

Proposition d'un sujet de thèse

Prise de DÉcision dans les SYstèmes Connectés en environnement contraint et incertain

Université Le Havre Normandie – GREAH

Septembre 2019 - financement 100% Région Normandie

Le développement des systèmes connectés nécessite de nouvelles méthodes, plus efficaces, pour le traitement de l'information dans les domaines de la production, des services, et de la logistique. Popularisés au travers de l'industrie 4.0 ou de l'internet des objets, les systèmes connectés sont en premier lieu caractérisés par des échanges d'information très nombreux entre les constituants de ces systèmes. Analyser les flux de données, filtrer les informations utiles, maintenir les performances du système si l'un des constituants est défaillant, sont autant d'enjeux qui justifient l'effort de recherche actuellement consacré aux systèmes connectés.

La problématique de cette thèse concerne l'optimisation et la réactivité des systèmes de prise de décision utilisés avec les systèmes connectés lorsque ceux-ci sont installés dans un environnement contraint (par exemple, lorsque le temps alloué aux opérations que le système doit réaliser est limité) et peu fiable (par exemple, lorsqu'il subit des défaillances). Cette thèse se propose donc d'étudier des formalismes et des méthodes de prise de décision robuste adaptés à ces environnements. Des applications multiples sont concernées comme l'ordonnancement des opérations dans les ateliers flexibles de l'industrie manufacturière, l'organisation du transport dans la distribution de biens mais aussi le séquençage des tâches dans les services numériques.

Le principal verrou scientifique consiste à appréhender les contraintes temporelles et les risques dans un formalisme qui permettrait une prise de décision optimale. A cette fin, le projet propose d'explorer le potentiel de la théorie des graphes et de l'enrichir pour répondre aux objectifs de l'étude. Les graphes orientés sont déjà largement utilisés pour exprimer des contraintes de précédence devant être respectées (par exemple, les opérations successives d'une gamme opératoire, ou les différentes étapes dans le transport et la distribution d'un bien) (Bondy & Murty, 2008 ; Bornholdt & H.G. Schuster, 2003). Plusieurs contributions récentes ont montré comment adapter ces graphes pour prendre en compte des contraintes temporelles comme des dates de fin au plus tard, des dates de début au plus tôt ou encore des contraintes complexes qui limitent la durée de validité des opérations à réaliser par un système complexe (Berthomieu & Vernadat, 2003 ; Lime & Roux, 2006). Ces travaux ne sont malheureusement pas applicables dans de nombreux cas pratiques à cause de l'explosion combinatoire de la taille des graphes : même pour des problèmes de petite dimension, le nombre d'états du graphe « temporel » augmente très rapidement lorsque les contraintes temporelles sont prises en compte.

L'équipe CSFS du GREAH étudie ces problèmes depuis plusieurs années et a proposé diverses solutions pour palier la difficulté. Une première approche a été développée en « fluidifiant » le problème afin de le traduire dans un espace mathématique continu plutôt que discret. Cette étude menée avec la thèse de M. Taleb (2012-2016) a permis de développer des commandes pour certaines classes de systèmes avec des constantes de temps homogènes (Taleb et al. 2018). Mais la fluidification conduit à une représentation grossière et peu fidèle du problème dès lors que les constantes de temps ont des ordres de grandeurs différents. Plus récemment, avec la thèse de R. Ammour (2015-2017), nous avons introduit des méthodes qui explorent directement l'espace discret (Ammour et al., 2018), puis envisagé de limiter la taille du graphe temporel par fusion des états qui ne diffèrent que par leurs contraintes temporelles et pour lesquels ces différences restent en-deçà d'un seuil qui peut être ajusté (Lefebvre & Daoui 2018). Nous avons notamment montré que cette méthode permet de construire des graphes temporels approchés qui offrent un bon compromis entre précision et complexité.

En parallèle à ces travaux sur la maîtrise de la taille des graphes « temporels » l'équipe CSFS étudie aussi les méthodes de recherche dans les graphes afin de proposer des algorithmes rapides de prise de décision optimale ou quasi-optimale. Les méthodes d'exploration globale (Dijkstra, modèles décisionnaires de Markov) pour les graphes de taille raisonnable (Daoui & Lefebvre, 2017) et des méthodes d'exploration locale (A^* , recherche en faisceaux, commande prédictive discrète) pour les graphes de grande taille (Mejia & Nino, 2017) sont maîtrisées par l'équipe qui collabore sur ces thèmes avec plusieurs spécialistes de rang international (par exemple le prof. F. Basile en Italie et le prof. G. Mejia en Bolivie) (Lefebvre & Mejia, 2018 ; Lefebvre & Basile, 2018) et développe aussi des travaux en propre (Lefebvre & Leclercq, 2015 ; Lefebvre 2016, 2018).

