

Réguler le flux optique latéral pour naviguer dans un corridor

Julien SERRES, Franck RUFFIER et Nicolas FRANCESCHINI
 Laboratoire Mouvement et Perception, Equipe Biorobotique,
 CNRS/Univ. de la Méditerranée
 31, chemin Joseph Aiguier, 13402 Marseille Cedex 20, FRANCE
 {serres, ruffier, franceschini}@laps.univ-mrs.fr

Résumé

Nous avons conçu un pilote automatique (LORA: Lateral Optic flow Regulation Autopilot) qui s'inspire de la vision des insectes ailés. LORA est basé sur une **régulation de flux optique latéral**. En simulation, un aéroglisseur miniature équipé de LORA réalise automatiquement, soit un suivi de paroi, soit un centrage entre les deux murs d'un corridor. L'aéroglisseur est un « aéronef » dont la stabilité est assurée en tangage et roulis mais qui conserve trois degrés de liberté (translations X et Y , et rotation en lacet Ψ), représentant ainsi un véhicule holonome dans le plan. Le robot navigue à vitesse relativement élevée (1m/s) sur la base d'une boucle visuomotrice simple mettant en oeuvre un système visuel minimaliste (seulement 4 pixels). Un tel système de navigation, basé sur des capteurs non-émisifs, est apte à équiper des micro-aéronefs dont l'avionique embarquée ne représenterait que quelques grammes.

Mots Clef

Pilote Automatique, Micro-aéronef, Vision, Navigation Urbaine, Flux Optique, Aéroglisseur, Bionique, Biorobotique.

1 Introduction

Une démarche classique en robotique mobile est d'équiper les robots avec des capteurs actifs (sonars, télémètres IR ou laser), ou de caméras permettant de cartographier le monde pour planifier leur trajectoire - ce qui peut conduire à un traitement intensif des informations visuelles. Les insectes ailés naviguent à des vitesses pouvant atteindre 800 longueurs de corps par seconde et fonctionnent autrement. Ils extraient de leur mouvement relatif des indices visuels leur permettant de naviguer agilement et d'éviter les obstacles en environnement inconnu [5]. Un indice essentiel est le flux optique, c'est-à-dire la vitesse angulaire de défilement de l'image projetée sur la rétine. Une démarche biorobotique, initiée voici plus de 20 ans

dans notre laboratoire, vise à reconstruire des agents artificiels, terrestres ou aériens, exploitant des mesures de flux optique [3,8,12].

Le capteur de flux optique utilisé s'inspire des neurones détecteurs de mouvement (DEM) de la mouche [4]. Le principe de navigation proposé ici diffère sensiblement de la stratégie initialement proposée par Kirchner et Srinivasan en 1989, qui stipulait que les abeilles réussissent à naviguer dans un corridor en égalisant les deux flux optiques latéraux [5]. Cette même stratégie a été, par la suite, programmée sur plusieurs robots mobiles guidés visuellement [2,9,11], ou simulée sur des agents volants [6,7], avec pour effet de centrer l'agent dans un corridor ou un canyon urbain. En cherchant à équilibrer les flux optiques latéraux, ces agents avaient pour inconvénient de s'engouffrer dans toute ouverture apparaissant le long d'un mur, car celle-ci présentait évidemment un flux optique nul. Des auteurs ont alors proposé de commuter sur un mode *suivi de paroi* lorsque ce cas de figure se présentait [9,11]. Ici, nous proposons un nouveau schéma de contrôle [10], qui évite à l'appareil de s'engouffrer dans toute ouverture latérale et ne requérant aucune commutation entre plusieurs modes de navigation.

2 Boucle visuomotrice LORA

Le point clé du pilote automatique LORA est une *régulation du flux optique latéral* (Fig.1). Les flux optiques latéraux (ω_R et ω_L) sont mesurés par deux capteurs non-émisifs (DEMs) orientés symétriquement de part et d'autre du robot. Un critère de maximum des flux optiques (droit et gauche) sélectionne le mur le plus proche, c'est-à-dire celui qui génère le flux optique le plus élevé (ω_{OFR} ou ω_{OFL}). Cette valeur maximale est comparée à une consigne de flux optique ω_{SET} , et la

