

Processus de Décision Markoviens Multi-agents pour l'optimisation de plans de maintenance

Arnaud Canu¹, Alexis De Clercq¹, Irvin Keraudren¹, Gauthier Legras¹

¹ Eulidia, 75001 Paris, France

{acanu, adeclercq, glegras, ikeraudren}@eulidia.com

Mots-clés : *Optimisation, Processus de Décision Markoviens, Maintenance prédictive.*

Introduction

Le monde industriel traverse actuellement sa 4^{ème} révolution, s'appuyant sur l'IOT et l'IA pour optimiser l'ensemble des processus. La maintenance des chaînes de production bénéficie tout particulièrement de cette révolution, grâce aux méthodes de maintenance prédictive et prescriptive.

Une opération de maintenance consiste à arrêter une machine, tester son état et changer au besoin certains composants. Un plan de maintenance traditionnel implique des opérations de maintenance exécutées à intervalles réguliers, éventuellement complétées de réparations en cas de panne. Cette approche implique toutefois des interventions très régulières, et donc des frais importants, les maintenances étant régulièrement appliquées trop tôt ou trop tard.

L'arrivée de l'IOT dans les usines permet de suivre en temps réel des mesures issues des chaînes de production, et de prédire à partir de ces mesures le risque de panne. Ces approches nécessitent toutefois que l'humain analyse le niveau de risque prédit et détermine l'instant optimal auquel déclencher la maintenance. Il est possible d'étendre ces approches via des méthodes d'optimisation, en intégrant le coût d'une maintenance, d'une panne, etc. et de déterminer à tout instant l'action d'espérance maximale, entre mener une opération de maintenance ou laisser la chaîne fonctionner.

La plupart des méthodes existantes [1] proposent d'optimiser le plan de maintenance d'une machine en particulier. Pourtant, en situation réelle, l'arrêt d'une machine signifie généralement l'immobilisation de toute un segment de la chaîne de production. Dans ces conditions, serait-il possible d'optimiser le plan de maintenance global de la chaîne ? Nous proposons ici une approche de ce type, et étudions son impact sur les coûts et la qualité de fonctionnement d'une usine de production.

Application des MMDP à l'optimisation de plans de maintenance

1 Modélisation d'une machine via les MDP

Le formalisme des Processus de Décision Markoviens [2], ou MDP, est classiquement utilisé pour la modélisation de systèmes à états finis, sur lesquels la probabilité de transition entre états ne dépend que de l'état actuel (modèle sans mémoire). On représente un MDP via un tuple $\langle S, A, T, R \rangle$ décrivant : les ensembles S d'états possibles du système et A d'actions applicables, la probabilité de transition T entre états lorsqu'une action est exécutée, et les récompenses R (ou coûts) associées.

L'usage classique d'un MDP consiste à modéliser un problème de décision, puis à calculer une politique optimale π donnant pour tout état l'action maximisant l'espérance de gain à long terme.

On peut représenter l'évolution d'une machine via un MDP, en considérant S comme l'ensemble des états de dégradation possibles de la machine : fonctionnement optimal, fonctionnement légèrement dégradé, ..., panne de la machine. La probabilité de transition d'un état à l'autre peut être estimée à partir de l'historique des mesures effectuées sur cette machine, et les actions seront simplement le choix de faire une maintenance ou non.

La fonction de récompense, basée sur une expertise métier, représente le gain d'une étape de fonctionnement (ce gain pouvant généralement décroître lorsque l'état de la machine se dégrade), auquel se soustrait un coût de maintenance ou de panne les cas échéants.

2 Modélisation de la chaîne de production via les MMDP

L'optimisation de ce MDP permet d'estimer l'instant optimal pour mener une opération de maintenance sur une machine donnée. Cette approche ignore toutefois un aspect important du sujet : la maintenance d'une machine M risque d'immobiliser d'autres machines, dépendantes de M . Il peut alors être intéressant d'effectuer également une maintenance sur ces machines, si le coût d'immobilisation est supérieur à la perte engendrée par une maintenance précoce.

On étend pour cela le modèle précédent, via le formalisme des MDP Multi-agents [3], ou MMDP. Un état du système devient alors un tuple $s = (s_1, s_2, \dots)$ avec s_i l'état de la machine i . De même, une action sera un tuple $a = (a_1, a_2, \dots)$, et la probabilité de transition peut être obtenue par combinaison des probabilités individuelles.

Le gain de ce modèle repose dans la fonction de récompense, puisque le coût d'immobilisation de la chaîne sera le même que l'on mène une maintenance sur 1 ou n machines en même temps. De même, la récompense associée au fonctionnement d'une machine dans un état plus ou moins dégradé pourra dépendre de l'état de l'ensemble des machines de la chaîne.

Conclusion et perspectives

Le modèle proposé étend l'usage classique des MDP dans l'optimisation des plans de maintenance, relativement aux solutions habituellement décrites dans la littérature. La représentation de l'état global de la chaîne de production et des récompenses associées permet en effet une optimisation plus fine des gains et récompense, et le calcul d'une politique globale optimale. Cette approche permet des gains conséquents grâce à la mutualisation des interventions : nous travaillons maintenant à sa mise en œuvre dans les usines de nos partenaires industriels, et les premiers résultats semblent confirmer notre intuition. Nous envisageons désormais l'étude d'un modèle partiellement observable et ses impacts sur la qualité des résultats et la complexité de résolution.

Références

- [1] Chan, G. K., & Asgarpoor, S. (2006). Optimum maintenance policy with Markov processes. *Electric power systems research*, 76(6-7), 452-456.
- [2] Bellman, R. E. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton, NY.
- [3] Boutilier, C. (1996, March). Planning, learning and coordination in multiagent decision processes. In *Proceedings of the 6th conference on Theoretical aspects of rationality and knowledge* (pp. 195-210). Morgan Kaufmann Publishers Inc.