

## Des systèmes à événements discrets aux systèmes hybrides : modélisation et commande

De nombreux domaines d'applications (chaînes de production, processus agro-alimentaires, systèmes informatiques, systèmes de transport, électronique des composants,...) nécessitent une modélisation aboutissant à l'établissement de différents graphes temporels. Regroupés sous le terme « systèmes à événements discrets », nous pouvons citer les graphes PERT, les réseaux de Petri temporisés et temporels, ... Malgré leur différences, nombre de ces modèles partagent la caractéristique d'utiliser des opérations de maximisation, de minimisation et d'addition.

Certains travaux du laboratoire portent sur les graphes d'événements temporisés avec multiplieurs dans l'algèbre  $(\min, +)$  [1]. Les études ont porté sur la linéarisation de ces modèles, l'analyse de performance et la commande en juste à temps. Considérant la même problématique, d'autres travaux montrent que la classe des graphes d'événements temporisés et P-temporels peut être exprimée non dans l'algèbre des dioïdes mais dans l'algèbre standard [2]. Le modèle se présente sous la forme d'un polyèdre, qui décrit l'évolution des dates des événements du processus.

Pour ces deux classes de modèles [1] [2], la **première étape** du projet est d'abord de confirmer l'intuition que les graphes d'événements temporisés avec multiplieurs peuvent non seulement être décrits dans l'algèbre  $(\max, +)$  [1], mais aussi être exprimés dans l'algèbre standard [2] de manière équivalente. Les outils théoriques et logiciels relatifs à ces deux algèbres étant respectivement bien avancés, la question est de construire des ponts dans ces deux axes a priori séparés. La mise en relation de ces théories permettra de réinvestir le savoir-faire obtenu d'un domaine dans l'autre et donc de démultiplier la portée de chaque technique développée. Plus techniquement, cela pose le problème de la relation d'ordre et de treillis dans l'algèbre conventionnelle. Au LISA, ce concept est bien développé pour l'algèbre  $(\max, +)$  à travers de nombreux travaux. Pour l'algèbre standard, le mémoire de thèse [2] est un premier pas dans cette direction. L'objectif du projet sera de le compléter par le développement d'un modèle du type « compteur » qui permettra d'introduire des structures complexes du type disjonctive et conjonctive. Ce pose alors le problème de la poursuite de trajectoire du processus avec des spécifications.

Enfin, à côté de ces systèmes à événements discrets temporels, d'autres processus présentent une nature continue importante comme les raffineries, les systèmes de production énergétique ou les processus agro-alimentaires. Moyennant une linéarisation et une discrétisation, une équation linéaire discrétisée exprimant l'état en fonction des états passés peut être établie.

Synthétisant ces trois types de modèles (les systèmes continus ci-dessus et ceux définis dans [1] et [2]), l'objectif de cette **seconde étape** est d'unir ces processus de natures différentes, discrète et continue avec pour résultat un modèle hybride. Le processus continu évoluant dans le temps sera générateur d'événements (par exemple, dépassement de la température autorisée) entrant dans la partie discrète. Si celle-ci décrit un système de commande, cette partie sera en retour génératrice d'événements qui commanderont le processus continu (par exemple, décision d'ouverture d'une évacuation de fluide bouillant). Un premier support à cette étude pourra être un processus de panification industrielle, dont la partie discrète a déjà été modélisée au laboratoire en s'appuyant sur des travaux en agro-alimentaire [3].

L'objectif sera alors de construire un nouveau système d'inéquations mathématiquement cohérent exprimant les systèmes hybrides modélisant des processus continus et discrets. L'état devra exprimer le marquage et le vecteur de comptes de la partie systèmes à événements discrets temporels, ainsi que le vecteur d'état discrétisé du processus continu. Il s'agira alors d'analyser et de classer ces différents modèles et de les commander tout en tenant compte des défaillances.

### **Références**

- [1] Samir Hamaci, Etude de graphes d'événements temporisés avec multiplieurs dans l'algèbre (min, +), Thèse de doctorat, université d'Angers, 9 décembre 2005.
- [2] Abdelhak Guezzi, Graphes d'événements temporisés et P-temporels dans l'algèbre conventionnelle, Thèse de doctorat, université d'Angers, 24 septembre 2010.
- [3] Ph. Declerck, A. Guezzi, Cécile Gros, Temps de cycle des Graphes d'Événements Temporisés et P-temporels, CIFA 08, 2008.

### **Connaissances et compétences requises :**

Ce sont notamment celles du master recherche SDS d'Angers : programmation linéaire, théorie des graphes, algèbre (max, +), réseaux de Petri temporisés et temporels, systèmes continus discrétisés,... Le candidat devra avoir une expérience générale en automatique (modélisation, contrôle, estimation) et informatique (complexité).

### **Contexte nationale et internationale**

Le sujet de thèse proposée s'appuie sur l'algèbre (max, +) et ses variantes, bien développée en France (Nantes, Paris,... ) et en Europe (Hollande, République Tchèque, Royaume-Uni,...). Cette thématique est également étudiée au LISA (<http://www.istia.univ-angers.fr/LISA/>). Des outils de nature graphique comme les réseaux de Petri, correspondent au « Groupe Francophone sur les Réseaux de Petri » (voir <http://www3.ec-lille.fr/~rdp/>).