Utilisation d'un jumeau numérique pour l'ordonnancement dynamique d'un flow shop hybride

Achille Poirier*[1], Guillaume Martin[1], and Jacques Lamothe*[1]

[1]Centre Génie Industriel – IMT École nationale supérieure des Mines dÁlbi-Carmaux, IMT École nationale supérieure des Mines dÁlbi-Carmaux, IMT École nationale supérieure des Mines d'Albi-Carmaux – France

Résumé

Abstract:
Cette recherche qui débute vise à évaluer l'intérêt d'un jumeau numérique pour l'ordonnancement dynamique d'un atelier de type Flowshop Hydride. On propose une architecture autour de plusieurs modules : un solveur produisant des séquences d'Ordres de Fabrication, un simulateur évaluant ces séquences en produisant des ordonnancements face à des scénarios d'incertitudes, un analyseur évaluant un état de l'atelier pour détecter des dérives, et un émulateur simulant la production au sein de l'atelier et sa synchronisation avec un modèle de simulation. L'objectif est de comparer les performances d'un tel système lorsqu'il produit un ordonnancement uniquement à période fixe (tous les jours) contre ses performances quand l'analyseur est amené à déclencher des ré-ordonnancements lorsque des dérives sont détectées.

• 1. Introduction

Les Digital Twin (DT) deviennent un pilier de l'industrie 4.0 et des systèmes cybers-physiques (Zhuang, Liu, & Xiong, 2018). (Boyes & T., 2022) identifient 17 définitions du DT différentes suite à l'essor des travaux récents et en proposent une plus générale : " (le DT est) un couplage entre l'état physique d'un système ou d'un processus et une représentation virtuelle de celui-ci avec des visées fonctionnelles". Cette capacité à récupérer des données en temps réel offre un potentiel d'adaptation dynamique, explorant diverses stratégies et scénarios simulés. L'intégration des DT dans les environnements industriels promet d'améliorer l'efficacité, la robustesse et la compréhension des systèmes complexes.

Cette communication étudie la capacité du DT à résoudre le problème de planification dynamique d'un flow shop hybride (HFS, Hybrid Flowshop Scheduling). Le HFS (Ruiz & Vázquez-Rodríguez, 2010) généralise le problème de flow shop, fréquent dans les applications industrielles. On y cherche un planning des ordres de fabrication passant par les mêmes machines, dans le même ordre. Chaque étage de machines comprend des machines parallèles, différentes ou non. La complexité augmente alors avec la variété des gammes de production, la prise en compte d'incertitudes sur des changements de demande, des retards de production, ou bien si la décision est multicritères. La version dynamique HFS prend en compte en plus un horizon glissant de visibilité, et des décalages entre le prévisionnel et le réalisé. Nous proposons de gérer ce type d'atelier en dynamique dans le paradigme des DT, via un jumeau numérique représenté par un simulateur et un solveur et un système physique représenté par un émulateur.

*Intervenant

L'atelier considéré est composé de plusieurs zones de traitement, chacune équipée d'une ou plusieurs machines. Chaque machine peut traiter une tâche en simultané. Les tâches en attente de traitement forment une file par zone. Chaque zone est associée à une opération. L'atelier reçoit un ensemble de tâches à réaliser chaque jour. Une tâche peut passer plusieurs fois sur une zone, mais pas à la suite. Les temps de passage sont spécifiques aux paires tâche-opération.

2. Architecture du Digital twin considéré

L'architecture du jumeau numérique considéré est présenté sur la figire 1. Dés qu'il est consulté, le solveur produit un ordonnancement en réduisant le flowtime (la somme des temps de production de tous les ordres de fabrication connues non finalisées), calculé en faisant appel au simulateur. Au vu de la complexité du problème, il a été choisi d'utiliser une métaheuristique pour le solveur, et parmi celles-ci a été choisi l'algorithme génétique. Les tâches sont ordonnancées de cette façon : une solution de l'algorithme génétique du solveur est une séquence ddes différentes tâches permettant de prioriserles tâches au sein des files de chaque zone. Le simulateur, ordonnance les taches en respectant les priorités données par le solveur. Il calcule le temps de fabrication des tâches en fonction de leur temps opératoire, des caractéristiques de l'atelier précédemment décrites, et des priorités fournies par le solveur : Lorsqu'une machine d'une zone se libère, la tâche à la priorité la plus haute de la file correspondant à cette zone est sélectionnée pour être chargé en machine. .

