

ED STIC - Proposition de Sujets de Thèse pour la campagne d'Allocation de thèses 2011

Titre du sujet :

Mention de thèse :

HDR Directeur de thèse inscrit à l'ED STIC :

Co-encadrant de thèse éventuel :

Nom :

Prénom :

Email :

Téléphone :

Email de contact pour ce sujet :

Laboratoire d'accueil :

Description du sujet :

Les futurs véhicules aériens sans pilote (unmanned aerial vehicles (UAVs)) seront conçus pour réaliser des missions dangereuses et difficiles voire impossibles pour des humains. C'est le cas par exemple, lorsqu'il s'agit d'inspecter des lignes à haute tension, des ponts, des tunnels, des barrages, et autres ouvrages d'art. De plus, après une catastrophe naturelle ou industrielle, l'inspection par un robot aérien de bâtiments effondrés représenterait un gain considérable en temps, en coût et en risque humain.

Pour des missions d'inspection, le drone doit être équipé 1) de capteurs permettant au véhicule de s'auto-stabiliser, de naviguer dans l'espace et de détecter/éviter les obstacles, et 2) de capteurs lui permettant d'inspecter les objets d'intérêt.

Il existe différents mode d'opération des drones : 1) entièrement automatique : le drone décolle, atteint la cible, réalise une action à la cible (inspection ou livraison d'une charge), et finalement retourne à sa base ; 2) mode téléopéré : le drone interagit avec son environnement et un pilote

humain, qui téléguidé le véhicule pour se rapprocher de la cible et en effectuer une inspection visuelle via les caméras à bord.

Le mode de téléopération est particulièrement intéressant lorsque l'environnement dans lequel le robot évolue est inconnu, ou lorsque le robot ne peut pas utiliser tous ses capteurs à bord pour naviguer, c'est le cas par exemple en intérieur où le GPS est inutilisable, ou enfin lorsque l'inspection de la cible doit se faire par un œil humain.

Dans le mode de téléopération, un pilote humain contrôle le drone via un joystick, en se basant sur les informations visuelles fournies par une caméra embarquée sur le robot. Cependant, l'évaluation visuelle de la distance qui sépare le robot de ses obstacles environnants est très souvent difficile et peu précise. Par conséquent, même des pilotes expérimentés pourraient échouer de contrôler le robot de façon sûre et d'éviter les obstacles. De plus, les perturbations aérologiques peuvent singulièrement compliquer la tâche de pilotage du drone à proximité des infrastructures à inspecter.

C'est pourquoi, le but de cette recherche scientifique consiste à développer les outils théoriques et technologiques nécessaires pour la téléopération des drones à décollage et atterrissage vertical (VTOL en anglais), afin d'effectuer des manœuvres d'inspection précises et complexes, même par un pilote humain inexpérimenté. A cette fin, il est nécessaire de développer de nouvelles techniques de téléopération 1) qui permettent au drone d'effectuer des manœuvres automatiques d'évitement d'obstacle, et 2) qui incorporent une interface de contrôle innovante comme un joystick à retour de force pour faire ressentir au pilote humain l'environnement du drone (obstacles et perturbations aérologiques).

Les défis scientifiques qui doivent être surmontés concernent : 1) la modélisation du canal de communication avec ses retards entre l'opérateur et le robot et vice-versa , 2) la modélisation de l'interface haptique et son intégration dans la boucle de commande, 3) la synthèse de contrôleur stabilisant le système joystick/canal de communication/robot en boucle fermée, 4) la synthèse des efforts dans le joystick pour donner une sensation de l'environnement du robot au pilote humain, en termes de distance et direction aux obstacles et de perturbations aérologiques, 5) l'utilisation de nouveaux types de capteurs à flux optique pour mesurer une pseudo vitesse de déplacement du véhicule en intérieur (absence de GPS), et 6) la gestion de la différence des dynamiques entre le joystick (entièrement actionné) et le robot (sous-actionné).

