www.onera.fr

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Planification et localisation pour la navigation autonome d'un drone sans GNSS

Référence : **TIS-DTIS-2024-50**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2024	**Date limite de candidature :** 31/12/2024

Mots clés

Navigation, Commande, Planification

Profil et compétences recherchées

Etudiant grande école d'ingénieurs et universités

Automatique, Traitement du signal et des images, Mathématiques Appliquées orientées Probabilités et Statistiques

Les drones sont de plus en plus utilisés pour des missions de surveillance et de recueil d'information. Pour cela, le drone doit suivre de manière autonome une trajectoire planifiée en amont, par exemple lors de la préparation de la mission. Un enjeu important de cette phase de planification est d'assurer que le drone soit capable de suivre la trajectoire avec la précision requise pour la mission tout en satisfaisant différentes contraintes (évitement d'obstacles, temps d'exécution de la mission, …). Le long de cette trajectoire planifiée, le drone doit donc avoir accès à une quantité d'information suffisante lui permettant de se localiser. Pour se faire, la planification a accès à des informations liées au terrain survolé et le drone embarque différents capteurs ainsi qu'un calculateur de bord exécutant les algorithmes de navigation et de guidage.

La navigation assure l'estimation de l'état du drone (position, vitesse, attitude) dont le résultat est transmis à l'algorithme de guidage qui a pour rôle de suivre la trajectoire planifiée. Classiquement, l'estimation et la commande sont découplées. Cependant, de manière générale, elles doivent être gérées conjointement compte tenu de la dépendance de la qualité de la mesure au terrain survolé [8].

La localisation est basée classiquement sur une centrale inertielle qui élabore la solution de navigation par intégration numérique des mesures issues des accéléromètres et des gyromètres. Bien que la navigation inertielle soit autonome et fiable, elle produit des mesures imparfaites (biais, facteurs d'échelle, bruits, ...) qui mènent à une dérive croissante avec le temps de la solution de navigation. Cet effet est d'autant plus marqué quand les mesures proviennent de senseurs inertiels bas coût et donc de précision médiocre. Ainsi, si la navigation inertielle seule peut suffire sur de courtes durées, la mission nominale nécessite des mesures externes de recalage et la mise en œuvre d'un algorithme de fusion. Les mesures GNSS sont souvent mises à profit de par leur complémentarité avec les données inertielles mais elles ont l'énorme inconvénient d'être faciles à brouiller.

Parmi les capteurs de recalage, une caméra embarquée à bord constitue une solution intéressante. Elle permet d'une part de déterminer le mouvement du drone grâce au défilement du sol dans l'image et d'autre part de recaler la position du drone en utilisant des repères visuels géo-référencés. Ces senseurs nécessitent néanmoins suffisamment de texture dans l'image afin de pouvoir extraire l'information permettant de se localiser avec précision [1], [2], [3], [4] et [5].

Dans ce contexte, il s'agit de déterminer une commande permettant à la fois l'atteinte d'un objectif et l'estimation de l'état complet du système. De façon générale, ce problème peut se formaliser comme un problème de contrôle optimal stochastique. Cependant, le problème numérique de

programmation dynamique qui en résulte est insoluble en pratique, on a donc recours à des méthodes d'approximation. Une des approches consiste à définir un critère de performance tenant compte des incertitudes du système (perturbations, erreurs de modèle, …) et de la qualité de l'observation (matrice d'information de Fisher, …) [6] et [7]. Cette approche permet de trouver la commande qui augmente l'observabilité (évitement des zones non favorables au recalage).

Dans cette thèse, on pourra étudier des méthodes de planification pour des problèmes de commande en milieux contraints par la présence d'obstacles et par manque d'observabilité. Par exemple, la commande prédictive (MPC) transforme le problème de commande optimale en un problème d'optimisation en dimension finie [8]. Une autre méthode consiste à construire un arbre d'exploration de l'état, comme les méthodes à échantillonnage (RRT) [9] et [10]. L'idée générale de ces approches est de propager à chaque instant la loi de probabilité de l'état sachant les mesures. Ainsi, la trajectoire est évaluée aussi en termes de confiance (propagation de la matrice de covariance).