En conclusion, l'équipe dispose d'une technique innovante de modélisation par graphes temporels approchés pour les systèmes à événements discrets incluant des contraintes temporelles et maîtrise des outils variés pour calculer la meilleure décision dans chaque état de ces graphes. L'étape suivante que nous souhaitons confier à un(e) doctorant(e) concernera l'insertion de la notion de risque dans le graphe temporel. L'enjeu est important car les systèmes connectés sont exposés à des aléas de fonctionnement qui concernent à la fois le risque de dysfonctionnement des constituants du système et l'agression du système par son environnement. Nous pensons que des « graphes temporels approchés incertains » permettraient de modéliser des problèmes variés qui apparaissent dès lors que ces risques sont pris en considération. Il s'agira donc de concevoir de tels graphes dans lesquels le risque est corrélé au temps. Pour cela le risque pourrait être représenté par son impact temporel (afin de coder des grandeurs homogènes et d'utiliser les outils d'exploration sus-cités) mais d'autres pistes seront aussi étudiées.

Plusieurs étapes sont prévues dans le déroulement de la thèse proposée.

- 1) octobre 2019 – mars 2020 : état de l'art (1), modélisation et graphes temporels
 - théorie des graphes, et graphes temporels : Bondy & Murty, 2008 ; Bornholdt & H.G. Schuster, 2003 ; Berthomieu & Diaz, 1991 ; Berthomieu & Vernadat 2003 ; Gardney et al., 2003 ; Klai et al., 2013 ; Lime & Roux, 2006 ;
 - graphes temporels approchés : Daoui & Lefebvre 2017 ;
 - modélisation du risque dans les problèmes de production et de logistique : Ammour et al. 2018 ; Basile et al., 2015 ;
- 2) Avril 2020 – avril 2021 : insertion du risque dans les graphes temporels approchés et conception de graphes temporels approchés incertains.
- 3) Avril 2021 – septembre 2021 : état de l'art (2), prise de décision
 - Méthodes d'optimisation globale : Baker & Trietsch; 2009; Beccuti et al. 2007, 2011 ; Cormen, 2001 ; Daoui et al., 2010 ; Dijkstra, 1971 ; Eboli & Gozman 2010 ; Lefebvre & Daoui, 2018 ; Leung, 2004 ; Lopez & Roubellat 2006 ; Puterman, 1994 ;
 - Méthodes d'optimisation locale : Lefebvre & Mejia, 2018 ; Mejia & Nino, 2017 ;
 - Approche prédictives : Lefebvre & Leclercq, 2015 ; Lefebvre 2016, 2018 ; Lefebvre & Basile, 2018 ;
- 4) Septembre 2021 – mars 2022 : Application à la prise de décision robuste en présence de risque. Validation sur un cas d'étude. Nous envisageons pour cela d'étudier un problème de logistique en région.
- 5) Avril 2022 – septembre 2022 : rédaction du mémoire.

L'encadrement de la thèse sera assuré par D. Lefebvre (GREAH) et E. Leclercq (GREAH). Une collaboration scientifique avec le LITIS et la fédération SFlog sera poursuivie sur la problématique de la prise de décision robuste.