Dans ce contexte, les nouveaux développements théoriques pourront s'appuyer sur :

- 1) la modélisation des retards dans la boucle de communication par la méthode « Wave Variable Method » [1] qui apportent des propriétés de passivité dans le domaine temporelle,
- 2) la conception d'un système de contrôle qui s'appuie sur ce phénomène de passivité pour garantir des propriétés de robustesse même si un bon modèle d'information n'est pas disponible [3],
- 3) une approche nouvelle de la théorie de la téléopération en considérant une représentation basée capteurs de la dynamique du robot. A cet effet, l'usage de capteur de flux optique sera considéré [2] comme une mesure de vitesse pour former l'admittance du robot avec le retour de force [3].
- 4) l'utilisation de nouvelles théories sur les systèmes Lagrangiens nonlinéaires [4, 5] pour modéliser les dynamiques complexes basées capteurs.
- 5) les travaux concernant les phénomènes de passivité des systèmes échantillonnés et port-Hamiltoniens [6, 7].

Ce travail de thèse propose une nouvelle approche théorique et pratique de la téléopération en combinant de façon unique à ce jour, des données de capteurs de flux optiques, de caméras embarquées et l'usage d'un joystick à retour de force. Des études préliminaires menées par l'équipe I3S-CONDOR avec différents partenaires sur cette thématique laissent entrevoir des résultats prometteurs [8], [9].

- [1] G. Niemeyer and J. Slotine. Towards force-reflecting teleoperation over the Internet, In IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Leuven, Belgium, 1998.
- [2] F. Ruffier and N. Franceschini. Optic flow regulation: The key to aircraft automatic guidance. Robotics and Autonomous Systems, vol. 50, pp. 177-194, 2005.
- [3] B. Hannaford and J.-H. Ryu. Time-domain passivity control of haptic interfaces. IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 18, no. 1, pp. 1-10, Feb. 2002.
- [4] A.M. Bloch, N.E. Leonard, and J.E. Marsden. Controlled lagrangians and the stabilization of mechanical systems I: the first matching theorem. IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 45, no. 12, pp. 2253-2269, 2000.
- [5] G. Blankenstein, R. Ortega, and A.J. Van Der Schaft. The matching conditions of controlled lagrangians and ida-passivity based control. International Journal of Control, vol. 75, no. 9, pp. 645-665, June 2002.
- [6] S. Stramigioli, C. Secchi, A.J. van der Schaft, and C. Fantuzzi. Sampled data systems passivity and discrete port-Hamiltonian systems. IEEE Trans. on Robotics, vol. 21, no. 4, pp. 574-587, Aug. 2005.
- [7] S. Stramigioli, R. Mahony, and P. Corke. A novel approach to haptic tele-operation of aerial robot vehicles. In IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 5302-5308, Alaska, USA, May 2010.
- [8] B. Hérisse, F.-X. Russotto, T. Hamel, and R. Mahony. Hovering flight and vertical landing control of a VTOL Unmanned Aerial Vehicle using optical flow. In IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 801-806, Nice, France, Sept. 2008.
- [9] B. Hérisse, T. Hamel, R. Mahony, and F.-X. Russotto. A nonlinear terrain-following controller for a VTOL Unmanned Aerial Vehicle using translational optical flow. In IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 1079-1085, Kobe, Japan, May 2009.

English version:

Future generations of unmanned aerial vehicles (UAVs) will be capable of executing missions that are too dangerous, too difficult or simply impossible for humans. This is the case, for example, when it is necessary to inspect power lines, buildings, bridges, tunnels, hydraulic dam walls, pipelines, etc. Also, after a natural or industrial disaster, the inspection of the inside of a collapsed house, building or plant, by a small UAV would represent a considerable advantage in terms of time-saving, cost and human risk.

For inspection purposes, the UAV is equipped with 1) sensors that enable the flying vehicle to stabilize itself, navigate, and detect obstacles, and 2) sensors that allow to see/inspect the objects of interest.

There are different modes of UAV operation: 1) fully automatic mode: the UAV takes off, reaches a target, performs the task at target (delivers payload or inspects target), and finally returns to base; 2) teleoperation mode: the UAV interacts with its environment and a human pilot, who

remotely pilots the aerial robot to approach the target and to visually inspect the infrastructure of interest.

The teleoperation mode is particularly relevant when the environment is not known, or when the UAV cannot use some of its sensors to navigate (for example when the GPS data is not available in an indoor context), and/or when the visual inspection requires a human to make the assessment and diagnostic.