L'émulateur simule les aléas d'une journée de production en essayant de suivre l'ordonnancement du solveur. Il se met en pause en fin de journée. La journée suivante prend en compte l'état de l'atelier à la fin de la journée précédente, les tâches en cours et restantes, les nouvelles tâches arrivées ce jour-là. Elle commence en déclenchant le solveur pour actualiser l'ordonnancement. Puis l'émulateur émule les aléas de cette nouvelle journée. La performance de l'atelier peut être mesurée sur un horizon d'étude après l'enchaînement de plusieurs journées.

Le solveur et le simulateur forment une boucle produisant à la fin un ordonnancement dynamique du FlowShop Hybride en simulant une planification périodique (journalière).

Pour le volet jumeau numérique, un mode supplémentaire est envisagé : L'analyseur a pour but de détecter des dérives entre l'ordonnancement prévu par le solveur et l'exécution en cours sur l'émulateur. En cas de dérive détectée, l'analyseur déclenche le solveur pour rechercher un nouvel ordonnancement en fonction de l'état courant de l'atelier. Ici dans un premier temps, des fonctionnalités simples de l'analyseur sont étudiées : un ré-ordonnancement est déclenché lorsque une valeur de seuil est dépassée pour l'écart entre la date de fin d'une tâche sur l'émulateur et celle issue du solveur.

Les incertitudes auxquelles est soumis l'atelier ont été modélisées par l'augmentation aléatoire des temps de production des tâches. On différencie les incertitudes qui sont anticipées des aléas non anticipés. La simulation tient compte des incertitudes anticipées : plusieurs simulations sont faites avec pour chacune des durées opératoires perturbées suivant les incertitudes anticipées. Le solveur calcule ensuite la moyenne des résultats de ces simulations, pour obtenir un ordonnancement robuste tenant compte des incertitudes anticipées. L'émulation tient compte des incertitudes anticipées et des aléas non anticipés : une émulation prend en compte des temps de production perturbés suivant ces deux types d'incertitudes. On utilise une loi triangulaire pour modéliser ces incertitudes. Les incertitudes anticipées sont très probables avec un impact léger sur les durées opératoires, tandis que les aléas non anticipés sont peu probables avec un impact élevé.

3. Études en cours

Notre hypothèse est que la détection de dérives par l'analyseur va permettre un meilleur ordonnancement dynamique de l'atelier. Pour la confirmer nous comparerons le temps de

production en ordonnançant uniquement au début de la journée, contre le temps de production en ordonnançant au début de journée, et en réordonnançant dynamiquement lorsque des dérives sont détectées.

Nous étudions pour l'instant 3 indicateurs :

- le flow time : la somme des dates de fin des OF sur tout l'horizon émulé.

- la charge de la zone goulot : l'hypothèse est que la zone goulot est plus sensible à des aléas que les autres zones.

- le nombre de ré-ordonnancement : il est lié au réglage de la valeur de seuil sur l'analyseur.

Pour l'étude expérimentale, un benchmark a été généré avec un ensemble d'atelier de type flowshop hybride et un ensemble de scénarios de demande.

L'étude expérimentale est en cours et les premiers résultats pourront être présentés lors des journées de la SAGIP.

Références

Boyes, H., & T., W. (2022). Digital twins: An analysis framework and open issues. *Computers in Industry.*

Ruiz, R., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2010). The hybrid flow shop scheduling problem. *European journal of operational research.*
Zhuang, C., Liu, J., & Xiong, H. (2018). Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. *The international journal of advanced manufacturing technology.*