

Système intégré de guidage, de navigation et de contrôle pour un UAV dans un environnement sans GPS

I. Chibane, S. Fellah, J. Hong et Al

Abstract

Cet article propose un système intégré de guidage, navigation et contrôle pour les UAV dans des environnements sans signal GPS. Ayant pour objectif de remplacer les données de navigations classiques par des mesures de traitement d'image, et cela, en ayant recours à une combinaison de capteurs d'image et de distance. Conçu avec une approche de rétroaction non linéaire pour explorer la faisabilité du système proposé et utilise un système numérique comme moyen de vérification.

Keywords: Environnement sans GPS, vol en intérieur, système intégré de guidage, navigation et contrôle, guidage visuel et contrôle.

1 Introduction

La démocratisation des petits véhicules aériens sans pilote (UAV) dans le domaine militaire et civile les a rendus des outils très importants. Rendant leurs défis tels que leurs utilisations environnements sans signal GPS. C'est pourquoi, dans le but de remplacer les systèmes conventionnels et complexes [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9], cet article vise à développer un nouveau système de navigation adapté aux petits véhicules aériens sans pilote (UAV) adapté à l'absence de GPS. Cela en utilisant une combinaison de capteurs, notamment des capteurs d'image et de distance. Ainsi qu'un système intégré de guidage et de contrôle (IGC) adapté à ces dits capteurs. Une évaluation est par la suite réalisée via des analyses théoriques initiales et des simulations numériques dont les résultats sont présentés pour valider le système proposé.

2 Définition du problème

2.1 Dynamique à 6 Degrés de Liberté du UAV

Afin de concevoir un système de guidage et de contrôle pour un UAV, l'utilisation de modèle mathématiques à 6 degrés de liberté (capacité d'un objet ou d'un système

à se déplacer librement dans l'espace en six directions indépendantes) est nécessaire. De nombreux paramètres sont pris en compte dans ces modèles tel que la masse, l'inertie, les angles d'attitude et les forces de frottement aérodynamique. Cela nous permet de décrire les déplacements spatiaux et les angles d'attitude tout en détaillant la dynamique spatiale du UAV, établissant des liens entre les accélérations, les forces appliquées et les mouvements angulaires, ainsi que la corrélation entre les forces des moteurs et la production de poussée et de moment.

2.2 Information de navigation relative depuis la caméra

L'acquisition d'information de navigation via la caméra des UAV est une étape cruciale pour leur guidance automatique. Cela se fait en utilisant des méthodes de stéréo photométrique permettant de retranscrire un environnement 3D via des images 2D. Cela consiste à calculer le vecteur perpendiculaire à la surface pour chaque point de la cible puis en calculer sa profondeur. Permettant via différents angles d'obtenir des informations sur la position relative de la cible, et cela, de manière adaptative à la vitesse de mouvement de l'UAV.

3 Système Intégré de Guidance, Navigation et Contrôle (IGNC)

Le système de guidage et de contrôle proposé dénote des systèmes classiques s'appuyant sur un GPS, ici la proposition fait est d'utiliser un capteur d'image et d'un télémètre pour permettre le fonctionnement du système dans des environnements sans GPS, comme illustré dans la figure 1. Ce système est par la suite intégré, utilisant ces dits capteurs d'image et de télémétrie pour mesurer la distance relative et estimer les angles d'attitude, mais aussi filtre de navigation pour fournir les données nécessaires à la guidance et à la navigation, illustré dans la figure 2.

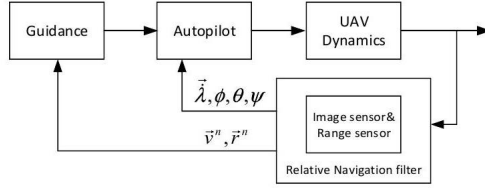


Fig. 1 La structure proposée du système de guidage et de contrôle

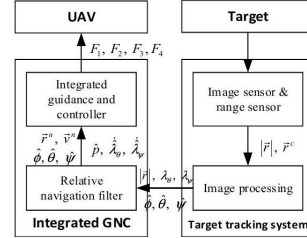


Fig. 2 La structure intégrée du système de guidage et de contrôle

Le filtre de navigation relative est un composant du système qui, en se basant sur les données fournies par la caméra, est capable de fournir des estimations en temps réel de la vitesse relative entre deux objets, du taux de changement de l'angle de vue, et du taux de roulis (la vitesse à laquelle l'objet pivote autour de son axe longitudinal). Ces estimations sont cruciales pour la navigation précise et le contrôle dynamique

des UAV car par la suite ces données sont transmises au IGC qui les utilisent pour appliquer ce qu'on appelle "Backstepping" qui est une technique de conception de contrôle non linéaire, ce qui a pour effet de stabiliser le mouvement du drone et d'assurer des performances de suivi de trajectoire précises. Dans ce cas précis, la méthode s'inspire de celle développée dans (Madani and Benallegue, 2006) [10].

