



Post-doctorat CEA « Statistiques computationnelles pour l'analyse post-vol en rentrée atmosphérique »

Lien : <https://instn.cea.fr/post-doctorat/statistiques-computationnelles-pour-lanalyse-post-vol-en-rentree-atmosphérique/>

Encadrants : Pierre Minvielle (CESTA, DAM, CEA) et Audrey Giremus (Université de Bordeaux, Laboratoire IMS CNRS UMR 5218)

Contact : pierre.minvielle@cea.fr

Sujet : Dans un contexte de véhicule instrumenté (navette spatiale, capsule ou sonde) qui rentre dans l'atmosphère, l'analyse post-vol a pour but de reconstruire, à partir de mesures (centrale inertielle, radar, ballon météorologique, etc.), la trajectoire et diverses quantités d'intérêt, afin de mieux comprendre les phénomènes physiques et de valider les modèles prédictifs. Ainsi, la NASA (Langley Research Center) s'est doté dès 1969 du code STEP [1,2] (Statistical Trajectory Estimation Program) et ultérieurement du code NewSTEP [3,4]. Ils sont couramment employés en rentrée terrestre et extra-planétaire. Pour ses besoins en analyse post-vol des essais en vol, le CEA-CESTA a développé ces dernières années une approche originale de reconstruction par statistiques bayésiennes computationnelles de la trajectoire et du profil atmosphérique. L'inférence y est conduite au moyen d'une méthode numérique d'intégration multi-dimensionnelle, consistant à échantillonner la distribution a posteriori par une technique de chaînes de Markov Monte Carlo (MCMC) [5]. Basée sur l'échantillonneur Marginal Metropolis Hastings (MMH), l'approche repose sur une stratégie de réduction de la variance par Rao-Blackwellisation [6], avec exploitation intensive de filtres de Kalman étendus (EKF). Un mélange de noyaux de proposition est intégré, incluant l'algorithme MALA (Metropolis-Adjusted LAngevin) [7], afin d'améliorer l'exploration et le rendement de la chaîne de Markov. Néanmoins, lorsque la dimension de l'espace de reconstruction est trop grande, des difficultés demeurent.

Le post-doctorant aura pour mission de développer et d'étendre l'approche proposée. En premier lieu, il travaillera sur la méthode numérique d'échantillonnage en dimension élevée. Il s'efforcera d'augmenter les capacités de mélange et d'exploration de l'espace. Dans ce but, le post-doctorant s'efforcera de développer et adapter de nouvelles approches telles que : Manifold MALA [8], Hamiltonian Monte Carlo (HMC) [8], No-U-Turn Sampler (NUTS) [9], etc. Les aspects informatiques, incluant l'éventuelle mise en œuvre de chaînes en parallèle [10], seront pris en compte. L'objectif final sera d'aboutir à un prototype évolutif qui, dédié à l'analyse post-vol des essais en vol, exploite les différentes sources d'information et les incertitudes associées. Les évaluations porteront sur des données

simulées et réelles, avec comparaison à des outils existants. On s'efforcera de valoriser le travail par des communications et publications scientifiques.

Références

- [1] Serold, A. C., and W. E. Wagner. "Statistical Trajectory Estimation Programs. Volume 2-Utilization report." (1969).
- [2] Serold, A. C., and W. E. Wagner. "Formulation on statistical trajectory estimation programs." (1970).
- [3] Karlgaard, C. D., Tartabini, P. V., Blanchard, R. C., Kirsch, M., and Toniolo, M. D., "Hyper-X Post-Flight Trajectory Reconstruction," *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 43, No. 1, 2006, pp. 105–115.
- [4] Karlgaard, Christopher D., et al. "Mars InSight entry, descent, and landing trajectory and atmosphere reconstruction." *Journal of Spacecraft and Rockets* 58.3 (2021): 865-878.
- [5] Robert, Christian, and George Casella. *Monte Carlo statistical methods*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [6] Casella, George, and Christian P. Robert. "Rao-Blackwellisation of sampling schemes." *Biometrika* 83.1 (1996): 81-94.
- [7] Xifara, Tatiana, et al. "Langevin diffusions and the Metropolis-adjusted Langevin algorithm." *Statistics & Probability Letters* 91 (2014): 14-19.
- [8] Girolami, Mark, and Ben Calderhead. "Riemann manifold langevin and hamiltonian monte carlo methods." *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 73.2 (2011): 123-214.
- [9] Hoffman, Matthew D., and Andrew Gelman. "The No-U-Turn sampler: adaptively setting path lengths in Hamiltonian Monte Carlo." *J. Mach. Learn. Res.* 15.1 (2014): 1593-1623.
- [10] Nishihara, Robert, Iain Murray, and Ryan P. Adams. "Parallel MCMC with generalized elliptical slice sampling." *The Journal of Machine Learning Research* 15.1 (2014): 2087-2112.