PhD Thesis subject: "Optimizing overall performance by collaborating, pooling and sharing activities and resources within reconfigurable and automated systems, using a self-organized approach based on the product"

PhD School:
Informatique, Automatique, Électronique, Électrotechnique Mathématiques – ED IAEM 77 – de l'Université de Lorraine http://iaem.univ-lorraine.fr/

Thesis director:
Sophie HENNEQUIN, MCF – HDR - Université de Lorraine Laboratoire LCFC
Lorraine INP – École Nationale d'Ingénieurs de Metz
sophie.hennequin@univ-lorraine.fr tel. +33 (0)3 72 74 86 44

Co-Director:
Daniel ROY, MCF - Université de Lorraine Laboratoire LCFC
Lorraine INP – École Nationale d'Ingénieurs de Metz
daniel.roy@univ-lorraine.fr tel. +33 (0)3 72 74 86 81

Assignment:
Laboratoire de Conception, de Fabrication et de Commande – Thèmes Conception et Commande

Keywords: activities pooling, resources sharing, Industry 5.0, multiagent systems, machine learning algorithms, self-organization management, multi-criteria resolution.

Context: In recent years, the introduction of artificial intelligence, automation and robotics in industry has enabled the production of small and medium-sized series (customized products) to be improved on the basis of collected data, allowing more efficient control and simpler reconfigurations of production systems [Kaczmarczyk et al., 2022]. In the context of Industry 5.0, this digital transformation is accompanied by the strengthening of interactions and collaborations between "intelligent" machines and human operators, to integrate the latter's well-being and creativity. This industrial revolution has also led to a paradigm shift in which customers are more directly involved in production processes, becoming co-creators of value. However, the need to consider man-machine interactions, as well as the ever-increasing integration of different stakeholders and customers in production processes, has led to the definition of new approaches. In this respect, approaches to the operational management of activities and resources incorporating, on the one hand, closer collaboration between entities, and on the other, a product-centric organization, are the most interesting to develop. All the more so as the product, by definition, now possesses knowledge of all functionalities and constraints in terms of realization [Ivanov et al., 2020]. Thus, integration and interoperability between the various stakeholders are essential to guarantee overall performance [Chen et al., 2008] in terms of cost, quality and lead times, but also from a societal and environmental point

of view. Indeed, each player can/should be able to decide in real time on its own performance, based on criteria derived from its own characteristics/parameters and behavior, and in conjunction with other players with different criteria. Based on this differentiated identification, optimal real-time management strategies can be defined.

In this context, we will consider a production system made up of different workstations that may include one or more machines (automated or non-automated flexible cells, robots, cobots), handling and supply equipment (AGVs) and human operators who may work on the workstations or in support of supply. A software agent will be associated with each piece of equipment -machine, human operator, product to be manufactured (the latter having a predominant impact due to its integral participation in the production process)- and customer, enabling the description of the latter's capabilities (associating the notion of service in the software sense [Weyer et al., 2015]), constraints and purposes, while enabling dialogue and exchanges with the other agents in order to find the best opportunities in terms of realization (manufacturing activities, handling, transport, etc.). The various stakeholders in the production system will thus be modeled via the definition of this multi-agent system, the idea here being to define a self-organizing system around the product to be produced [Yuan et al., 2022] enabling situations of blockage or paralysis to be avoided when disturbances occur, by promoting collaboration, mutualization and sharing between agents. This multi-agent system can then be connected to the information system and to the production management software packages used, which will make it possible to retrieve, in near-real time, the information required for optimal reconfiguration and control of the production system in question. The complete architecture will thus be made up of three levels: (i) a level enabling the various sensors to collect information from the elements of the production system, (ii) the infrastructure layer made up of the multi-agent system connected to the company's information system/software packages, and (iii) data from the customer (external to the system) [Liu, 2023]. Each modeled agent will then be able to respond to the best partnerships enabling it to achieve good local performance, while ensuring that it obtains the best strategy for steering the system, with regard to the other players and the data collected.

Objectives: the PhD objectives are:

1. To model the various stakeholders in the production system using a behavioral and self-organizing approach, highlighting all resources (human or otherwise), including the product/new series to be produced, as well as their links and interactions, and their different needs in terms of services. The idea here is to adopt a product/new series-oriented approach, in a context of recombination/reconfiguration/mutualization of workstations according to the product to be produced;

2. To associate these different stakeholders with an intelligent agent, and design the resulting multi-agent system as well as the complete system architecture enabling the different levels (internal and external to the production system) to be defined. The aim here is to fully integrate robots, cobots and AGVs into activities, so as to improve man-machine interactions

and the definition of collaborations between stakeholders. A vision based on calls for tender and/or partnerships could be envisaged, using game theory as a starting point;

3. To identify evolutionary trajectories based on identified behaviors, environmental and social constraints, and possible disturbances or failures in the system under consideration.

