

AFSCET

Res-Systemica

Revue Française de Systémique
Fondée par Evelyne Andreewsky

Volume 20, printemps 2020

Modélisation systémique
de systèmes cyber-physiques

Res-Systemica, volume 20, article 06

Modélisation et simulation multi-agent
des systèmes cyber-physiques industriels

M'hammed Sahnoun, Belgacem Bettayeb, Anne Louis, David Baudry

4 pages

contribution reçue le 14 mars 2020



Creative Commons

MODÉLISATION ET SIMULATION MULTI-AGENT DES SYSTÈMES CYBER-PHYSIQUES INDUSTRIELS

A PREPRINT

M'hammed SAHNOUN
LINEACT CESI
Mt-St-Aignan, France
msahnoun@cesi.fr

Belgacem BETTAYEB
LINEACT CESI
Lille, France
bbetayeb@cesi.fr

Anne LOUIS
LINEACT CESI
Mt-St-Aignan, France
alouis@cesi.fr

David BAUDRY
LINEACT CESI
Mt-St-Aignan, France
dbaudry@cesi.fr

May 17, 2019

ABSTRACT

Ce papier propose une modélisation basée sur des systèmes multi-agent pour la simulation d'un atelier de production considéré comme un système cyber-physique (CPS). Un système cyber-physique industriel, appelé en anglais "Cyber-Physical Production System" (CPPS), représente une composante fondamentale de l'industrie 4.0, qui influence fortement la manière de concevoir, piloter et superviser les ateliers de production et toute la chaîne logistique. En effet, l'utilisation de systèmes contenant des composantes physiques et d'autres informatiques offrant de l'intelligence à ces organes et ouvre le champ d'étude de plusieurs problématiques liées à la modélisation de ces systèmes et leur processus de supervision dans les ateliers de productions. Dans ce papier, nous proposons une architecture fractale multi-agent permettant de représenter l'atelier et ses composantes ainsi que son application sur la tâche de transport dans les ateliers de production flexible.

Keywords Cyber physical production systems · multi-agent system · simulation · flexible manufacturing systems

1 Introduction

L'industrie 4.0 représente une nouvelle génération des systèmes de production capables de relever les défis économiques, sociétaux et environnementaux actuels. Sa mise en œuvre repose sur un ensemble de nouveaux concepts et technologies de fabrication et de collecte, de stockage et d'analyse des données dont les systèmes cyber-physique (en anglais : "Cyber-Physical System") (CPS). Ce concept se base sur l'intégration informatique dans des processus physiques afin d'assurer la fusion des mondes physiques et virtuels, qui donne lieu à l'utilisation des systèmes cyber-physique.

L'acronyme CPS est l'un des 50 mots à la mode (Buzzwords) rapportés par Wikipedia. On a commencé à parler de ce terme seulement depuis la dernière décennie (vers 2006)[1] [2]. Lee [3] est le premier chercheur qui a défini le CPS comme suit : " Cyber-Physical Systems (CPS) sont des intégrations de calcul avec des processus physiques. Les ordinateurs embarqués et les réseaux informatiques surveillent et contrôlent les processus physiques, généralement avec des boucles de rétro-action, où les processus physiques affectent les calculs et vice versa". Les CPS sont également définis comme étant les objets physiques avec logiciel embarqué et puissance de calcul [4]. Le CPS est également présenté comme un système intelligent qui comprend du matériel, des logiciels et des composants informatiques et physiques, qui effectue des opérations informatiques en collaboration avec son environnement physique et qui est intégré de façon transparente pour interagir, détecter et contrôler en temps réel l'évolution du monde réel [5].

Lee et al [6] présentent une architecture du CPS, nommée 5C, composée de fonctions à différents niveaux d'abstraction : un niveau de connexion intelligent, un niveau de conversion de données en informations, un niveau cyber, un niveau cognitif et un niveau de configuration[7]. Cette architecture est adoptée pour fournir une ligne directrice pour l'utilisation et la surveillance du CPS pour les applications industrielles [8].

