

Simulation d'événements rares par échantillonnage préférentiel pour des processus de Markov déterministes par morceaux - Contribution orale

Guillaume Chennetier, JOSSELIN GARNIER, ANNE DUTFOY, HASSANE CHRAIBI
CMAP Ecole Polytechnique, EDF R&D Paris Saclay

Email : guillaume.chennetier@polytechnique.edu

Mots Clés : Simulation d'événements rares, Processus de Markov déterministes par morceaux, Échantillonnage préférentiel, Cross-Entropy.

Biographie – Diplômé en 2020 du Master 2 Statistique de Sorbonne Université, j'ai réalisé mon stage de fin d'études à EDF R&D en études probabilistes de sûreté et y poursuis actuellement une thèse CIFRE en collaboration avec le CMAP à l'Ecole Polytechnique. L'enjeu de ma thèse est de parvenir à estimer la probabilité de défaillance de systèmes industriels de grande dimension modélisés par des processus de Markov déterministes par morceaux.

Résumé : Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une thèse et concerne la sûreté des centrales hydrauliques et nucléaires construites et gérées par EDF (Électricité de France).

Évaluer la fiabilité de systèmes industriels complexes présente deux obstacles mathématiques majeurs. Il faut d'une part modéliser et simuler les trajectoires possibles de tels systèmes, et d'autre part estimer la probabilité de leur défaillance qui est un événement rare.

Ces défaillances ont lieu lorsqu'une ou plusieurs variables physiques dépassent un seuil critique (température, pression, etc.) qui ne peut être atteint qu'après la détérioration de certains groupes de composants. Les variables physiques du système évoluent selon des équations différentielles déterministes tandis que l'état des composants est modifié à la suite d'événements aléatoires discrets (pannes, réparations, mécanismes de contrôle, etc.). Le formalisme mathématique des processus de Markov déterministes par morceaux (PDMP) offre une représentation fidèle et flexible de ces systèmes dynamiques hybrides. Leur simulation, technique et coûteuse pour des systèmes complexes, est réalisée à l'aide de l'outil de calcul PyCATSHOO [1].

Concernant l'évaluation de la fiabilité, il est bien connu qu'une approche Monte-Carlo classique (CMC) est inefficace pour estimer des probabilités faibles (inférieures à 10^{-6}) car elle réclame un grand nombre de simulations. Des travaux récents [2] ont proposé un cadre rigoureux d'implémentation d'une méthode d'échantillonnage préférentiel pour des PDMP modélisant des systèmes simples.

Cet exposé a pour but de présenter une mise en oeuvre efficace d'une méthode d'échantillonnage préférentiel adaptative par Cross-Entropy pour des PDMP modélisant des systèmes industriels de grande dimension. Sa paramétrisation doit être finement calibrée pour ne pas conduire à l'explosion de la variance de l'estimateur et nécessite de connaître, a priori ou au cours de la procédure d'estimation, les mécanismes entraînant la défaillance du système et la contribution respective de chacun sur la probabilité de défaillance. Notre méthode s'adapte à une grande variété de systèmes et réduit considérablement le nombre de simulations nécessaires par rapport à une méthode Monte-Carlo classique.

Références

- [1] H. Chraïbi, J.-C. Houdebine, and A. Sibler. PyCATSHOO: Toward a new platform dedicated to dynamic reliability assessments of hybrid systems. (2016).
- [2] H. Chraïbi, A. Dutfoy, T. Galtier, and J. Garnier. On the optimal importance process for piecewise deterministic Markov process. *ESAIM: PS.* 23:893–921 (2019).