

Démarche de conception de systèmes de production et d'évaluation de leurs performances : une approche par simulation

Mahenina Remiel FENO, Aline CAUVIN, Alain FERRARINI

LSIS UMR CNRS 7296 - Projet INSM - Université Aix-Marseille
Domaine Universitaire de Saint-Jérôme 13397 MARSEILLE CEDEX 20
remiel.feno@lsis.org, aline.cauvin@lsis.org, alain.ferrarini@lsis.org

Les problèmes de conception de système de production consistent à définir au plus juste le processus de fabrication en fonction du besoin. Or dans la pratique, on constate que les choix de conception sont généralement basés sur l'expérience et les connaissances individuelles des ingénieurs. Dans un contexte d'ingénierie concurrente, ce travail s'intéresse à l'évaluation et la maîtrise des performances du système dès l'amont du projet afin de supporter ces choix de conception. Il s'agit d'apporter des éléments de réponse à *comment concevoir un système de production en tenant compte aussi bien des aspects humains que des aspects techniques*. L'idée est de supporter la prise de décision dans les choix stratégiques concernant la structure du système en mettant en évidence l'impact des paramètres de conception sur les indicateurs de performances et ainsi faire émerger les mécanismes de collaboration entre les différents acteurs métiers. L'accent est mis sur la performance opérationnelle (maquette d'effectif, engagement, ergonomie), caractéristiques type des systèmes à forte composante humaine. Cette démarche est élaborée à partir des besoins et des problématiques identifiés dans l'industrie automobile. Elle consiste tout d'abord à modéliser le système de production, à identifier, analyser et organiser ses indicateurs de performances puis à formaliser les choix de conception. L'objectif est de réduire la durée des études entre les hypothèses retenues et les résultats effectifs en termes de performance globale.

Ce travail se positionne dans les phases amont du processus d'industrialisation (choix d'implantation, dimensionnement et spécification du processus de fabrication), étape durant laquelle il est nécessaire d'orienter les choix de conception en intégrant les perturbations futures (variation de la demande en volume et en diversité). Notre problématique peut se décomposer en deux parties, *comment évaluer la performance opérationnelle d'un système de production en amont de projet? Quels moyens mettre en œuvre pour optimiser les choix de conception du système?* L'analyse d'activités des différentes filières métier permet de dégager les principaux critères permettant d'évaluer la performance globale du système. On distingue (1) la flexibilité à la demande, (2) l'investissement, (3) la performance logistique, (4) la surface d'implantation, (5) le taux d'utilisation des équipements et (6) la performance opérationnelle. Il faudra ensuite évaluer ces indicateurs dès l'amont du projet, d'où le besoin d'instrumenter le processus de décision afin d'anticiper les futures perturbations. La problématique scientifique porte sur la formalisation des prises de décision dans les choix de conception du système de production et la prise en compte du facteur humain dans l'évaluation des performances. Les verrous technologiques associés consistent à reconfigurer rapidement les modèles de simulation et à manipuler de manière efficace les informations produit / processus afin d'améliorer la qualité des prises de décision.

Les travaux de référence traitant des problématiques similaires se classent en deux catégories. La première concerne les méthodologies de *conception, de simulation et d'optimisation des systèmes de production* [1] [2], qui relève du domaine de l'ingénierie. La deuxième concerne *la formalisation des processus de décision dans un contexte d'ingénierie concurrente* [3] [4] [5], thématique qui relève du domaine de la modélisation d'entreprise. Les choix de conception dépendent donc de leurs impacts sur la performance globale du système de production. Notre problématique utilise des variables multiples et hétérogènes qui évoluent au cours du projet. De plus, chaque acteurs a une vue partielle de la performance globale. L'idée est de transposer les principes de résolution coopérative de problème [6] [7] pour prendre en compte la dimension cognitive des décideurs sur les choix de conception. L'approche de modélisation orientée agent a été explorée pour résoudre différents problèmes dans l'industrie (Réordonnement [8] , modélisation de chaîne logistique [9] [10] [11], gestion de projet de construction [12], planification d'atelier [13], aide à la conception de produit [14] [15] et de ligne d'assemblage [16]). L'émergence de plusieurs axes de recherche et d'application industrielle confirme que les systèmes orientés agent ont des propriétés intéressantes et pertinentes (négociation, coordination) pour répondre à notre problématique [17] [18] [19] [20].

