

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Estimation robuste non-gaussienne pour la navigation de drones en milieu contraint

Référence : **TIS-DTIS-2025-13**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : Octobre 2025

Date limite de candidature : Juin 2025

Mots clés

Estimation, groupes de Lie, erreurs non-gaussiennes, quantification optimale d'incertitudes

Profil et compétences recherchées

Université ou école d'ingénieur avec master 2 recherche

Expérimentateur désireux de participer au développement des techniques d'estimation innovantes, possédant de solides connaissances en automatique et en théorie des probabilités. Des connaissances en dynamique du vol et apprentissage machine seraient souhaitables, ainsi que la programmation en Python.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

L'ONERA contribue au développement de nouvelles fonctions pour les avions en s'appuyant sur des capteurs innovants et des solutions algorithmiques avancées. L'objectif est de rendre ces avions plus autonomes, en renforçant la robustesse et les performances des fonctions de guidage, navigation et contrôle face aux aléas, qu'il s'agisse de défaillances des capteurs ou des actionneurs.

Une approche prometteuse pour relever ce défi consiste à améliorer les performances et la robustesse des filtres d'estimation bayésienne, et par extension, des lois de commande qui exploitent les informations d'incertitude pour optimiser la navigation. Ce concept est appelé « synthèse de contrôle sous incertitude » [1,2]. Dans cet objectif, pour améliorer le filtrage et l'estimation d'incertitudes dans le cadre bayésienne l'on peut soit travailler sur la géométrie des données et des modèles, en les représentant sur des variétés particulières [3,4], soit travailler sur la représentation ou la quantification de l'incertitude directement dans le but de se passer des hypothèses gaussiennes classiques [5,6]. In fine, l'objectif de la thèse est de formuler des estimateurs d'état pour la navigation et la commande qui soient plus intègre, consistants, et robustes que l'état de l'art qui se base sur des incertitudes gaussiennes.

Dans cette thèse, nous nous concentrerons principalement sur des méthodes d'estimation dites "géométriques" qui utilisent des représentations des données et de leurs incertitudes de manière différente de l'estimation bayésienne traditionnelle. En particulier, nous nous intéresserons aux méthodes d'estimation sur des groupes de Lie [3,4]. Des travaux de thèse précédents, menés en collaboration avec l'ENAC (Ecole Nationale de l'Aviation Civile), ont permis d'explorer certaines de ces techniques, notamment via le développement d'un filtre de Kalman Unscented intégrant la quantification optimale [5]. Cette thèse prend appui dans ces travaux pour potentiellement explorer quelques pistes différentes mais associées :

- L'extension des travaux existants sur l'estimation non-gaussienne sur les groupes $SE(2)$ et $SO(3)$, vers le groupe $SEp(3)$, afin de poser les bases nécessaires pour le GNC de drones en 3D sur ces groupes.
- La quantification ou la représentation de l'incertitude non-gaussienne sur le groupe $SEp(3)$, venant soit de transformations non-linéaires [6], soit des bruits de mesure non-gaussiens [7].
- L'estimation non-gaussienne des erreurs de navigation utilisant des réseaux de neurones [8,9,10]. On s'intéresse surtout à intégrer la géométrie des groupes de Lie et leur dynamique dans la construction des réseaux afin de simplifier l'entraînement [8,11].
- L'intégration des solutions d'estimation sur les groupes de Lie aux algorithmes de guidage et de commande [2,12].

La pertinence des travaux sera ancrée tout au long du projet de thèse par l'utilisation de données de capteurs réelles (robotique terrestre, drones) ainsi qu'avec des modèles physiques des plateformes correspondantes. Le doctorant sera également encouragé à explorer la multitude des ressources (données d'essai, boîtes à outils, etc.) mises à disposition par la communauté pour enrichir ses travaux.

La thèse se déroulera en collaboration avec l'équipe drone de l'ENAC. L'équipe de l'ENAC a initié et continue à développer le contrôleur de vol Paparazzi qui permet de mettre rapidement en œuvre des expérimentations en vol.

Références

- [1] Kazuhide Okamoto and Panagiotis Tsiotras. Optimal stochastic vehicle path planning using covariance steering. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(3):2276–2281, 2019.
- [2] Venkatraman Renganathan, Joshua Pilipovsky, and Panagiotis Tsiotras. Distributionally robust covariance steering with optimal risk allocation. In *2023 American Control Conference (ACC)*, pages 2607–2614. IEEE, 2023.
- [3] Silvère Bonnabel, Philippe Martin, and Erwan Salaün. Invariant extended kalman filter: theory and application to a velocity-aided attitude estimation problem. In *Proceedings of the 48th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) held jointly with 2009 28th Chinese Control Conference*, pages 1297–1304. IEEE, 2009.
- [4] Martin Brossard, Silvère Bonnabel, and Jean-Philippe Condomines. Unscented kalman filtering on lie groups. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 2485–2491. IEEE, 2017.
- [5] Vivien Pravong, Jean-Philippe Condomines, Gustav Öman Lundin, and Stéphane Puechmorel. Unscented kalman filter using optimal quantization. In *2024 27th International Conference on Information Fusion (FUSION)*, pages 1–8. IEEE, 2024.
- [6] Timothy D Barfoot and Paul T Furgale. Associating uncertainty with three-dimensional poses for use in estimation problems. *IEEE Transactions on Robotics*, 30(3):679–693, 2014.
- [7] Dehann Fourie, Nicholas R Rypkema, Pedro Vaz Teixeira, Sam Claassens, Erin Fischell, and John Leonard. Towards real-time non-gaussian slam for underdetermined navigation. In *2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 4438–4445. IEEE, 2020.
- [8] Martin Brossard, Silvere Bonnabel, and Axel Barrau. Denoising imu gyroscopes with deep learning for open-loop attitude estimation. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(3):4796–4803, 2020.
- [9] Yuqiang Jin, Wen-An Zhang, Hu Sun, and Li Yu. Learning-aided inertial odometry with non-linear state estimator on manifold. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(9):9792–9803, 2023.
- [10] Ming Zhang, Mingming Zhang, Yiming Chen, and Mingyang Li. Imu data processing for inertial aided navigation: A recurrent neural network based approach. In *2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 3992–3998. IEEE, 2021.
- [11] George Em Karniadakis, Ioannis G Kevrekidis, Lu Lu, Paris Perdikaris, Sifan Wang, and Liu Yang. Physics-informed machine learning. *Nature Reviews Physics*, 3(6):422–440, 2021.
- [12] Mitchell R Cohen, Khairi Abdulrahim, and James Richard Forbes. Finite-horizon LQR control of quadrotors on $SE_2(3)$. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(4):5748–5755, 2020.

Collaborations envisagées

Thèse en collaboration avec l'ENAC (50/50)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Traitement de l'information et Systèmes

Lieu (centre ONERA) : Toulouse

Contact : Gustav Öman Lundin

Tél. : 05.62.25.25.98

Email : gustav.oman_lundin@onera.fr

Directeurs de thèse :

Nom : Jean-Philippe Condomines

Laboratoire : ENAC - OPTIM

Tél. :

Email : jean-philippe.condomines@enac.fr

Nom : Gustav Öman Lundin

	Laboratoire : ONERA Tél. : 05.62.25.25.98 Email : gustav.oman_lundin@onera.fr
--	---

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>