4. To propose a decision-support tool enabling the integration and comparison of different control and reconfiguration strategies. This will be defined using dynamic multi-criteria resolution.

The main difficulties will be:

i) Define/characterize the reconfigurable and automated production system, and all the "actors" involved, their interactions and their needs (current and future);
ii) Define the global architecture and learning tools enabling efficient use of the collected data;
iii) Propose a mathematical model using a self-organizing approach to integrate the dynamic behaviors of the players at an operational level;
iv) Define the decision support tool, taking into account system evolution scenarios and placing the product at the heart of the system. This decision-support tool must be able to react in real time. It must consider the fact that each agent is characterized by its own goals: each agent is described in a specific way in relation to the other agents (behavior, parameters, state variables that vary as a function of time). Taking this differentiation into account makes the decision-support tool more complex, but it will offer opportunities for optimal control.

Sujet de la thèse de Doctorat proposée : "Optimisation de la performance globale par la collaboration, la mutualisation et le partages d'activités et de ressources au sein de systèmes reconfigurables et automatisés par une approche auto-organisée sur le produit"

Ecole doctorale :
Informatique, Automatique, Électronique, Électrotechnique Mathématiques – ED IAEM 77 – de l'Université de Lorraine http://iaem.univ-lorraine.fr/

Directeur de la thèse de doctorat:
Sophie HENNEQUIN, MCF – HDR - Université de Lorraine Laboratoire LCFC
Lorraine INP – École Nationale d'Ingénieurs de Metz
sophie.hennequin@univ-lorraine.fr tel. +33 (0)3 72 74 86 44

Co-Directeur:
Daniel ROY, MCF - Université de Lorraine Laboratoire LCFC
Lorraine INP – École Nationale d'Ingénieurs de Metz
daniel.roy@univ-lorraine.fr tel. +33 (0)3 72 74 86 81

Affectation :
Laboratoire de Conception, de Fabrication et de Commande – Thèmes Conception et Commande

Mots clés : mutualisation d'activités, partage de ressources, Industrie 5.0, systèmes multi-agents, algorithmes de machine learning, management auto-organisé, résolution multi-critère.

Contexte : L'introduction de l'intelligence artificielle, de l'automatisation et de la robotique dans les industries permet depuis quelques années d'améliorer la production de petites et moyennes séries (produits personnalisés) sur la base des données collectées en autorisant des pilotages plus efficients et des reconfigurations plus simples des systèmes de production [Kaczmarczyk et al., 2022]. Dans le cadre de l'Industrie 5.0, cette transformation numérique s'accompagne du renforcement des interactions et collaborations entre les machines « intelligentes » et les opérateurs humains, pour intégrer le bien-être et la créativité de ces derniers. Cette révolution industrielle a permis également de changer de paradigme en associant plus directement le client aux processus de production, celui-ci devenant alors également un cocréateur de valeur. Cependant, la nécessité de considérer les interactions hommes-machines ainsi que l'intégration toujours plus prégnante des différentes parties prenantes et des clients dans les processus de production amènent à définir de nouvelles approches. A ce titre, les approches de gestion opérationnelle des activités et des ressources intégrant d'une part la collaboration renforcée entre les entités, et d'autre part, une organisation centrée sur le produit sont les plus intéressantes à développer. D'autant que le produit, par définition, possède maintenant la connaissance de toutes les fonctionnalités et des contraintes en termes de réalisation [Ivanov et al., 2020]. Ainsi, l'intégration et l'interopérabilité entre les différentes parties prenantes sont prépondérantes pour garantir l'obtention de performances globales [Chen et al., 2008] en termes de coût, qualité, délai, mais aussi d'un point de vue sociétal et environnemental. En effet, chaque acteur peut/doit être capable de décider en temps réel de sa propre performance sur la base de critères issus de ses caractéristiques/paramètres et de son comportement et, ce, en lien avec les autres acteurs ayant des critères différents. A partir de cette identification différentiée, des stratégies optimales de pilotage gérées en temps réel pourront être définies.

Dans ce contexte, nous considérerons un système de production composé de différents postes de travail pouvant comprendre une ou plusieurs machines (cellules flexibles automatisées ou non, robots, cobots), d'équipements de manutention et d'approvisionnement (AGV) et d'opérateurs humains pouvant travailler sur les postes ou en appui de l'approvisionnement. A chaque équipement –machine, opérateur humain, produit à réaliser (celui-ci ayant un impact prépondérant du fait de sa participation intégrante au processus de production)– et client sera associé un agent logiciel permettant de décrire ses aptitudes (associant la notion de service au sens logiciel [Weyer et al., 2015]), ses contraintes et ses finalités, le tout en