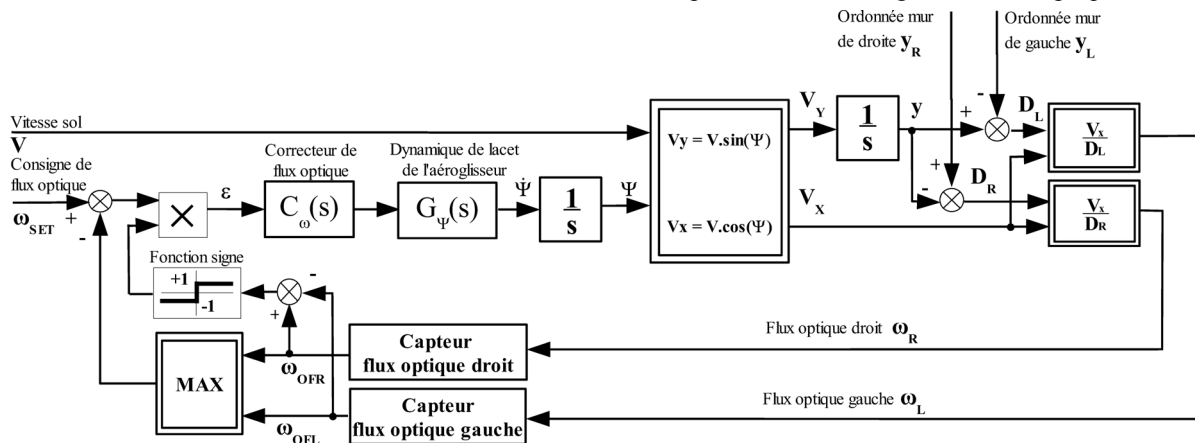


Figure 1. Le pilote automatique LORA possède deux entrées (la vitesse sol V et la vitesse de rotation en lacet Ψ). Le correcteur de flux optique $C_\omega(s)$ est incorporé dans une boucle de régulation du flux optique latéral. Les capteurs (DEMs) mesurent les flux optiques droit et gauche (ω_R et ω_L). $C_\omega(s)$ commande la vitesse de rotation en lacet de l'aéroglisseur. Les murs de droite (Ordonnée mur de droite y_R) et de gauche (Ordonnée mur de gauche y_L) sont considérés comme des perturbations vis-à-vis de la boucle de régulation visuomotrice.

direction d'évitement d'obstacle résulte du signe de la différence entre les flux optiques latéraux, droit et gauche. Cette fonction *signe* sélectionne donc automatiquement le mur à suivre. Une caractéristique du pilote automatique LORA est qu'il n'estime ni la distance aux murs (D_L et D_R), ni la vitesse sol de l'agent V , mais seulement le quotient entre vitesse sol (projetée suivant l'axe X) et distance au mur, à l'instar du pilote automatique OCTAVE conçu pour le suivi de terrain d'un aéronef [8]. LORA interprète toute augmentation de flux optique latéral comme une décroissance de la distance au mur (D_L ou D_R). L'aéroglesseur équipé de LORA réagit aux variations de flux optique latéral en agissant sur sa vitesse de rotation en lacet $\dot{\psi}$. En régime permanent, le flux optique maximal mesuré sur les deux murs est égal à la consigne de flux optique ω_{SET} . Le principe d'un DEM utilisé comme capteur de flux optique a été décrit précédemment [1,8,12]. Un correcteur à avance de phase $C_\omega(s)$ améliore la stabilité de la boucle visuomotrice. La dynamique de lacet de l'aéroglesseur $G_\psi(s)$ est modélisée par un filtre passe-bas du premier ordre de constante de temps 0.5s.

3 Résultats de simulation

Toutes les simulations sont programmées sur un PC standard équipé de MATLABTM/SIMULINK.

La figure 2 montre l'effet d'une absence locale de contraste sur l'un des deux murs. Cette zone non contrastée simule une porte ouverte, ou une jonction en T. Incapable de mesurer le flux optique sur 4m d'ouverture le long du côté droit, l'aéroglesseur voit sa trajectoire peu affectée car il se met à suivre automatiquement le mur texturé opposé. Sur la trajectoire 1, l'aéroglesseur présente un comportement de centrage (*centring response* [5]). Le long de la zone non contrastée, l'aéroglesseur suit le mur de gauche, maintenant automatiquement une *distance de sécurité* d'environ 0.5m par rapport à ce mur (pour $\omega_{SET}=120^\circ/s$ et $V=1m/s$). La trajectoire 2, par contre, montre l'effet d'une zone non contrastée lorsque les flux optiques mesurés (ω_{OFR} et ω_{OFL}) sont inférieurs à la consigne de flux optique ω_{SET} . Initialement, l'aéroglesseur suit le mur de droite et LORA génère une *distance de sécurité* d'environ 0.35m par rapport à ce mur (pour $\omega_{SET}=170^\circ/s$ et $V=1m/s$). Lorsque l'aéroglesseur rencontre l'ouverture (à $X=4m$), sa trajectoire est d'abord peu affectée (entre $X=4m$ et $X=4.5m$), parce que le capteur maintient la mesure du flux optique droit ω_{OFR} bloquée pendant 0.5s,

faute de nouvelle mesure de flux optique (ω_{OFR} ou ω_{OFL}). Ce délai passé, l'aéroglesseur devenu *aveugle* à droite, se met à suivre le mur de gauche, par suite du changement de signe de l'erreur ε (Fig.1).