Références

- Ammour R., Leclercq E., Sanlaville E., Lefebvre D., Datation of faults for Markovian Stochastic Discrete Event Systems, *IEEE Trans. On Auto. Cont.*, **early access**, DOI: 10.1109/TAC.2018.2872490, 2018.
- K.R. Baker, D. Trietsch, *Principles of Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, 2009.
- F. Basile, M.P. Cabasino, C. Seatzu, State Estimation and Fault Diagnosis of Labeled Time Petri Net Systems With Unobservable Transitions, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 60(4) : 997-1009, 2015.
- M. Beccuti, G. Franceschinis, S. Haddad, A Framework to Design and Solve Markov Decision Petri Nets. *International Journal of Performability Engineering*, Vol.7, No. 5, pp. 417-42, 2011.
- M. Beccuti, G. Franceschinis, S. Haddad, Markov decision Petri net and Markov decision well-formed net formalisms. LNCS 4546, 43–62, 2007,
- R. E. Bellman. *Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1957.
- B. Berthomieu and F. Vernadat. State Class Constructions for Branching Analysis of Time Petri Nets. In *TACAS 2003, volume 2619 of LNCS*, pages 442–457. Springer, 2003.
- B. Berthomieu and M. Diaz. Modeling and verification of time dependent systems using time Petri nets. *IEEE Trans. On Software Eng.*, 17(3): 259-273, 1991.
- Bondy, J.A.; Murty, U.S.R. (2008), *Graph Theory*, Springer.
- S. Bornholdt and H.G. Schuster (2003), *Handbook of Graphs and Networks*, Wiley VCH.
- T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein, *Introduction to Algorithms*, MIT Press and McGraw-Hill, 2001.
- C. Daoui, D. Lefebvre, Control design for untimed Petri nets using Markov Decision Processes, *Journal Operations Research and Decisions*, 27(4): 28-43, 2017.
- C. Daoui, M. Abbad M. Tkiouat, Exact Decomposition Approaches for Markov Decision Processes: A Survey. *Advances in Operations Research*, vol. 2010, pp. 1-19, 2010.
- E.W. Dijkstra, *A short introduction to the art of programming*, 1971.
- M.G. Eboli, F.G. Cozman, Markov Decision Processes from Colored Petri Nets, SBIA 2010. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 6404. Springer, 2010.
- G. Gardey, O. H. Roux, and O. F. Roux. Using Zone Graph Method for Computing the State Space of a Time Petri Net. In *FORMATS 2003, volume 2791 of LNCS*, pages 246–259. Springer, 2003.
- K. Klai, N. Aber, L. Petrucci, A New Approach To Abstract Reachability State Space of Time Petri Nets, 20th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning, 2013.
- D. Lefebvre and E. Leclercq, Control design for trajectory tracking with untimed Petri nets, *IEEE Trans. Aut. Contr.*, vol. 60(7), pp. 1921-1926, July 2015.
- D. Lefebvre, Approaching minimal time control sequences for timed Petri nets, *IEEE Trans. Automation Science and Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 1215-1221, 2016.
- Lefebvre D., Near-optimal scheduling for Petri net models with forbidden markings, *IEEE Trans. On Auto. Cont.*, 63(8): 2550-2557, 2018.
- D. Lefebvre, Algorithms of reduced complexity to design control sequences for untimed Petri nets in varying and uncertain environments, *Journal of Systems and Control Engineering*, Vol. 232, issue 6, pp: 638-651, 2018.
- Lefebvre D., Daoui C., Control design for bounded Partially Controlled TPNs using Timed Extended Reachability Graphs and MDP, *IEEE Trans. Man, Cybernetics and Systems*, **early access**, DOI: 10.1109/TSMC.2018.2817492, 2018.
- Lefebvre D., Mejia G., Robust scheduling in uncertain environment with Petri nets and beam search, IEEE INCOM 2018, Bergamo, Italy, 2018.
- Lefebvre D., Basile F., Design of control sequences for timed Petri nets based on tree encoding, IFAC WODES 18, Sorrento Coast, Italy, 2018.
- G. Mejia, K. Nino, A new Hybrid Filtered Beam Search algorithm for deadlock-free scheduling of flexible manufacturing systems using Petri Nets, *Computers & Industrial Engineering*, 108, pp. 165–176, 2017.
- Y-T. Leung, *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*, Chapman & Hall/CRC Computer & Information Science Series, 2004.
- D. Lime and O. H. Roux. Model Checking of Time Petri Nets Using the State Class Timed Automaton. *Discrete Event Dynamic Systems*, 16(2):179–205, 2006.
- P. Lopez, F. Roubellat, *Production Scheduling*, ISTE/Wiley, London, April 2008.
- M. Puterman, *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1994.
- Taleb M., Leclercq E., Lefebvre D., Control Design of Timed Continuous Petri Nets via Model Predictive Constant Control, *International Journal of Control*, 91(8): 1962-1978, 2018.

Candidature (cv + lettre de motivation + résultats M1 et M2) à envoyer à dimitri.lefebvre@univ-lehavre.fr et edouard.leclercq@univ-lehavre.fr avant le 30 avril 2019.