

## GT-UAV – Inter - GdR MACS – Robotique

### Programme de la journée du 26 Mars 2009

Adresse : ENSAM Paris, 151, Boulevard de l'Hôpital 75013 Paris  
Salle P2

9h Accueil – Café – Jus ...

9h 30 D. Trouchet - BERTIN TECHNOLOGIES  
Titre : Les minidrones

Résumé : Depuis 1999, Bertin Technologies développe des minidrones d'observation en milieu urbain. Un minidrone ne se résume pas à un véhicule aérien, mais est un système complet d'informations, multidisciplinaire car mettant en œuvre de nombreuses sciences de l'ingénieur et métiers de l'industrie.

Hovereye a démontré en vol des fonctions d'autonomie décisionnelle et une capacité d'évolution en milieu urbain. Minirec, développé avec l'ISAE, s'appuie sur ces acquis (avionique et station sol). Ces travaux ont donné lieu à une vingtaine de publications et trois thèses. BERTIN TECHNOLOGIES poursuit actuellement son effort de recherche à travers des axes génériques et aussi l'augmentation du domaine d'emploi de machines particulières.

10h15 B. Patin - DASSAULT  
Titre : Asservissement visuel pour atterrissage d'avion - Projet PEGASE

Résumé : Le projet PEGASE, initié à travers une thèse ayant eu lieu à l'IRISA et soutenue par Dassault Aviation, traite de l'application des techniques liées à la vision au domaine de l'aéronautique et plus précisément l'atterrissage et le décollage d'aéronefs à voilures fixe et tournante. Dans ce cadre, le projet a mis en place une architecture fonctionnelle implémentée à travers une simulation partagée par les différents acteurs et permettant l'intégration incrémentale de tout les modules. De cette façon, nous avons pu mettre en place l'ensemble des algorithmes étudiés en commençant par le traitement des images permettant l'élaboration des signaux amenant, d'une part, à la localisation du mobile pour une action de guidage et, d'autre part, à un asservissement visuel de celui ci. Nous discuterons dans l'exposé des différentes limites rencontrées pour les différentes méthodes. Par exemple, le déterminisme du temps de résolution essentiel pour embarquer dans un système avion de telles méthodes ou bien les demandes en mémoire et d'autres points d'importance. Nous terminerons l'exposé en précisant quels développements futurs seront nécessaires à l'adoption large de ces travaux et les autres applications potentielles.

11h G. Desilles - THALES AVIONICS  
Titre : Le contexte de développement des capteurs inertiels MEMS et les avancées de THALES AVIONICS dans ce domaine

Résumé : Après avoir brossé rapidement les applications et les acteurs mondiaux des MEMS inertiels aujourd'hui, nous présenterons les technologies de MEMS développées par THALES AVIONICS, en termes d'architecture et de fonctions.

11h45 P. Fabiani - ONERA/DCSD/CD  
Titre : Vision based air-to-ground target tracking and safe localization of a UAV in a GPS denied environment

Auteurs: Yoko Watanabe, Guy Le Besnerais, Patrick Fabiani

Résumé: Thanks to the ReSSAC project at ONERA, we were able to demonstrate the feasibility of implementing on-board a VTOL UAV some autonomous decision-making functions and complex information processing algorithms for:

- image processing for obstacle and landing site characterization ;
- action and flight replanning in an uncertain and ill-known environment.

Such capabilities enable the system to automatically gather information on the environment and change its behavior or its flight plan in order to adapt to local conditions without the need for any human intervention. However, developing such autonomy capabilities should not be considered as a goal in itself and must be replaced in a more global perspective and matched to more crucial issues : efficiency, reliability, and, last but not least, safety.

Those feasibility demonstrations raised several questions among which :

- VTOL UAV will operate close to the ground and buildings in urban environments and therefore they need to become able to navigate in close vicinity to obstacles with robust detection and relative positioning capabilities, especially robust to a temporary loss of GPS-based navigation capability. The SPIDER project is dedicated to the development of image processing algorithms and vision-based control functions for such purposes. We present some preliminary results obtained using the ReSSAC VTOL UAV platform performing simultaneous visual-based air-to-ground target tracking and optical flow based ground speed estimation.
- VTOL UAVs might very well be operated in close cooperation with other robotic or software agents. The ACTION and ROSACE projects focus on robots and agents cooperating and communicating in a dynamic uncertain urban-like environment, thus projecting an interactive multi-asset version of the ReSSAC project.
- VTOL UAVs might very well be useful when operated in the vicinity of populated area, thus in compliance with very strict safety constraints and regulations. It will be particularly important to be able to prove the safety properties of embedded systems and especially regarding the flight, navigation and mission control avionics. The IDEAS project will study the proof tools needed for such purpose.