L'adoption et la prolifération des CPS dans les industries d'aujourd'hui est un élément précurseur dans la migration vers l'industrie 4.0, avec une réduction significative des coûts et une augmentation de la qualité des produits [9]. Dans

l'industrie 4.0, un CPS a la capacité d'inclure un réseau de capteurs intégrés et un système informatique [5]. Il peut communiquer pour contrôler à distance le processus de production. Les informations communiquées sont disponibles sur les dispositifs IoT et le Cloud. Grâce à ces technologies, le CPS peut produire des comportements et des décisions intelligentes en utilisant ses capacités de calcul et de communication [10].

D'un autre côté, l'industrie 4.0 offre plus de réactivité, de capacités d'autogestion et d'efficacité pour les systèmes de fabrication. Ceci peut être satisfait par de nouvelles plates-formes collaboratives basées sur des systèmes décentralisés, tels que les CPS, pour les usines et les produits intelligents [11]. Jusqu'à présent, les architectures distribuées des systèmes de production étaient des concepts purement théoriques et leur réalisation était presque impossible en raison du manque de technologies répondant à leurs exigences. Grâce aux CPPS, il devient possible de réaliser des architectures pour l'Industrie 4.0 qui utilisent le concept de systèmes de production cyber-physiques (CPPS). Le CPPS est défini par Monostori [12] comme étant: "des éléments et sous-systèmes autonomes et coopératifs qui se mettent en relation les uns avec les autres en fonction de la situation, à tous les niveaux de production, des processus aux réseaux de production et de logistique, en passant par les machines". Ces CPPS peuvent détecter leur état et prendre des décisions de manière autonome [4].

La modélisation de CPPS représente un vrai challenge vu leur haut niveau de complexité regroupant en même temps des problématique lié aux systèmes physiques et informatiques. Dans ce papier nous proposons une architecture de modélisation des CPPS basée sur les systèmes multi-agent. Le papier de présente l'architecture proposée dans la section suivante. Ensuite, il illustre cette architecture à travers l'exemple d'un atelier flexible utilisant des transporteurs autonomes dans la section 3. Le papier se termine avec une conclusion et des perspectives.

2 Approche

Un atelier de production moderne constitue un CPPS vu les composantes physiques et logicielles qu'il contient. De plus, les composants des ateliers de production sont de plus en plus intelligents grâce à la facilité d'intégrer des moyens de calcul embarqués ou partagés (Cloud ou Fog computing) dans les ateliers de production. Comme nous l'avons mentionné auparavant, l'architecture 5C du CPS représente les fonctions d'un CPS et a été étudiée et validée par plusieurs travaux de recherche dans la littérature. D'un autre coté, en se basant sur la définition de Monostori du CPPS, nous pouvons présenter l'atelier de production comme étant un système composé d'autres CPS. Si on représente chaque organe de l'atelier par un agent CPS, le système de production peut être représenté par un système multi-agent ayant lui aussi l'architecture 5C et composé lui même de plusieurs agents représentant chacun un CPS suivant la même architecture. Ceci conduit à un système fractal à deux niveaux, comme le montre la Figure 1. Même si chaque élément intelligent dans l'atelier a les mêmes fonctions d'un CPS, les attributs de chacun peuvent être différents. Comme on peut observer sur la Figure 1, l'élément "Robot", par exemple, diffère de l'élément "Machines de production" dans les attributs de la fonction "communication" et la couche des fonctions "cyber". L'adoption de cette architecture facilite la modélisation et simulation du système de production en utilisant des systèmes multi-agents. Dans la section suivante nous proposons une simulation d'un système de production simplifié basé sur cette architecture.

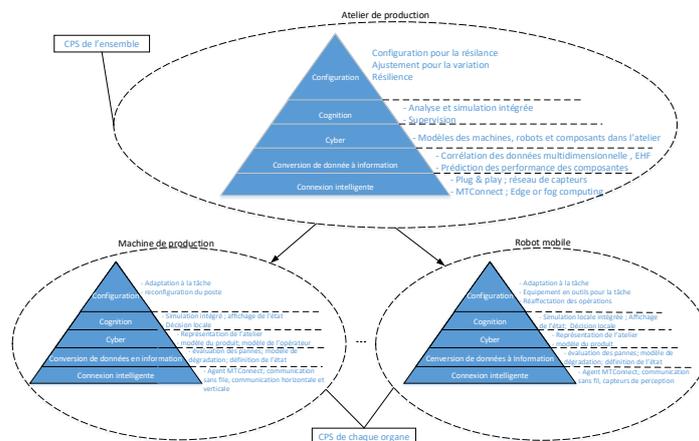


Figure 1: Représentation fractale d'un systèmes de production cyber-physique (CPPS)