Le travail de thèse consistera à d'abord définir des métriques permettant de modéliser la favorabilité d'un terrain à un algorithme de navigation. Ensuite, il s'agira d'appliquer le cas d'usage à la réalisation d'un algorithme de planification pour un drone, exploitant l'ensemble des capteurs embarqués (centrale inertielle, caméra, magnétomètre,) et informations disponibles (carte de terrain, …). Cette réflexion pourra démarrer à partir d'algorithmes déjà existants [6] et [7].
Les algorithmes devront être conçus pour être implémentables et s'exécuter dans un temps opérationnellement raisonnable, au minimum sur un calculateur typique de station sol de drone léger et au mieux sur un calculateur embarqué. L'implémentabilité sera dans un premier temps évaluée en simulation puis si possible testée sur un calculateur intégré dans une simulation hardware-in-the-loop développée à Thales LAS et à l'ONERA/DTIS.

Le déroulé de la thèse sera le suivant :
1) Recherches bibliographiques sur les méthodes de planification, la borne de Cramér-Rao, la caractérisation de l'information contenue dans une image (indice de « favorabilité de terrain ») ;
2) Développement d'un ou plusieurs algorithmes d'estimation et de commande, et démonstration de leur fonctionnement sur des scénarios d'intérêt ;
3) Codage et validation des méthodes de planification, puis optimisation du code en vue d'une application « temps réel ».

Des articles de conférences internationales de rang A avec comité de lecture sont attendus, ainsi que des articles de journaux à fort facteur d'impact.

Références
[1] J. Engel, V. Koltun et D. Cremers, «Direct Sparse Odometry», IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 40, N0. 3, March 2018.
[2] R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel and J. D. Tardós, "ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System", in IEEE Transactions on Robotics, vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, Oct. 2015.
[3] C. Forster, M. Pizzoli and D. Scaramuzza, "SVO: Fast semi-direct monocular visual odometry", 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Hong Kong, China, 2014, pp. 15-22.
[4] Engel, J., Schöps, T., Cremers, D. (2014). LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM. In: Fleet, D., Pajdla, T., Schiele, B., Tuytelaars, T. (eds) Computer Vision – ECCV 2014. ECCV 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8690. Springer.
[5] G. Klein and D. Murray, "Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces," 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Nara, Japan, 2007, pp. 225-234
[6] E. Flayac, K. Dahia, B. Hérissé, F. Jean. – Dual particle output feedback control based on Lyapunov drifts for nonlinear systems. – 2018 IEEE Conference on Decision and Control (CDC), pp. 250–255, décembre 2018.
[7] E. Flayac, K. Dahia, B. Hérissé, F. Jean. – Nonlinear fisher particle output feedback control and its application to terrain aided navigation. – 2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC), pp. 1566–1571, décembre 2017.

[8] E. Flayac, Coupled methods of nonlinear estimation and control applicable to terrain-aided navigation, Université Paris-Saclay, PhD thesis, 2019.
[9] R. Pepy. – Vers une planification robuste et sûre pour les systèmes autonomes. PhD. Thesis, Université Paris Sud-Paris XI, 2009.
[10] R. Pepy, M. Kieffer, E. Walter. – Reliable robust path planning. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 19(3) :413–424, 2009.

Collaborations envisagées

Thales LAS

Laboratoire d'accueil à l'ONERA
Département : DTIS
Lieu (centre ONERA) : Palaiseau
Contact : DAHIA Karim
Tél. : 01 80 38 66 26 Email : karim.dahia@onera.fr

Directeur de thèse
Nom : HERISSE Bruno
Laboratoire : DTIS ONERA
Tél. : 01 80 38 66 93
Email : bruno.herisse@onera.fr

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