratoire ICB UMR 6303 CNRS ouvrent des perspectives prometteuses pour envisager sur le moyen terme la création d'une start-up revendiquant des méthodologies de conception/simulation avancées, des outils logiciels couplés à de l'intelligence artificielle (IA) et un système de fabrication additive 4D hybride via l'usage de robots poly-articulés. Ces premières briques technologiques requièrent des retours utilisateurs, indispensables pour l'amélioration continue et leurs adoptions, mais surtout des renforcements scientifiques et technologiques.

Ainsi, le sujet de thèse proposé concerne la conception générative de structures multi-matériaux à base d'IA pour l'impression 4D. L'originalité réside, sur le plan niveau numérique, à concevoir des objets capables de changer de formes en exploitant différentes représentations (squelettes géométriques, solide et voxels). Ces dernières sont essentielles pour intégrer au juste besoin des connaissances métier et des contraintes, mais également pour appliquer des raisonnements qualitatifs (IA symbolique) et quantitatifs (IA connexionniste). La représentation d'objets 3D/4D à base de voxels, exploitant les matériaux numériques, soulèvent le plus grand nombre de verrous scientifiques en ce qui concerne les besoins en raisonnements pour comment distribuer les propriétés et les matériaux

dans l'espace de conception mais également pour la maîtrise de la phase de fabrication. La fabrication des objets 4D composites (multi-matériaux), implique de multiples stratégies à investiguer.

Directeurs de thèse

Prof. Frédéric Demoly

Professeur des Universités
Directeur du département Conception, Optimisation et Modélisation Mécanique
ICB UMR 6303, CNRS
Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM
Tél.: +33 (0) 3 84 58 39 55
90010 Belfort Cedex, France
frederic.demoly@utbm.fr

Prof. Samuel Gomes

ICB UMR 6303 CNRS
Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM, France

Compétences attendues

Conception et modélisation mécaniques, science des matériaux, robotique, ouverture d'esprit, autonomie, compétences en programmation, motivation pour l'entrepreneuriat.

Candidature

Les candidatures (CV, lettre de motivation et notes) devront être transmises à frederic.demoly@utbm.fr avant le 15/05/2022.

2. Références en lien avec la thèse

- [1] Sossou G., Demoly F., Montavon G., Gomes S., Design for 4D printing: rapidly exploring the design space around smart materials. *Procedia CIRP*, 2018, 70, 120-125.
- [2] Ge Q., Qi H.J., Dunn M.L., Active materials by four-dimension printing, *Applied Physics Letters*, 2013, 103(13), 131901.
- [3] Tibbits S., 4D Printing: Multi-Material Shape Change, *Architectural Design*, 2014, 84(1), 116-121.
- [4] Sossou G., Demoly F., Belkebir H., Qi H.J., Gomes S., Montavon G., Design for 4D printing: A voxel-based modeling and simulation of smart materials, *Materials and Design*, 2019.
- [5] Hamel C., Roach D., Long K., Demoly F., Dunn M., H.J. Qi, Machine-learning based design of active composite structures for 4D printing, *Smart Materials and Structures*, 2019, Accepted.
- [6] André J.-C., From additive manufacturing to 3D/4D printing 1 – From Concepts to Achievements. ISTE Wiley, November 2017, 354p.
- [7] Sossou G., Demoly F., Belkebir H., Qi H.J., Montavon G., Gomes S. Design for 4D printing : A voxel-based modeling and simulation of smart materials. *Materials & Design*, 2019, 175, 107798.
- [8] Sossou G., Demoly F., Belkebir H., Qi H.J., Montavon G., Gomes S. Design for 4D printing : Modeling and computation of smart materials distributions. *Materials & Design*, 2019, 181, 108074.
- [9] Sun X., Yue L., Yu L., Shao H., Peng X., Zhou K., Demoly F., Zhao R., Qi H.J., Machine Learning-Evolutionary Algorithm Enabled Design for 4D-Printed Active Composite Structures. *Advanced Functional Materials*, 2022, 32 (10), 2109805.
- [10] Demoly F., Dunn M.L., Wood K.L., Qi H.J., André J.-C., The status, barriers, challenges, and future in design for 4D printing. *Materials & Design*, 2021, 212, 110193.