

Mobilité contrôlée dans les réseaux de drones autonomes

Problématique générale

On assiste à une utilisation de plus en plus courante des drones que ce soit pour des usages militaires, des usages commerciaux (par ex. Amazon) ou pour des usages de loisir. Les applications sont très variées allant de la surveillance civile et/ou scientifique à la surveillance d'urgence en passant par la recherche et le transport.

Il existe de multiples variétés de drones qui se distinguent par des principes de portance, par la taille, l'autonomie, la capacité d'emport, etc. Parmi ces différents drones, il y a les drones pilotés à distance et les drones autonomes. Les drones autonomes se développent de plus en plus, notamment sur le marché grand public. Parmi les avantages, on peut citer une prise en main (relativement facile) et un déploiement « large échelle » qui ne nécessite pas un pilote (même à distance) par drone. Très souvent, le drone autonome est envisagé dans un ensemble de drones qui vont coopérer pour réaliser une ou plusieurs tâches fixées. La coopération dans ce cadre peut avoir des objectifs variés : couvrir une plus grande zone de surveillance e.g. [3], pouvoir s'échanger le plus d'informations capturées, se déplacer dans une même direction (flocking), etc. La coopération est donc très dépendante des applications visées.

Dans cette thèse, nous nous intéresserons à la problématique suivante : déployer un ensemble de drones pour un objectif donné (à définir lors de la thèse, e.g. surveillance d'un territoire, poursuite d'un nœud mobile) et avec la capacité de transférer, en vol, les informations captées à un contrôleur au sol. Les communications de ces informations se feront grâce à une interface de communication, comme une carte IEEE 802.11 par exemple. Les cartes sans fil ayant une portée radio limitée, il est possible que les drones ne soient pas tous à portée radio du nœud de contrôle. Dans ce cas, il est nécessaire de maintenir une ou des chaînes sans fil multisauts de drones qui permettent les communications des drones éloignés vers les contrôleurs.

Une solution basée sur la notion de forces virtuelles permettant aux drones une mobilité contrôlée et autonome a été proposée dans [4]. Ce système de mobilité contrôlée permet le déploiement dynamique de chaînes sans fil multisauts lorsque c'est nécessaire. La solution proposée, et ses améliorations contextuelles [5,6], sont performantes pour construire des chaînes sans fil multisauts et pour assurer la connectivité au sein de ces chaînes. En revanche, si les performances des flux de petits débits sont correctes, les performances des flux à débits plus élevés (de quelques centaines de kb/s) sont décevantes. Ceci peut poser un problème pour certains flux, comme les flux vidéo par exemple.

Il a été montré dans [7] que le positionnement des nœuds au sein d'une chaîne sans fil multisaut a un impact déterminant sur les performances de bout-en-bout de la chaîne. La solution de mobilité contrôlée proposée dans [4] n'effectue pas un placement assez fin sur les drones pour tirer parti d'un bon positionnement des drones impliquant de bonnes performances pour les flux traversant la chaîne.

L'objectif de cette thèse est donc de mettre au point des solutions de mobilité contrôlée de drones autonomes qui répondent bien aux objectifs des applications visées

(surveillance, etc.) tout en permettant le transfert de flux d'informations, en vol, de n'importe quel drone vers un nœud de contrôle du réseau.

Programme de la thèse

Pour répondre aux objectifs fixés par cette thèse, nous pensons que la solution de mobilité contrôlée ne peut pas se baser que sur les interactions locales entre drones (e.g. forces virtuelles, phéromones [2]), mais qu'elle doit aussi s'appuyer sur les performances obtenues par les flux en transit. Deux approches seront étudiées dans cette thèse.

La première possibilité est de partir de la solution de mobilité contrôlée proposée dans [4] et basée sur la notion de forces virtuelles et d'y ajouter la prise en compte d'indicateurs locaux sur les performances des flux, comme, par exemple, le taux de pertes sur un lien ou le temps de service moyen sur un drone. La difficulté sera de traduire ces indicateurs en une ou des forces à intégrer dans le système initial de forces virtuelles. Cette étape se basera sur des modèles de performance de chaînes sans fil multisauts qui permettent de faire le lien entre les performances locales des flux et les performances de bout-en-bout, comme, par exemple, le modèle donné dans [7]. Nous comptons aussi nous inspirer des travaux publiés dans [8,9] qui s'intéressent à un positionnement adaptatif des robots au sein d'un réseau sans fil multisauts ou d'une chaîne multisaut. La position des robots est déterminée en fonction de paramètres de performances sur la qualité des liens radio, comme, par exemple, le RSSI (Received Signal Strength Indicator), le SNR (Signal-to-Noise Ratio) ou encore le délai. Si le contexte des robots est différent de celui des drones, ces approches peuvent être sources d'idées à poursuivre ou à ne pas considérer.