permettant le dialogue et les échanges avec les autres agents afin de trouver les meilleures opportunités en matière de réalisation (activités de fabrication, manutention, transport, etc.). Les différentes parties prenantes du système de production seront ainsi modélisées via la définition de ce système multi-agent, l'idée étant ici de définir un système auto-organisé autour du produit à réaliser [Yuan et al., 2022] permettant d'éviter des situations de blocages ou de paralysies, lorsque des perturbations surviennent en favorisant collaborations, mutualisations et partages entre les agents. Ce système multi-agent pourra alors être connecté au système d'information et aux progiciels de gestion de la production utilisés qui permettront de récupérer en temps quasi réel les informations nécessaires à la reconfiguration et au pilotage optimaux du système de production considéré. L'architecture complète sera ainsi composée de trois niveaux : (i) un niveau permettant, via les différents capteurs, de collecter les informations des éléments du système de production, (ii) de la couche infrastructure composée du système multi-agent connecté au système d'information/progiciels de l'entreprise et (iii) des données provenant du client (externes au système) [Liu, 2023]. Chaque agent modélisé pourra alors répondre aux meilleurs partenariats lui permettant d'atteindre de bonnes performances locales tout en assurant d'obtenir la meilleure stratégie de pilotage du système, au regard des autres acteurs et des données collectées.

Objectifs visés : Les objectifs visés dans le cadre de cette thèse de doctorat sont les suivants

1. Modéliser les différentes parties prenantes du système de production par une approche comportementale et auto-organisée permettant de mettre en évidence toutes les ressources (humaines ou non) et incluant le produit/nouvelle série à réaliser, ainsi que leurs liens et interactions, et leurs différents besoins en termes de services. L'idée est ici d'avoir une approche orientée produit/nouvelle série à réaliser dans un contexte de recombinaison/reconfiguration/mutualisation des postes en fonction du produit à réaliser ;
2. Associer à ces différentes parties prenantes un agent intelligent, et concevoir le système multi-agent en résultant ainsi que l'architecture complète du système permettant de définir les différents niveaux (internes et externes au système de production). L'objectif ici est d'intégrer pleinement les robots, cobots et AGV dans les activités de façon à améliorer les interactions homme-machine et la définition de collaborations entre parties prenantes. Une vision sur la base d'appels d'offre et/ou de partenariats pourra être envisagée à partir de la théorie des jeux ;
3. Identifier des trajectoires d'évolution en fonction des comportements identifiés, de contraintes environnementales et sociales, et d'éventuelles perturbations ou défaillances pouvant survenir dans le système considéré.
4. Proposer un outil d'aide à la décision permettant l'intégration et la comparaison de différentes stratégies de pilotage et de reconfiguration. Celui-ci sera défini en utilisant une résolution multicritère dynamique.

Les principales difficultés seront :

i) Définir/caractériser le système de production reconfigurable et automatisé, et tous les « acteurs » concernés, leurs interactions ainsi que leurs besoins (actuels et futurs) ;

ii) Définir l'architecture globale et les outils d'apprentissage permettant une utilisation efficace des données collectées ;

iii) Proposer un modèle mathématique via une approche auto-organisée pour intégrer les comportements dynamiques des acteurs à un niveau opérationnel ;

iv) Définir l'outil d'aide à la décision en tenant compte de scénarios d'évolution du système et en plaçant le produit au cœur du système. Cet outil d'aide à la décision doit permettre de réagir en temps quasi réel. Il doit tenir compte du fait que chaque agent est caractérisé par des finalités propres : chaque agent est décrit de façon spécifique par rapport aux autres agents (comportement, paramètres, variables d'état qui varient en fonction du temps). La prise en compte de cette différenciation rend l'outil d'aide à la décision plus complexe mais il offrira des opportunités de pilotage optimal.

Références

[Chen et al, 2008] David Chen, Guy Doumeingts, François B. Vernadat. Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future. Computers in Industry 59(7), 2008, 647-659.

[Hao et al., 2022] Yuan Hao, Fouzia Ounnar, Patrick Pujo et Gilles Paché. La sélection de prestataires de services logistiques à l'ère de l'Internet physique et de l'Internet des objets. CAIRN Info – Marché et organisation, 2022/3(45), 81-102 (in French).

[Ivanov et al., 2020] Ivanov, D., Tang, C. S., Dolgui, A., Battini, D., & Das, A. (2020). Researchers' perspectives on Industry 4.0: multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management. International Journal of Production Research, 59(7), 2055–2078.

[Kaczmarczyk et al., 2022] Václav Kaczmarczyk, František Zezulka, Tomáš Benešl, Jakub Arm, Petr Marcoň, Jan Jirsa, Lukáš Venkrbec. Revisiting the Role of Manufacturing Execution Systems in Industry 4.0, IFAC-PapersOnLine, 55(4), 2022, 151-157.

[Liu, 2023] Shiming Liu. Proposition d'un cadre pour la gestion de ressources industrielles partagées via une plateforme numérique, Thèse de Doctorat soutenue en 2023, Université de Lorraine (in French).

[Weyer et al., 2015] Stephan Weyer, Mathias Schmitt, Moritz Ohmer, Dominic Gorecky. Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems, IFAC-PapersOnLine, 48(3), 2015, 579-584.