Comme perspectives d'application à l'ingénierie automobile, nous proposons de modéliser le processus de conception et d'évaluation des solutions afin d'analyser le raisonnement des concepteurs face à un problème donné. Ce processus fait appel aux principes de gestion de production (Lean manufacturing) dont le résultat est issu d'un compromis entre les différents acteurs du projet. L'approche méthodologique consiste à (1) analyser différents scénarios en fonction des hypothèses projets, (2) modéliser et simuler le processus qui permet de définir une configuration du système, puis (3) appliquer une analyse multicritère pour comparer les alternatives de solutions. La démarche est confrontée à un cas d'étude pour l'assemblage des pièces élémentaires de la caisse d'un véhicule. Cette analyse combinée du processus de conception et de l'évaluation des performances du système de production permet d'avoir une idée sur les conséquences des choix de conception en amont de projet. Ceci permettra à termes de valider au plus tôt la faisabilité et la performance globale du système de production.

Mots clés: Conception de système, évaluation de performance, modélisation, simulation, usine numérique.

Manufacturing system design and performance measurement: a simulation based approach

Remiel FENO, Aline CAUVIN, Alain FERRARINI

LSIS UMR CNRS 7296 - Projet INSM - Université Aix-Marseille
Domaine Universitaire de Saint-Jérôme 13397 MARSEILLE CEDEX 20
remiel.feno@lsis.org, aline.cauvin@lsis.org, alain.ferrarini@lsis.org

Plant design issues consist in finding an efficient layout fulfilling the required production rate. In practice, this decision process is mainly based on experience or individual knowledge of designers. Within a concurrent engineering context, this research work deals with production systems performance measurement at early stage of a project. We try to bring answers to *how to design a manufacturing system taking into account both technical and human factors*. The idea is to support decision process on strategical choices regarding the manufacturing process configuration in early stage of the design process. We focus on operational performances such as workforce, working ratio and ergonomic which are typical features of manual assembly lines. This approach is based on identified industrial issues and consists in modeling the manufacturing process, identifying the main key performances and formalizing the decision process based on their values. The objective is to reduce the time between design hypothesis and effective performance results which contribute to reduce time to market.

This study focuses on the industrialization stage (dimensioning, layout and process design) during which designers and decision makers need to be guided in their choices by taking into account possible disruption (variety of mix and volume production). Two questions arise from our main issue, *how to assess the production system performance in the conceptual design phase? And which tools/information to provide to support decisions during the system design process?* Firstly, we need to identify performance criteria that allow us to assess each hypothesis. Two different layout configurations can be evaluated based on (1) demand flexibility, (2) investment, (3) logistical efficiency, (4) surface area, (5) equipment utilization and (6) operational performance. Secondly, these criteria need to be assessed in the preliminary design project. We propose a simulation based approach to support decision process and make virtual experimentation for each valuable manufacturing configuration. This way, decision makers could validate global system performances and its feasibility before implementation. Our main contribution will take part in how to formalize decision process in the design of manufacturing systems and take into account human factor in the performance measurement. The according technological issues we face are the quick reconfiguration or reuse of the simulation models and efficient product/process data management to efficiently support decision process at conceptual design.

This study is based on two groups of reference works in the literature. The first deals with *production system design, simulation and optimization* [1] [2], which is part of system engineering. The second deals with *modeling decision process during the design of these production systems in a concurrent engineering context* [3] [4] [5], which is part of enterprise modeling. Design choices then depends on their impacts on global performance. In our case, design issues deals with multiple and heterogeneous parameters which can be conflicting. We propose to use the collaborative and distributed problem solving principles [6] [7] to take into account cognitive aspects of the decision process. Agent based modeling have been used to solve industrial problems such as dynamic rescheduling [8], supply chain modeling [9] [10] [11], building site construction, process planning [13], product [14] [15] and assembly line [16] design. Many industrial applications have confirmed that they have interesting properties (negotiation, coordination) [17] [18] [19] [20] which can solve production system design issues.

This theoretical approach is facing concrete application in the automotive industry. On the one hand a part of an assembly line is described to identify, analyze and organize its performance indicators. On the other hand design process and each alternative are modeled in order to analyze designers reasoning process and conflict solving. We mainly focus on process dimensioning, layout, material flow, buffer capacity and operational tasks problems. This is supported by a simulation model to analyze the impact of each criterion on the global performance. Our methodological approach is to (1) analyze several layout alternatives, (2) simulate each configuration (3) and perform multicriteria analysis to compare each alternative. This combined analysis of production system and design process allows us to evaluate the impact of design choices on the system global performance.