Table 1: Les attributs des agents composant l'atelier de production

| Agents | Configuration | Cognition (connaissance) | Cyber | Conversion | Connexion | Type |
|-----------------------------------|---|---|--|--|---|---------------|
| Machine | Réglage de la machine, ajout ou changement d'outils ou de module | Simulation locale, affichage de l'état, choix du produit | Représentation des atelier, des produits et des stocks et comportement d'opérateurs humain | Transformation de données capteurs en état de l'machine | Communication avec les autres organes de l'atelier (robot) et avec le système de supervision de l'atelier | Agent actif |
| Robot Transporteur | Adaptation au produit, adaptation au besoin de l'atelier | Simulation des action, affichage de l'état du transporteur, choix du produit à transporter et de la destination | État des produits, capacité des machines et modèle de l'environnement | Transformation des données capteurs pour la localisation et l'identification des autres organes et obstacles | Connexion avec les autres transporteurs, avec les machines et le système de supervision de l'atelier | Agent actif |
| Stocks d'entrée /Stocks de sortie | adaptation avec les machines et les transporteurs et les types des produits | ordonnancement des produits | modèle du transporteur, machines et produits | prédiction de séjours des produit et leurs mouvements, comptage de nombre de produit | communication du contenu aux machines concernés et aux transporteurs ainsi qu'au système de supervision | Agent actif |
| Produits | – | état du produit | Capabilité des machines et des transporteurs | – | communication de l'état du produit avec les transporteurs et les machines et les autres produits | Agent réactif |

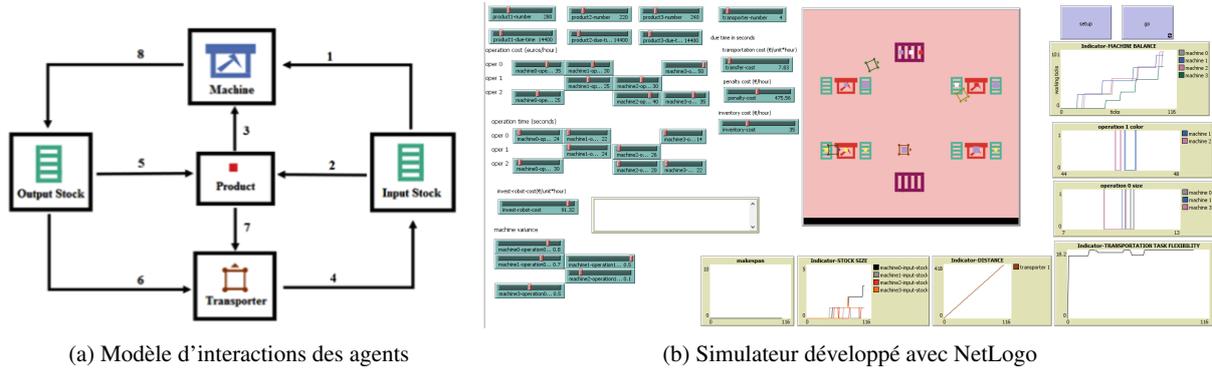


Figure 2: Modélisation et simulation de l'atelier de production avec systèmes multi agents

3 Modèle de simulation

Le cas d'usage proposé est un atelier de production composé de quatre machines de production, deux zones de stockage (à l'entrée et à la sortie de l'atelier) et une flotte de robots mobiles qui assurent le transport des produits entre les machines de production et les zones de stockage. Trois types de produits peuvent être fabriqués par l'ensemble des machines. L'atelier est organisé en job-shop flexible où les machines peuvent effectuer plusieurs types d'opérations et les produits ne possèdent pas un routage prédéfini. On utilise un algorithme distribué pour le choix du produit à transporter et la machine de destination. Cet algorithme est basé sur le principe d'entropie pour classer les critères de dispatching [13].

