



«State estimation and Trajectory planning using Box Particle Kernels»

Soutenance de thèse – Nicolas MERLINGE
29 octobre 2018
Palaiseau

Devant le jury composé de :

Mme Lyudmila Mihaylova	Rapporteur	Professeur	Université de Sheffield
M. Philippe Bonnifait	Rapporteur	Professeur	Université de Technologie de Compiègne
Mme Cristina Stoica-Maniu	Examineur	Professeur adjoint	CentraleSupélec
M. François le Gland	Examineur	Directeur de recherche	INRIA Rennes
M. Luc Jaulin	Examineur	Professeur	ENSTA Bretagne
Mme Hélène Piet-Lahanier	Directeur de thèse	Ingénieur de recherche	ONERA
M. James Brusey	Directeur de thèse	Reader	Université de Coventry (UK)
M. Karim Dahia	Encadrant	Ingénieur de recherche	ONERA
M. Nadjim Horri	Encadrant	Senior Lecturer	Université de Coventry (UK)
M. Benoit Frapard	Invité	Docteur Ingénieur R&T	Airbus Defence and Space

Résumé :

L'autonomie d'un engin aérospatial requiert de disposer d'une boucle de navigation-guidage-pilotage efficace et sûre. Cette boucle intègre des filtres estimateurs et des lois de commande qui doivent dans certains cas s'accommoder de non-linéarités sévères et être capables d'exploiter des mesures ambiguës. De nombreuses approches ont été développées à cet effet et parmi celles-ci, les approches particulières présentent l'avantage de pouvoir traiter de façon unifiée des problèmes dans lesquels les incertitudes d'évolution du système et d'observation peuvent être soumises à des lois statistiques quelconques. Cependant, ces approches ne sont pas exemptes de défauts dont le plus important est celui du coût de calcul élevé. D'autre part, dans certains cas, ces méthodes ne permettent pas non plus de converger vers une solution acceptable. Des adaptations récentes de ces approches, combinant les avantages du particulier tel que la possibilité d'extraire la recherche d'une solution d'un domaine local de description et la robustesse des approches ensemblistes, ont été à l'origine du travail présenté dans cette thèse.

Cette thèse présente le développement d'un algorithme d'estimation d'état, nommé le Box Regularised Particle Filter (BRPF), ainsi qu'un algorithme de commande, le Box Particle Control (BPC). Ces algorithmes se basent tous deux sur l'utilisation de mixtures de noyaux bornés par des boîtes (i.e. des vecteurs d'intervalles) pour décrire l'état du système sous la forme d'une densité de probabilité multimodale. Cette modélisation permet un meilleur recouvrement de l'espace d'état et apporte une meilleure cohérence entre la densité prédite et la vraisemblance. L'hypothèse est faite que les incertitudes incriminées sont bornées. L'exemple d'application choisi est la navigation par corrélation de terrain qui constitue une application exigeante en termes d'estimation d'état.

Pour traiter des problèmes d'estimation ambiguës, c'est-à-dire lorsqu'une valeur de mesure peut correspondre à plusieurs valeurs possibles de l'état, le Box Regularised Particle Filter (BRPF) est introduit. Le BRPF est une évolution de l'algorithme de Box Particle Filter (BPF) et est doté d'une étape de ré-échantillonnage garantie et d'une stratégie de lissage par noyau (Kernel Regularisation). Le BRPF assure théoriquement une meilleure estimation que le BPF en termes de Mean Integrated Square Error (MISE). La précision d'estimation du BRPF est empiriquement évaluée sur plusieurs cas de navigation par corrélation de terrain. L'algorithme permet une réduction significative du coût de calcul par rapport aux approches précédentes pour des performances similaires. Le BRPF est également étudié dans le cadre d'une intégration dans des architectures fédérées et distribuées, ce qui démontre son efficacité dans des cas multi-capteurs et multi-agents.

Un autre aspect de la boucle de Navigation-Guidage-Pilotage est le guidage qui nécessite de planifier la future trajectoire du système. Pour tenir compte de l'incertitude sur l'état et des contraintes potentielles de façon versatile, une approche nommée Box Particle Control (BPC) est introduite. Comme pour le BRPF, le BPC se base sur des mixtures de noyaux bornés par des boîtes et consiste en la propagation de la densité d'état sur une trajectoire jusqu'à un certain horizon de prédiction. Ceci permet d'estimer la probabilité de satisfaire les contraintes d'état au cours de la trajectoire et de déterminer la séquence de futures commandes qui maintient cette probabilité au-delà d'un certain seuil, tout en minimisant un coût. Pour des performances similaires, le BPC permet de réduire significativement la charge de calcul par rapport à une approche stochastique de référence (le Particle Control).

Mots clés

Filtrage particulaire, Estimation ensembliste, Filtre Particulaire à Boîtes, Probabilité d'échec, Commande sous incertitude, Navigation.3