

Offre de thèse: Contrat CIFRE

Détection de décalages temporels pour le pilotage de flux de production complexes en industrie 4.0

STMicroelectronics, LAAS-CNRS

Descriptif du sujet de thèse

L'objectif de cette thèse en contrat CIFRE est de développer des méthodologies et des outils d'aide à la décision permettant de gérer efficacement les flux de production en détectant au plus tôt les ralentissements d'une ligne automatisée de production sur l'ensemble des produits. Etant donnée la complexité des flux de production et le volume de données potentiellement en jeu, il est avant tout nécessaire de modéliser formellement le problème afin de bénéficier d'une méthode qui soit mathématiquement correcte. Une ligne de production peut être vue comme un réseau de machines-

outils qui effectuent des opérations sur des produits et ces produits vont d'une machine vers une autre afin que toutes les opérations soient effectuées et que le produit résultant puisse être livré.

Chaque opération de base a une durée qui peut donc être modélisée par un couple d'événements (début,

fin) associés à leur date d'occurrence. Ainsi l'exécution complète d'un procédé de fabrication peut être représentée par une séquence d'événements datés. En adoptant ce point de vue, une modélisation

de ce procédé à l'aide d'un formalisme type réseau de Petri temporel est naturelle. Sur le plan formel, une des sous classes candidates que l'on pourra explorer est celle des Graphes d'Événements Temporisés (GET). Dans un GET, une place représente une machine-outil et une durée d est associée à cette place (durée de l'opération sur la machine). Dans cette sous-classe, des algorithmes de prédictions/simulations bénéficient d'une théorie mathématique qui garantit la linéarité des calculs (algèbre $\max+$ [Baccelli et al., 1992]), ainsi la complexité du problème diminue. Dans cette optique, les travaux de thèses pourront être décomposés de la façon suivante :

1) Définition d'une méthode de détection de fautes temporelles dans les systèmes $(\max,+)$ -linéaires dont les temps de processus sont des intervalles

Dans l'objectif de réalisme de l'approche à développer, on considère que la durée d'une opération sur une machine-outil sera modélisée par un intervalle de temps. Ceci conduit ainsi à étendre les GET classiques aux intervalles de temps. Pour répondre à cette problématique, il faudra utiliser les dioïdes des intervalles détaillés dans [Lhommeau, 2003], [Lhommeau et al., 2004], [Litvinov et al., 2001], [Hardouin et al., 2009] et dont la théorie est inspirée de l'analyse par intervalles [Jaulin et al., 2001]. Le système est alors modélisé avec des délais représentés sous forme d'intervalles dont les bornes minimales et maximales correspondent à des durées d'opération incertaines ou variables, mais toujours bornées. L'objectif consistera alors à proposer une méthode de détection et de localisation de déviations temporelles dans les GET-intervalles pouvant étendre les méthodes connues mais limitées à de simples durées ponctuelles [Sahuguède et al.,

2017]

et [Le Corronc et al., 2017].

2) Modéliser le partage de ressources dans les systèmes (max,+)-linéaires

Les phénomènes de synchronisation de ressources sont très bien représentés dans les systèmes (max,+)-linéaires et donc par les GET. En revanche, le partage de ressources qui peut correspondre à l'utilisation d'une même partie du système par différents éléments n'est pas supporté tel quel par ce formalisme. Une piste à suivre pour résoudre cette problématique est celle présentée dans [Boutin et al., 2008]. L'idée est de découper le modèle au niveau du partage de la ressource en sous-systèmes GET-compatibles dont chacun contient une représentation de cette ressource partagée.

Le délai qui lui est associé dans chaque GET est alors un intervalle de temps dont les bornes correspondent à l'utilisation de la ressource par les autres GET. Les diodes des intervalles sont alors utilisés pour représenter ces GET incertains.