In a teleoperation scheme, a human pilot controls the UAV with a joystick based on video data transmitted by the UAV to the ground station. However, visual evaluation of the distance between the vehicle and the obstacles is difficult and hardly accurate. Therefore, even experienced pilots may fail to safely pilot the flying robot without collisions with obstacles. Moreover, in the vicinity of some infrastructures, complex aerodynamic effects induced by strong and unpredictable wind gusts may complicate the task of the human pilot.

Therefore, the goal of this research is to develop the necessary theoretical and technological tools that will enable the teleoperation of vertical take-off and landing (VTOL) vehicles, in order to perform complex and accurate inspection maneuvers, even by an inexperienced human pilot. To this end, it is required to develop new and reliable teleoperation techniques, such as automatic obstacle avoidance and haptic force-feedback control. Optical flow sensors combined with telemetric sensors will provide information of the velocity and distance of the robot with respect to the obstacles. A force feedback joystick will be incorporated in the control interface in order to provide the human operator with a sensation of the surrounding obstacles (direction to obstacles and closeness).

The scientific challenges that are to be overcome are: 1) modeling of the communication channels between the robot and the operator, including delays, 2) modeling the haptic force feedback joystick and its integration in the control loop, 3) the synthesis of a stable controller for the closed-loop system made of the joystick, the communication channel, and the robot, 4) the synthesis of the feedback force in the haptic interface in order to give the human operator a feeling of the robot's surrounding, 5) the use of new sensor types such as optic-flow sensors as a means of velocity measurement (when GPS is not available), and 6) the handling of the different dynamics between the joystick (fully actuated) and the robot (under-actuated).

In this context, new theoretical development will be based on: 1) the modeling of the communication channel with its delays using the "Wave Variable Method" providing passivity properties in the time domain [1], 2) the design of a control system exploiting passivity properties in order to provide robustness against uncertainties in the information model [3], 3) a new approach of the teleoperation theory in terms of sensor-based representation of the vehicle dynamics. The project will investigate the use of optical-flow [2] sensors as velocity-like measurement sensors to form an admittance model with force actuation [3], 4) the use of the recently developed theory of nonlinear Lagrangian systems [4,5] to model the nonlinear complexity of the sensor-based dynamics, 5) the use of recent work in the time domain passivity of sampled data systems and port-Hamiltonian systems [8,9] .

This doctoral work offers a new theoretical and practical approach to the teleoperation of UAVs, combining in a unique way, optic flow sensors, cameras and a force-feedback joystick. Preliminary studies conducted by the I3S CONDOR team on this topic open the way to promising future results [8-9].

- [1] G. Niemeyer and J. Slotine. Towards force-reflecting teleoperation over the Internet, In IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Leuven, Belgium, 1998.
- [2] F. Ruffier and N. Franceschini. Optic flow regulation: The key to aircraft automatic guidance. *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 50, pp. 177-194, 2005.
- [3] B. Hannaford and J.-H. Ryu. Time-domain passivity control of haptic interfaces. *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 18, no. 1, pp. 1-10, Feb. 2002.
- [4] A.M. Bloch, N.E. Leonard, and J.E. Marsden. Controlled lagrangians and the stabilization of mechanical systems I: the first matching theorem. *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. 45, no. 12, pp. 2253-2269, 2000.
- [5] G. Blankenstein, R. Ortega, and A.J. Van Der Schaft. The matching conditions of controlled lagrangians and ida-passivity based control. *International Journal of Control*, vol. 75, no. 9, pp. 645-665, June 2002.
- [6] S. Stramigioli, C. Secchi, A.J. van der Schaft, and C. Fantuzzi. Sampled data systems passivity and discrete port-Hamiltonian systems. *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 21, no. 4, pp. 574-587, Aug. 2005.
- [7] S. Stramigioli, R. Mahony, and P. Corke. A novel approach to haptic tele-operation of aerial robot vehicles. In *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 5302-5308, Alaska, USA, May 2010.
- [8] B. Hérissé, F.-X. Russotto, T. Hamel, and R. Mahony. Hovering flight and vertical landing control of a VTOL Unmanned Aerial Vehicle using optical flow. In *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 801-806, Nice, France, Sept. 2008.
- [9] B. Hérissé, T. Hamel, R. Mahony, and F.-X. Russotto. A nonlinear terrain-following controller for a VTOL Unmanned Aerial Vehicle using translational optical flow. In *IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 1079-1085, Kobe, Japan, May 2009.