Keywords: Manufacturing process design, performance measurement, modeling, simulation, digital factory.

Références bibliographiques

- [1] W. J. Hopp and M. L. Spearman, *Factory physics*, 3rd ed. Waveland Press, Inc., 2011, p. 720.
- [2] V. A. Reynal, "Production system design and its implementation in the automotive and aircraft industry," Georgia Institute of Technology, 1998.
- [3] A. Cauvin, "Analyse, modélisation et amélioration de la réactivité des systèmes de décision dans les organisations industrielles," mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paul Cézanne - Aix-Marseille III, 2005.
- [4] R. Megartsi, "Proposition d'un support de conduite des processus d'entreprise dans un contexte perturbé," Université de Droit, d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille III, 2001.
- [5] C. Dartigues and G. Parisa, "État de l'art sur l'Ingénierie Concourante," *International Journal of Design and Innovation Research (IJDIR)*, pp. 1–40, 2003.
- [6] A. Cauvin, A. Ferrarini, and E. Tranvouez, "Disruption management in distributed enterprises: A multi-agent modelling and simulation of cooperative recovery behaviours," *International Journal of Production Economics*, vol. 122, no. 1, pp. 429–439, 2009.
- [7] C. Cerezuela, "Contribution à l'élaboration de méthodes et d'outils d'aide à la conception dans une perspective d'ingénierie concourante. Le cas du câblage électrique," Thèse de docteur en sciences, Université d'Aix-Marseille III, 1996.
- [8] E. Tranvouez, "IAD et ordonnancement : une approche coopérative du réordonnancement par systèmes multi-agents," 2001.
- [9] A. Ferrarini and O. Labarthe, "Modélisation Multi-Agents De Chaines Logistiques," in *4eme congrés international de génie industriel, Aix-Marseille, France*, 2001, p. 11.
- [10] O. Labarthe, B. Espinasse, A. Ferrarini, and B. Montreuil, "Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 15, no. 2, pp. 113–136, 2007.
- [11] K. Mustapha, E. Tranvouez, B. Espinasse, and A. Ferrarini, "Agent-Based Supply Chain Simulation: Towards An Organization-Oriented Methodological Framework," in *8th International Conference of Modeling and Simulation - MOSIM*, 2010.
- [12] A. Ferrarini, S. Fournier, E. Tranvouez, and A. Cauvin, "Decision aid using multiagent models and simulation : Disruption Management in Building Site organization," in *20th International Conference on Production Research (ICPR'20)*, 2009, no. 2004, pp. 61 – 68.
- [13] F. Armetta, S. Hassas, and S. Pimont, "Une approche auto-organisationnelle pour la gestion dynamique des flux dans les chaines de production," pp. 1–21, 2004.
- [14] P. Nowak, R. Postansque, B. Eynard, and S. Florence, "Application de systèmes multi-agent coopératifs en conception assistée par ordinateur," in *Gesion dynamique des connaissances industrielles*, 2004.
- [15] H. Park, M. R. Cutkosky, A. B. Conru, and S. Lee, "An Agent-Based Approach to Concurrent Cable Harness Design," pp. 1–33, 1994.
- [16] F. Sprumont and J.-P. Muller, "Amacoia a multiagent system for designing flexible assembly lines," *Applied Artificial Intelligence*, vol. 11, no. 6, pp. 573–589, 2007.
- [17] H. V. D. Parunak, "A Practitioners Review of Industrial Agent Applications. Application Reports," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 389–407, 2000.
- [18] M. Pechoucek and V. Marik, "Review of Industrial Deployment of Multi-Agent Systems," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems archive*, vol. 17, no. 3, pp. 1–24, 2008.
- [19] A. Sayda, "Multi-agent Systems for Industrial Applications: Design, Development, and Challenges," in *Chapter 23 of Modeling, Control, Programming, Simulations and Applications. Faisal Alkhateeb, Eslam Al Maghayreh and Iyad Abu Doush (Ed.)*, ISBN: 978-953-307-174-9, 2011.
- [20] L. Monostori, J. Vánca, and S. R. T. Kumara, "Agent-Based Systems for Manufacturing," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 55, no. 2, pp. 697–720, 2006.