4 Conclusion

Nos résultats de simulation montrent que le pilote automatique LORA permet à un aéroglesseur de naviguer automatiquement dans un corridor [10]. Toutes les tâches de navigation sont réalisées avec une même et unique boucle visuelle, qui est une boucle de *régulation du flux optique latéral*. LORA permet de naviguer à vitesse relativement élevée (1m/s), avec un système visuel minimaliste (seulement deux DEMs, chaque DEM utilisant deux pixels). Parmi les développements à venir de ce travail, la vision contrôlera également la vitesse sol, actuellement commandée en boucle ouverte. LORA est en cours de mise en oeuvre sur un aéroglesseur miniature. Le but de ces recherches est de concevoir un pilote automatique minimaliste pour micro-aéronef, qui lui permettrait de naviguer dans des environnements difficiles tels que les canyons urbains et les intérieurs de bâtiments.

Bibliographie

- [1] Blanes, C.. 1986. DEA de Neurosciences, Univ. Aix-Marseille II.
- [2] Coombs, D. And K. Roberts. 1992. Intelligent Robots and Computer Vision XI, SPIE, vol. 1825, 714-721.
- [3] Franceschini, N.; J.M. Pichon and C. Blanes. 1992. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, vol. 337, 283-294.
- [4] Franceschini, N.; A. Riehle and A. Le Nestour. 1989. In Facets of Vision, D.G. Stavenga, R.C. Hardie, Springer, Berlin, 360-390.
- [5] Kirchner, W.H. and M.V. Srinivasan. 1989. Naturwissenschaften, no. 76: 281-282.
- [6] Muratet, L.; S. Doncieux; Y. Briere and J-A. Meyer. 2005. Robotics and Autonomous System, vol. 50, Issue 4, 195-209.
- [7] Neumann, T.R. and H.H. Bülthoff. 2001. In Proceedings of the 6th European Conf. on Artificial Life ECAL 2001. Eds. J. Kelemen and P. Sosik, vol. 2159 of LNCS/LNAI, 627-636.
- [8] Ruffier, F. and N. Franceschini. 2005. Robotics and Autonomous Systems, vol. 50, Issue 4, 177-194.
- [9] Santos-Victor, J.; G. Sandini; F. Curotto and S. Garibaldi. 1995. Int. J. of Computers Vision, no. 14, 159-177 (March).
- [10] Serres, J.; F. Ruffier and N. Franceschini. 2005. In Proceedings of Int. Mediterranean Modeling Multiconference (Marseilles, France, Oct. 20-22). Accepted.
- [11] Weber, K.; S. Venkatesh and M.V. Srinivasan. 1997. In From Living Eyes to Seeing Machines. Srinivasan and S. Venkatesh, Eds. Oxford University Press, 226-248.
- [12] Viollet, S. and N. Franceschini. 1999. In Proceedings of SPIE Conf. on Sensor Fusion and Decentralized Control on Robotics II, Boston, U.S.A., 144-155.

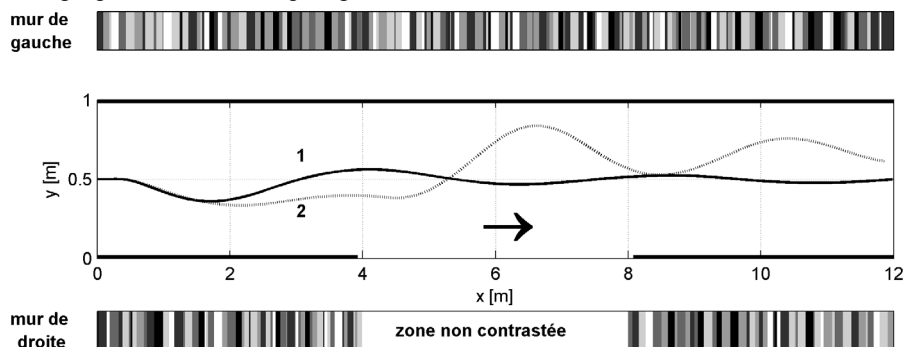


Figure 2. Effet d'une zone non contrastée sur deux trajectoires simulées avec une même vitesse sol (1m/s). Les deux murs sont recouverts de motifs avec une large plage de fréquences spatiales (de 0.069 c° à 0.87 c° le long de la ligne médiane $Y=0.5m$) et une large gamme de contrastes (de 3.2% à 18.6%). Sur la trajectoire 1 ($\omega_{SET} = 120^\circ/s$), l'aéroglesseur se centre. Sa trajectoire est à peine affectée par une zone non contrastée le long du mur de droite. Sur la trajectoire 2 ($\omega_{SET} = 170^\circ/s$), l'aéroglesseur se met à suivre le mur de gauche.