

Prise en compte de l'évolution de la famille de produit dans l'agencement des machines reconfigurables : approche multicritère

Hichem Haddou-Benderbal¹, Lyes Benyoucef¹

¹ LIS-UMR 7020, Aix-Marseille University, Marseille, France
{hicham.haddou-ben-derbal, lyes.benyoucef}@lis-lab.fr

Mots-clés : RMS, agencement, famille de produit, heuristique, optimisation, AMOSA

1. Contexte et motivations

À la fin du XXe siècle, on pouvait distinguer deux types principaux de systèmes manufacturiers : Système Manufacturier Dédié (DMS) et Système Manufacturier Flexible (FMS). Les DMSs, appelés aussi lignes de transfert ou lignes de production, sont conçues pour fabriquer un seul type de produit avec un très haut volume de production. Les FMSs sont conçus pour la production de faible volume/grande variété en se basant sur les machines à commandes numériques (CNC). Un FMS permet la redéfinition des produits pour répondre aux nouvelles exigences du marché. Toutefois, il s'est avéré que les FMSs sont trop complexes, insuffisamment fiables, relativement chers et souvent surdimensionnés en termes de flexibilité. Ce constat a amené à la recherche d'un nouveau concept d'organisation des systèmes de production réunissant les avantages des DMSs et FMSs, appelé système manufacturier reconfigurable (RMS).

Un RMS est conçu pour fabriquer un produit précis, en intégrant une aptitude d'évolution vers d'autres produits de la même famille [3]. Cette aptitude s'appuie essentiellement sur les capacités de reconfiguration offertes par les machines reconfigurables (RMT). En effet, la nature du RMS repose sur le fait qu'il est conçu pour assurer la fabrication d'un produit, tout en intégrant les capacités et les fonctionnalités nécessaires qui lui permettent d'évoluer vers la fabrication de d'autres produits de la même famille.

La conception d'un RMS repose entre autres sur deux problèmes principaux et distincts, à savoir la sélection des machines (généralement résolu à travers la génération des gammes de fabrication) et l'agencement de ces machines dans un atelier [2]. Plus précisément dans un environnement de production reconfigurable, les modifications de l'agencement, des composants, des machines ou des unités de manutention sont censées s'adapter pour faire face à des changements rapides [1]. Dans ce type d'environnement, un mauvais agencement des machines peut entraîner une flexibilité réduite et la modification peut s'avérer coûteuse et difficile. Par conséquent, il est impératif de diminuer ou empêcher les modifications fréquentes en développant le meilleur agencement possible.

2. Notre problématique

Nous abordons dans cet article, l'un des aspects liés à la réactivité des RMSs, en étudiant la relation qui lie le système conçu à ses deux environnements respectivement physique (i.e. l'atelier reconfigurable physique implémentant ce RMS) et logique (i.e. la famille de produits dans laquelle ce RMS peut évoluer).

1. **Environnement logique** : notre première problématique concerne l'évolution du produit, dans une même famille, vers de nouveaux produits pour répondre aux évolutions et aux exigences des clients. *Pour cela, trois critères sont utilisés respectivement : (1) minimiser l'effort d'évolution du système lors de la transition, (2) maximiser l'utilisation moyenne des*

machines afin de réduire au mieux le déséquilibre des charges et (3) maximiser la présence des machines de remplacement dans les gammes de fabrication de la famille de produits.

2. **Environnement physique :** notre deuxième problématique est liée à l'agencement des machines dans un environnement reconfigurable en se basant sur les résultats de la première problématique. En effet, la structure physique de l'atelier doit être en mesure de garantir la flexibilité nécessaire pour accompagner les évolutions du RMS d'une manière efficace et rapide. Pour cela un critère de pénalité est choisi pour guider la recherche de l'approche développée. *Le critère minimise les pénalités relatives à la non-satisfaction des contraintes d'association RMTs – emplacements dans l'atelier.*

Ainsi, notre problématique vise à garantir la meilleure transition entre les différents produits d'une même famille via les différentes gammes de fabrication (première problématique) en déterminant le meilleur agencement des machines reconfigurables sélectionnées (deuxième problématique).

3. Approche proposée

Pour traiter notre première problématique, nous avons opté pour une adaptation de la métaheuristique AMOSA (*Archived MultiObjective Simulated Annealing*). Le codage des gammes de fabrication représente une étape critique qui affecte le processus de recherche des meilleures gammes. Dans notre cas, nous avons choisi *une représentation des gammes en nombres entiers*. Chaque nombre représente une des machines utilisées dans les gammes de la même famille de produits. *Notons que, même si une machine figure plusieurs fois dans la gamme, la solution codée ne contiendra qu'une seule occurrence de cette machine.* Une fois implémentée, pour générer de nouvelles gammes, AMOSA cherche les meilleures transitions entre les différents produits en basant sur *une méthode dite de perturbations*. Cette méthode utilise la matrice d'inclusion qui détaille les relations d'inclusion entre les fonctionnalités des différentes machines. En effet, l'objectif consiste à déterminer si une machine M_i sélectionnée dans la gamme de fabrication en question peut être remplacée par une autre machine M_j , où toutes les fonctionnalités de M_i sont incluses dans les fonctionnalités de M_j .

Pour notre deuxième problématique, en utilisant les gammes générées par la méthode AMOSA, nous proposons une approche basée sur *une heuristique de recherche exhaustive* afin de déterminer le meilleur agencement des machines. Dans un premier temps, l'heuristique génère un agencement initial basé sur la séquence d'utilisation des machines dans les gammes de fabrication donnée par AMOSA. Une fois cet agencement initial généré, l'heuristique utilise les matrices des distances entre les machines (*MinAD : minimum accepted distance et MaxAD : maximum accepted distance*) et des localisations entre les emplacements disponibles afin de déterminer le meilleur agencement répondant au mieux aux contraintes des gammes de fabrication. Des expériences numériques et analyses sont élaborées afin de justifier la validité de notre approche.

4. Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons étudié les relations qui lient un RMS aux deux environnements logique et physique. En utilisant une adaptation de l'approche AMOSA, nous avons traité la problématique liée à l'évolution du RMS par rapport aux évolutions des produits au sein d'une même famille. Les résultats obtenus ont été ensuite utilisés dans une heuristique pour déterminer l'agencement des RMTs sélectionnées. Nous visons par la suite l'intégration des deux problématiques, en étudiant l'impact de l'évolution des produits et l'agencement sur la conception et la composition du RMS.

Références

- [1] Andrisano AO, Leali F, Pellicciari M, Pini F, Vergnano A (2012) Hybrid Reconfigurable System design and optimization through virtual prototyping and digital manufacturing tools. *Int J Interact Des Manuf* 6(1):17–27
- [2] H. Haddou Benderbal, M. Dahane and L. Benyoucef (2017). Flexibility-based multi-objective approach for machines selection in reconfigurable manufacturing system (RMS) design under unavailability constraints. *International Journal of Production Research*, Vol. 55, Issue 20, pp: 6033-6051.
- [3] Koren, Y. (2010). The global manufacturing revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems (Vol. 80). John Wiley and Sons [2] Scott Kirkpatrick, C Daniel Gelatt, and Mario P Vecchi. Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598) :671–680, 1983.