12h30 Pause déjeuner

### **Après midi :**

13h45 F. Ruffier. Institut des Sciences du Mouvement – Marseille  
Titre : Pilote automatique Biomimétique

Franck Ruffier, Julien Serres, Nicolas Franceschini  
Equipe Biorobotique, Institut des Sciences du Mouvement  
CNRS & Univ. de la Méditerranée  
MARSEILLE, France  
{ nicolas.franceschini, franck.ruffier, julien.serres } @univmed.fr

Résumé : Lorsqu'un insecte ailé navigue, l'image du sol qu'il perçoit défile à travers son champ visuel ventral formant un *flux optique*. Le flux optique s'exprime en termes de vitesse angulaire (en rad/s) : il dépend à la fois de la vitesse sol et de la hauteur sol. Depuis 60 ans, plusieurs études ont montré que l'insecte maintient un flux optique constant par rapport à l'environnement pour naviguer ou atterrir [1, 2, 3].

Notre recherche tend à la fois (i) à établir un schéma de contrôle explicite expliquant comment les insectes réalisent leurs prouesses comportementales [4], et (ii) à construire des micro-véhicules aériens (MAVs) naviguant sur la base de capteurs de flux optique sans mesurer ni leur altitude ni leur vitesse [5, 6].

Nous avons proposé le concept de « régulateur de flux optique » qui, d'une part explique comment l'insecte évite le sol et les obstacles latéraux et qui, d'autre part offre des solutions innovantes aux systèmes de guidage automatique des MAVs basé sur la vision. Le terme « régulateur » est utilisé ici dans un sens formel pour décrire une boucle de rétroaction directement sur le flux optique, pour le maintenir réguler proche de la consigne. Le flux optique régulé est mesuré non pas à partir de la vitesse sol ou de la hauteur sol mais grâce à un capteur optronique spécifique appelé capteur de flux optique, inspiré des neurones Détecteur Élémentaires de Mouvement (DEM) de la mouche [9, 10].

Dans le plan vertical, le robot OCTAVE modifie sa force de sustentation donc sa hauteur sol pour maintenir à chaque instant le flux optique au plus près de sa consigne. Lorsque le robot survole une pente montante, le défilement du sol perçu par le robot se fait plus rapide. Le robot maintient alors le flux optique constant en s'élevant dans les airs, suivant ainsi le terrain. Si la vitesse du robot augmente, le robot augmentera sa hauteur sol pour conserver le flux optique constant. Cette réaction au vent arrière conduit l'aéronef à naviguer à des altitudes où les vents seront d'autant plus favorables et ainsi à réaliser d'importantes économies d'énergie. Si sa vitesse vient à diminuer pour une quelconque raison (que le robot décide d'atterrir ou qu'il essuie un fort vent de face), le régulateur de flux optique va forcer le robot à *descendre* pour maintenir encore et toujours le défilement du sol au niveau de sa consigne de flux optique. Un fort vent de face va causer un atterrissage « forcé » mais tout en douceur car il se fait sous *contrôle visuel*. Cet atterrissage est judicieux puisqu'il évite à l'aéronef de s'épuiser en luttant contre des vents hautement défavorables. Nous avons également montré qu'un robot régulant son flux optique ventral atterrissait automatiquement à *pente constante* donc en toute sécurité.

De façon similaire, nous avons conçu un pilote automatique dénommé LORA III pour contrôler le déplacement d'un aéroglisseur dans le plan horizontal [7, 8].

Il comporte deux régulateurs de flux optique interdépendants, chacun contrôlant un degré de liberté en translation :

- un régulateur du flux optique *bilatéral* contrôle automatiquement la vitesse d'avance du robot sur la base de la somme des flux optiques droit et gauche,
- un régulateur de flux optique *unilatéral* permet au robot d'éviter les obstacles latéraux sur la base du maximum des flux optiques droit et gauche.

Un aéroglisseur totalement actionné est simulé et les résultats montrent qu'il est capable de franchir un corridor droit ou fuselé en agissant à la fois sur sa vitesse et sa distance aux murs. Il lui faut seulement une paire d'yeux latéraux capables de mesurer les flux optiques droit et gauche. Ce système de guidage visuel minimaliste suffit au robot pour contrôler automatiquement sa vitesse d'avance et sa distance au mur, sans qu'il ait à utiliser ni capteur télémétrique ni capteur vélocimétrique.