3) Mise en oeuvre d'un outil d'aide à la décision lors de détection de dérives temporelles dans les systèmes (max,+)-linéaires temporellement bornés

Cette implémentation concerne la méthode de détection de décalages temporels dans les systèmes (max,+)-linéaires temporellement bornés établie lors de la première étape. Un point de départ pour cette implémentation pourra être la solution logicielle développée en C++ qui existe actuellement au sein de l'équipe DISCO (MaxPlusLin). Elle correspond à l'implémentation de la méthode de détection et de localisation pour des GET exacts et utilise des libraires manipulant les systèmes (max,+)-linéaires [Cottenceau et al., 2000] et les réseaux de Petri. L'utilisation de cet outil d'aide à la décision se fera en aide au pilotage du flux de production complexe en industrie 4.0 dans l'usine de fabrication de composants électroniques « Crolles300 » du groupe STMicroelectronics.

Autres informations :

Laboratoire d'accueil : LAAS-CNRS équipe Diagnostic Supervision et Conduite (DISCO), Université de Toulouse

Directeurs de thèse : Yannick Pencolé (yannick.pencole@laas.fr) CNRS (responsable DISCO), Euriell Le Corronc (euriell.le.corronc@laas.fr) Enseignant-chercheur Université Paul Sabatier

Lieu : STMicroelectronics, site de Crolles (F-38926), contact : philippe.vialletelle@st.com

Date de début : 01/09/2018

Renseignement et candidatures : les candidats doivent envoyer leur CV, lettre de motivation et relevés de notes de Master (M1 & M2) par voie électronique à yannick.pencole@laas.fr et eurieil.le.corronc@laas.fr.

Références Bibliographiques :

[Baccelli et al., 1992] F. Baccelli, G. Cohen, G.J. Olsder et J.-P. Quadrat. Synchronization and Linearity : an algebra for discrete event systems. Wiley and sons. 1992

[Boutin et al., 2008] O. Boutin, B. Cottenceau et A. L'Anton. Dealing with mutual exclusion sections in production systems : from shared resources to parallel TEG's. In 17th World Congress of the International Federation of Automatic Control. 2008

[Cottenceau et al., 2000] B. Cottenceau, M. Lhommeau, L. Hardouin, et J.-L Boimond. Data processing tool for calculation in dioid. In 5th International Workshop on Discrete Event Systems. 2000.
<http://www.istia.univ-angers.fr/~hardouin/outils.html>

[Hardouin et al., 2009] L. Hardouin, B. Cottenceau, M. Lhommeau et E. Le Corronc. Interval systems over idempotent semiring. Linear Algebra and Its Applications, vol. 431, issues [5-7, 855-62. 2009](#)

[Jaulin et al., 2001] L. Jaulin, M. Kieffer, O. Didrit, E. Walter. Applied Interval Analysis. Springer London. 2001

[Le Corronc et al., 2017] E. Le Corronc, A. Sahuguède et Y. Pencolé. Détection et localisation de fautes temporelles dans les systèmes (max,+)-linéaires. In 11ème Colloque sur la Modélisation des Systèmes Réactifs. 2017

[Lhommeau, 2003] M. Lhommeau. Étude de systèmes à événements discrets dans l'algèbre (max,+): 1. Synthèse de correcteurs robustes dans un dioïde d'intervalles. 2. Synthèse de correcteurs en présence de perturbations. PhD thesis, LARIS - Université d'Angers. 2003

[Lhommeau et al., 2004] M. Lhommeau, L. Hardouin, B. Cottenceau, L. Jaulin. Interval analysis in dioid : Application to robust controller design for Times Event Graphs. Automatica, vol. 40, [1923-1930. 2004](#)

[Litvinov et al., 2001] G.L. Litvinov et A.N. Sobolevskii. Idempotent interval analysis and optimization problems. Reliable computing, vol. 7, no. [5, 353-377. 2001](#)

[Sahuguède et al., 2017] A. Sahuguède, E. Le Corronc et Y. Pencolé. Design of indicators for the detection of time shift failures in (max, +)-linear systems. In 20th World Congress of the International Federation of Automatic Control. 2017