

Stratégies séquentielles basées sur le krigeage pour l'identification d'un ensemble d'excursion

Clément Chevalier (Université de Berne, IRSN)

Supervisé par David Ginsbourger (Université de Berne) et Yann Richet (IRSN)

Mars-2012

Contexte de la thèse

Cette thèse se déroule à l'Université de Berne et est encadrée par David Ginsbourger (Maître-assistant à l'Université de Berne) et Yann Richet (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire - IRSN). La thèse a commencé en Novembre 2010 et fait partie des thèses cofinancées par le consortium **ReDICE** qui vise à poursuivre les travaux initiés lors du consortium DICE (Deep Inside Computer Experiments, <http://dice.emse.fr>).

Enjeu industriel

Les études de sûreté nucléaire du Service d'Études de Criticité (SEC) de l'IRSN visent à déterminer si un système contenant de la matière fissile (Uranium, Plutonium) présente ou non un risque de criticité. En pratique, les ingénieurs disposent d'un code de calcul assez coûteux (de 5 à 30 minutes par évaluation) qui renvoie une grandeur scalaire: le coefficient de multiplication neutronique, k_{eff} . Un k_{eff} supérieur à 1 signifie qu'un neutron qui heurte un atome de matière fissile va libérer en moyenne plusieurs nouveaux neutrons, ce qui provoque une réaction en chaîne divergente. Lorsque k_{eff} est inférieur à 1 le système reste sûr.

Le k_{eff} d'un système dépend de plusieurs paramètres, contrôlés ou non (température, géométrie du système, quantité de matière fissile, etc.), et le rôle de l'ingénieur du SEC est de s'assurer qu'aucune configuration plausible des paramètres ne va mener à un k_{eff} supérieur à un seuil de 0.95 (correspondant au seuil critique de 1 corrigé d'une marge de sécurité). Mathématiquement on est donc amené à résoudre plusieurs problèmes:

- Rechercher les paramètres (inputs) qui donnent le k_{eff} le plus élevé: problème d'optimisation
- Rechercher l'ensemble des inputs possibles qui donnent un k_{eff} supérieur (ou inférieur) à 0.95: problème d'inversion (recherche d'un ensemble de défaillance, ou "d'excursion")
- Rechercher l'ensemble des inputs contrôlés (ex: quantité de matière fissile) qui donnent un k_{eff} inférieur à 0.95 quelle que soit la valeur prise par les inputs non contrôlés (ex: température, tolérances géométriques): problème d'optimisation - inversion

Dans cette thèse nous nous focalisons sur le second et le troisième problème. Nous choisissons de recourir à un métamodèle: le krigeage. À partir d'un plan d'expérience initial nous construisons une surface de réponse estimée du simulateur (la moyenne de krigeage) ainsi qu'une mesure d'incertitude (la variance de krigeage).

Description de la communication

Les quantités produites à l’aide du krigeage nous servent de base pour construire une stratégie **séquentielle** d’évaluation de notre simulateur. Cette approche est semblable à celle de [6] qui utilise un critère d’Expected Improvement dans le célèbre algorithme d’optimisation EGO. Pour des problèmes de recherche de l’ensemble de défaillance, plusieurs critères ont déjà été proposés [2] [8] [9] [1]. En particulier [1] montre que les critères basés sur des stratégies de “Stepwise Uncertainty Reduction” (SUR) donnent de meilleures performances que les critères ponctuels tels que [2], [9]. Toutefois les critères basés sur ces stratégies ont l’inconvénient d’être eux-mêmes coûteux à évaluer et à optimiser.

Nous présentons ici plusieurs méthodes pour réduire significativement les temps de calculs associés. Une première amélioration est fournie par des formules de mise à jour des moyennes et variances de krigeage [4] [7]. Une seconde avancée est obtenue via une expression analytique de certains critères SUR, à l’aide d’une astuce de calcul détaillée dans [3]. Ce “calculation trick” permet aussi de calculer très simplement un critère **parallèle** de type SUR, utile lorsque plusieurs processeurs sont disponibles pour évaluer simultanément le simulateur. L’évaluation de certains critères parallèles d’inversion est ainsi plus aisée que celle du critère d’Expected Improvement multipoints en optimisation [5]. Nous illustrons nos résultats sur des cas simples en sûreté nucléaire. Quelques critères traitant du problème d’optimisation inversion sont aussi évoqués.

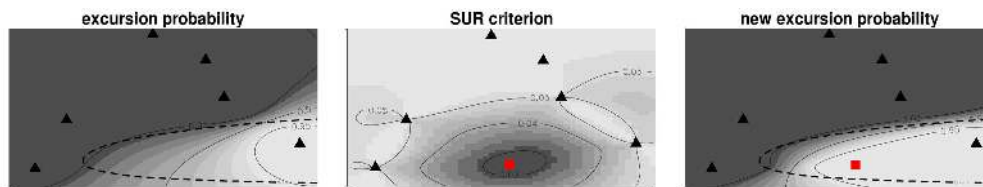


Figure 1: Sequential sampling of a simulator relying on a SUR criterion

References

- [1] Julien Bect, David Ginsbourger, Ling Li, Victor Picheny, and Emmanuel Vazquez. Sequential design of computer experiments for the estimation of a probability of failure. *Statistics and Computing*, pages 1–21, 2011. DOI: 10.1007/s11222-011-9241-4.
- [2] B. J. Bichon, M. S. Eldred, L. P. Swiler, S. Mahadevan, and J. M. McFarland. Efficient global reliability analysis for nonlinear implicit performance functions. *AIAA Journal*, 46(10):2459–2468, 2008.
- [3] C. Chevalier, J. Bect, D. Ginsbourger, E. Vazquez, V. Picheny, and Y. Richet. Fast kriging-based stepwise uncertainty reduction with application to the identification of an excursion set — submitted to statistics and computing, available on hal. 2011.
- [4] X. Emery. The kriging update equations and their application to the selection of neighboring data. *Computational Geosciences*, 13(1):211–219, 2009.
- [5] D. Ginsbourger, R. Le Riche, and Carraro L. Kriging is well-suited to parallelize optimization. In *Computational Intelligence in Expensive Optimization Problems*, volume 2 of *Adaptation Learning and Optimization*, pages 131–162. Springer, 2010.
- [6] D. R. Jones, M. Schonlau, and J. William. Efficient global optimization of expensive black-box functions. *Journal of Global Optimization*, 13(4):455–492, 1998.
- [7] A Marrel. *Mise en oeuvre et utilisation du métamodèle processus gaussien pour l’analyse de sensibilité de modèles numériques*. PhD thesis, INSA Toulouse, 2008.
- [8] V. Picheny, D. Ginsbourger, O. Roustant, R. T. Haftka, and N.-H. Kim. Adaptive designs of experiments for accurate approximation of target regions. *Journal of Mechanical Design*, 132(7), 2010.
- [9] P. Ranjan, D. Bingham, and G. Michailidis. Sequential experiment design for contour estimation from complex computer codes. *Technometrics*, 50(4):527–541, 2008.