Les robots OCTAVE et LORA III constituent les premiers pas vers des systèmes de guidage à bas coût, léger, et économe en énergie, pour micro-aéronefs. Dans les 2 cas, ces robots utilisent des capteurs optroniques DEM (Détecteur Élémentaire de Mouvement) [9, 10] directement inspiré des neurones DEM spécifiques présents dans l'œil de la mouche [11].

[1] Kennedy, J.S. (1951). The migration of the desert locust. I. The behaviour of swarms. Phil. Trans. Roy. Soc. B235, 163-290.

[2] Srinivasan, M.V., Zhang, S., Lehrer, M., and Collett, T. (1996). Honeybee navigation en route to the goal: visual flight control and odometry. J. Exp. Biol., 199, 237-244.

[3] Srinivasan M.V., Zhang, S., Chahl, J.S., Barth, E., and Venkatesh, S. (2000). How honeybees make grazing landings on flat surfaces. Biol. Cybern. 83, 171-183.

[4] Franceschini, N., Ruffier, F., Serres, J. (2007) A bio-inspired flying robot sheds light on insect piloting abilities, Current Biology 17, 329-335

[5] Ruffier, F. ; Franceschini, N. (2003) OCTAVE, a bioinspired visuomotor control system for the guidance of micro-aircraft. In : Bioengineered and Bioinspired Systems, SPIE Vol. 5119, Rodriguez A. et al. (Eds), Bellingham, USA, pp. 1-12.

- [6] Ruffier, F., Franceschini, N. (2005) Optic flow regulation: the key to aircraft automatic guidance. *Robotics and Autonomous Systems Journal* 50, 177-194
- [7] Serres, J., Ruffier, F., Franceschini, N. (2006) Two optic flow regulators for speed control and obstacle avoidance. In : *Proc. IEEE Int. Conf. Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob06)*, Pisa, paper Nb 284.
- [8] J. Serres, D. Dray, F. Ruffier and N. Franceschini (2008) A vision-based autopilot for a miniature air vehicle: joint speed control and lateral obstacle avoidance *Autonomous Robots*, Springer, Volume 25, Numbers 1-2 / août 2008, Pages 103-122
- [9] Ruffier, F. ; Viollet, S. ; Amic, S. ; Franceschini, N. (2003) Bio-inspired optical flow circuits for the visual guidance of micro-air vehicles In : *IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS 03)*, Bangkok, Thailand, pp. 846-849.
- [10] Pudas, M, Viollet, S, Ruffier, F, Kruusing, A, Leppävuori, S, Franceschini, N. (2007) A miniature bio-inspired optic flow sensor based on low temperature co-fired ceramics (LTCC) technology. *Sensors and Actuators A. Physical* , 133, 88-95
- [11] Franceschini, N., Riehle, A., Le Nestour, A. (1989) Directionally selective motion detection by insect neurons. In: *Facets of vision*, D.G. Stavenga and R.C. Hardie, (eds), Springer, Berlin, Germany, pp. 360-390

14h15            B. Hérisse CEA – Fontenay aux roses  
Titre : Commande d'un drone quadri-rotor par flot optique

Résumé :        Dans cette présentation, on s'intéressera à la commande par flot optique d'un drone de type quadri-rotor. Le drone, capable de vol quasi-stationnaire, est supposé embarquer un minimum de capteurs : une centrale inertielle ainsi qu'une caméra. Le flot optique est le champ des mouvements relatifs des objets de l'environnement par rapport à la camera projeté sur le plan image. Il permet ainsi d'estimer le mouvement de la camera (et donc du drone), de détecter des obstacles ou encore des objets mobiles.

Dans un contexte où le drone navigue en environnement encombré, les algorithmes de commande proposés ont l'avantage de permettre au véhicule d'éviter les collisions et de naviguer librement dans l'espace. Ainsi les algorithmes permettent au drone d'effectuer des fonctions avancées telles que l'atterrissage vertical, le suivi de relief ou l'évitement d'obstacle tout en assurant sa survie dans un milieu encombré et incertain. On présentera deux applications expérimentées sur le drone : l'atterrissage automatique vertical ainsi que le suivi de relief. Enfin on présentera des simulations d'évitement d'obstacles.