4 Simulation Numérique

Dans un objectif d'évaluation, une simulation numérique (plus précisément une simulation de Monte Carlo dû à la génération aléatoire d'un point cible) est effectuée avec un UAV effectuant une inspection en intérieur, cela consiste à inspecter un panneau en gardant une distance de 30 cm sur l'axe des x, se déplaçant donc sur l'axe des y et des z afin de suivre des points cibles, un point cible met à jour sa position à l'aide d'une fonction mathématique chaque 7.5 secondes pour un total de 8 fois, donnant 8 points cibles à suivre lors de la simulation, le tout en ajoutant un biais et du bruit dans le taux de changement de l'angle de visée. Après 150 simulations effectuées, nous obtenons les résultats illustrés dans la figure 3

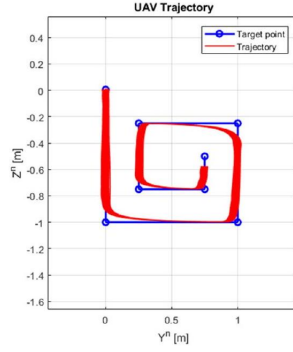


Fig. 3 Résultat des simulations

Comme on peut le constater, les trajectoires générées par l'UAV sont stables, malgré une augmentation des erreurs de suivi au moment du changement de cible, elles finissent par se nulifier de manière assez rapide, n'impactant pas les performances globales. À noter que le bruit ajouté dans le taux de changement de l'angle de visée a aussi joué un impact dans le taux d'erreur obtenu, mais on peut clairement noter que ses effets restent négligeables, démontrant une robustesse de l'approche.

5 Conclusion

Cet article présente un système de guidage, navigation et contrôle intégré (IGNC) pour les UAV dans des environnements sans signal GPS. Utilisant une combinaison de capteurs d'image et de distance, le système est validé par simulation numérique. Il se distingue des contrôleurs d'attitude conventionnels en remplaçant la boucle de taux

angulaire du corps par la boucle de taux d'angle de vue, éliminant ainsi la nécessité d'un gyroscope. Malgré une manœuvre supplémentaire causée par cette différence, son impact est minime. L'article propose d'étendre la structure de contrôle en intégrant une estimation d'angle de vue pour améliorer les performances. La validation pratique du système IGNC sera réalisée à travers des essais en vol.

References

- [1] Achtelik, M., Bachrach, A., He, R., Prentice, S. and Roy, N.: Stereo vision and laser odometry for autonomous helicopters in GPS-denied indoor environments. *Unmanned Systems Technology XI*. (2009)
- [2] Ahrens, S., Levine, D., Andrews, G., How, J. P: Vision-Based Guidance and Control of a Hovering Vehicle in Unknown, GPS-denied Environment. *2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. IEEE. (2009)
- [3] Alarcon, F., Santamaria, D., Viguria, A.: UAV helicopter relative state estimation for autonomous landing on moving platforms in a GPS-denied scenario. *IFAC-PapersOnLine*. (2015)
- [4] Blösch, M., Weiss, S., Scaramuzza, D., Siegwart, R.: Vision based MAV navigation in unknown and unstructured environments. *Robotics and Automation (ICRA)*. IEEE international conference. (2010)
- [5] Çelik, K., Somani, A.K.: Monocular vision SLAM for indoor aerial vehicles. *J. Electr. Comput. Eng.* (2009)
- [6] Madani, T., Benallegue, A.: Backstepping Control for a Quadrotor Helicopter. *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. (2006)
- [7] Chowdhary, G., Johnson, E.N., Magree, D., Wu, A., Shein, A.: GPS-denied Indoor and Outdoor Monocular Vision Aided Navigation and Control of Unmanned Aircraft. *J. F. Robot.* (2013)
- [8] Ghadiok, V., Goldin, J., Ren, W: Autonomous indoor aerial gripping using a quadrotor. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*. (2011)
- [9] Kendoul, F., Nonami, K., Fantoni, I., Lozano, R.: An adaptive vision-based autopilot for mini flying machines guidance, navigation and control. *Auton.Robots*. (2009)
- [10] Madani, T., Benallegue, A.: Backstepping Control for a Quadrotor Helicopter. *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. (2006)