Le système de production est modélisé par un système multi-agents composé de 5 types d'agents qui sont : (1) Machine; (2) Transporteur; (3) stocks d'entrée; (4) stock de sortie; (5) Produit. Nous avons supposé que tout les agents sont actif sauf les produits. Vu que tout les agents sont des organes physique de l'atelier de production, nous les avons considéré comme des CPSs. Le Tableau 1 classe les comportements et les variables de chaque agent par rapport aux cinq fonctions génériques du CPS. La fonction communication de chaque agent permet d'établir un lien avec les autres éléments du système de production. La Figure 2a représente les interactions entre les différents agents qui sont la conséquence de la fonctionnalité "Connexion" et "Cyber" de chaque agent. Le système à été implémenté en utilisant NetLogo et à permis de reproduire de comportement complexe du systèmes de production et de faire plusieurs études sur les performances des FMS.

4 Conclusion

Ce papier s'intéresse à la représentation des systèmes de production sous forme de système de production cyberphysique. Il propose une architecture qui assume que même si un système de production est un système cyberphysique (CPS), ses composantes intelligentes sont aussi des CPS à leur tour mais avec des attributs différents. Nous avons appliqué l'architecture proposé sur un exemple de système de production flexible (FMS) avec une prise de décision distribuée pour la tâche de transport. Le FMS représenté par un système multi-agent composé de cinq agents et a été modélisé et simulé sous NetLogo. La modélisation permet de retrouver le fonctionnement d'un système réel. À travers cette étude nous avons démontré l'efficacité de la modélisation des CPPS par des systèmes multi-agents. La suite de ce

travail va être consacrée à tester ce modèle sur des aspects pour lesquelles les CPSs sont sensés donner des meilleures performances telles que l’auto-organisation et l’amélioration de la résilience des système de production.

5 Remerciements

Nous remercions la région Normandie et l’Union européenne pour le soutien apporté à cette recherche par le programme européen FEDER en finançant le projet Xterm.

References

- [1] Armando W Colombo, Stamatis Karnouskos, Okyay Kaynak, Yang Shi, and Shen Yin. Industrial cyberphysical systems: A backbone of the fourth industrial revolution. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 11(1):6–16, 2017.
- [2] Ayan Banerjee, Krishna K Venkatasubramanian, Tridib Mukherjee, and Sandeep Kumar S Gupta. Ensuring safety, security, and sustainability of mission-critical cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, 100(1):283–299, 2012.
- [3] Edward A Lee. Cyber-physical systems-are computing foundations adequate. In *Position Paper for NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap*, volume 2, 2006.
- [4] Francisco Almada-Lobo. The industry 4.0 revolution and the future of manufacturing execution systems (mes). *Journal of Innovation Management*, 3(4):16–21, 2016.
- [5] Henning Kagermann, Johannes Helbig, Ariane Hellinger, and Wolfgang Wahlster. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion, 2013.
- [6] Jay Lee, Behrad Bagheri, and Hung-An Kao. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3:18–23, 2015.
- [7] Hyoung Seok Kang, Ju Yeon Lee, SangSu Choi, Hyun Kim, Jun Hee Park, Ji Yeon Son, Bo Hyun Kim, and Sang Do Noh. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1):111–128, 2016.
- [8] Jay Lee, Hossein Davari Ardakani, Shanhu Yang, and Behrad Bagheri. Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation. *Procedia CIRP*, 38:3–7, 2015.
- [9] Günther Schuh, Till Potente, Cathrin Wesch-Potente, Anja Ruth Weber, and Jan-Philipp Prote. Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 19:51–56, 2014.
- [10] Ragunathan Raj Rajkumar, Insup Lee, Lui Sha, and John Stankovic. Cyber-physical systems: the next computing revolution. In *Proceedings of the 47th Design Automation Conference*, pages 731–736. ACM, 2010.
- [11] Nasser Jazdi. Cyber physical systems in the context of industry 4.0. In *Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2014.
- [12] László Monostori. Cyber-physical production systems: Roots, expectations and r&d challenges. *Procedia Cirp*, 17:9–13, 2014.
- [13] José Eloundou. *Modélisation multi-contraintes d’un système de production flexible*. PhD thesis, INSA de Rouen, 2016.