14h45            K. Benzemrane. IBISC-Evry  
Titre : Un Observateur non linéaire adaptatif robuste pour l'estimation des vitesses linéaires d'un drone quadrirotor en l'absence de données GPS ou de caméra.

Résumé :        Cet exposé abordera la question de l'estimation des vitesses linéaires d'un drone quadrirotor dans les cas où il n'est possible d'utiliser ni des mesures GPS ni des caméras. Ces situations sont courantes pour l'inspection de grandes structures avec de constants phénomènes de zones d'ombre pour les signaux GPS, ainsi que de trop grandes variations de luminosité pour la caméra. La présentation s'intéressera tout d'abord à la question délicate de l'observabilité du système. Par la suite, un observateur non-linéaire adaptatif robuste sera présenté ; ses performances seront finalement illustrées par des simulations et comparées à un filtre de Kalman étendu.

15h15            H. Rafaralahy. Nancy-Université-CRAN-Longwy  
Titre : Estimateur d'ordre réduit de la vitesse d'un quadrirotor.

Résumé :        Cette présentation concerne la synthèse d'un observateur d'ordre réduit pour estimer la vitesse d'un quadrirotor. Nous supposons que le quadrirotor est muni d'une centrale inertielle, c'est à dire que les angles de Cardan, les vitesses angulaires et les accélérations du centre de masse sont mesurées. L'objectif consiste donc, à partir de ces mesures, à estimer la vitesse de translation du

quadrirotor (vitesse exprimée dans le repère du drone). L'observateur proposé est une équation différentielle linéaire temps variant de dimension trois et est basé sur la dynamique de translation du quadrirotor. La stabilité asymptotique de l'erreur d'estimation est établie à partir d'une fonction de Lyapunov quadratique et du lemme de Barbalat.

La deuxième partie concerne l'estimation simultanée de la vitesse et des défauts des accéléromètres. Il s'agit d'une banque de trois observateurs-générateurs de résidus (OGR).

Chaque OGR utilise deux mesures d'accélération permettant de générer des résidus, c'est à dire de détecter la présence d'un défaut de capteur, et d'estimer la vitesse si ces résidus sont nuls. La troisième mesure de l'accélération sert à estimer ce défaut. Nous proposons également une caractérisation de la classe de défauts non détectables, c'est-à-dire des défauts ne pouvant être estimés par les OGR.

15h45

G. Sanahuja. UTC-Heudiasyc-Compiègne

Titre : La commande des véhicules aériens en utilisant la vision  
au laboratoire Heudiasyc

Résumé : Cet exposé présente les travaux du laboratoire Heudiasyc de Compiègne sur les systèmes de drones miniatures. De la conception à la réalisation, notre équipe s'efforce à tout réaliser au laboratoire (électronique, mécanique...); s'attachant depuis toujours à proposer des configurations originales (mono-rotor, bi-rotors, tri-rotors, quadri-rotors, octa-rotors) ainsi que des configurations convertibles. Si la stabilisation en orientation des drones ne pose quasiment plus de problèmes grâce aux centrales inertielles, la stabilisation en position reste plus délicate. En effet les GPS n'offrent pas toujours une précision suffisante à l'échelle du drone, et dépendent grandement de l'environnement (indoor, canyon urbain...). Pour palier à ces problèmes, notre équipe travaille sur d'autres systèmes de localisation, tels que la vision et depuis peu la radiolocalisation. Divers systèmes de visions ont été testés pour aider à la stabilisation de la position du drone : stéréovision, flux optique (FO), reconnaissance de marquages au sol... Cependant, le traitement des images est souvent lourd (et donc déporté), induisant du retard. Ainsi, une solution est d'intégrer un prédicteur dans la loi de commande ; ce qui a été testé dans un premier temps sur un véhicule mobile à un degré de liberté. D'autres travaux tentent de faire le traitement embarqué des images, utilisant des algorithmes simples et rapides. Les algorithmes plus lourds, tel que le FO, sont déportés grâce à des caméras sans fil. C'est le cas du projet Naviflow d'assistance à la navigation par FO. Il s'agit ici de stabiliser la position et d'asservir en vitesse le véhicule par contrôle référencé FO et/ou GPS. Le FO permettant aussi d'éviter les collisions en fournissant le temps avant contact.

L'exposé présentera aussi, d'un point de vue technique, les deux prototypes du laboratoire participants au challenge mini drones organisé par l'Onera et la DGA.

16h15

Discussions – Conclusions