La deuxième possibilité est de se baser sur des mesures de performances des flux faites au niveau du nœud de contrôle. On peut aussi imaginer que les flux peuvent donner des indicateurs sur la position des drones au moment où ils les traversent ainsi que leur trajectoire. Le nœud de contrôle a alors différentes informations à sa disposition (sur les flux et sur les drones) dont il peut tirer parti pour re-paramétrer le système de mobilité contrôlé. Notons que, dans cette partie, le cœur de la solution de mobilité contrôlée n'est pas nécessairement basé sur un système de forces virtuelles, mais peut utiliser une approche plus adaptée à cette boucle de rétroaction impulsée par le nœud de contrôle. Pour cela, on s'intéressera aux techniques de planification pour la navigation multi-drone et les techniques d'optimisation [10,11]. Cette deuxième partie est, pour le moment, plus exploratoire que la première partie qui se fonde sur des travaux existants bien identifiés. Néanmoins cette deuxième partie nous semble importante car l'idée est de reposer sur une connaissance globale apportée par le contrôleur et sur des outils d'optimisation centralisée (au niveau du contrôleur) et distribuée (au niveau des drones) qui doivent nous guider vers des solutions efficaces.

L'évaluation des travaux sera menée tout d'abord à l'aide d'outils de simulation [3], nous permettant de tester un grand nombre de scénarios et d'établir des mesures statistiques des performances. Dans un deuxième temps on visera la mise en place d'un système expérimental. Il pourra être construit à l'aide de la flotte de drones Parrot Bibop 2 de l'équipe Chroma (laboratoire CITI), communiquant via la technologie WiFi.

Références de l'équipe sur le sujet et bibliographie

Les références en gras concernent les publications des deux équipes impliquées dans ce travail. Cela concerne les références [1-7].

- [1] M. Popescu, H. Rivano, O. Simonin, *Multi-robot Patrolling in Wireless Sensor Networks using Bounded Cycle Coverage*, **ICTAI 2016** 27th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, San Jose, USA, 2016.
- [2] O. Simonin, F. Charpillet, E. Thierry, *Revisiting wavefront construction with collective agents: an approach to foraging*, **Swarm Intelligence**, Springer Journal, Volume 8, Issue 2 (2014), Page 113-138, 2014.
- [3] F. Legras, A. Glad, O. Simonin, F. Charpillet, *Authority Sharing in a Swarm of UAVs: Simulation and Experiments with Operators*, **SIMPAR 2008** International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots, LNAI 5325, pp. 293-304, S. Carpin et al. (Eds) Springer-Verlag, 2008.
- [4] L. Reynaud and I. Guérin Lassous, *Design of a force-based controlled mobility on aerial vehicles for pest management*, **Ad Hoc Networks** (Elsevier), vol 53, December 2016.
- [5] L. Reynaud and I. Guérin Lassous, *Physics-Based Swarm Intelligence for Disaster Relief Communications*, **AdHoc-Now**, 2016.
- [6] L. Reynaud and I. Guérin Lassous, *Improving the performance of challenged networks with controlled mobility*, **Adhocnets**, 2016.
- [7] T. Begin, B. Baynat, I. Guérin Lassous and T. Abreu, *Performance analysis of multi-hop flows in IEEE 802.11 networks: A flexible and accurate modeling framework*, **Performance Evaluation** (Elsevier), vol 96, 2016.
- [8] K. Miranda, E. Natalizio, and T. Razafindralambo, *Adaptive Deployment Scheme for Mobile Relays in Substitution Networks*, **International Journal of Distributed Sensor Networks (IJDSN)**, 2012.
- [9] Karen Miranda, Nathalie Mitton and Tahiry Razafindralambo, *On the Impact of Routers' Controlled Mobility in Self-Deployable Networks*, **ADAPTIVE**, 2015.
- [10] Brian P. Gerkey, Sebastian Thrun, Geoff Gordon, *Parallel Stochastic Hill-Climbing with Small Teams*, **Multi-Robot Systems**. From Swarms to Intelligent Automata Volume III, Chapter, pp 65-77, 2005.
- [11] Zhi Yan, Nicolas Jouandeau, Arab Ali Cherif, *A Survey and Analysis of Multi-Robot Coordination*, **International Journal of Advanced Robotic Systems**, Volume: 10 issue: 12, 2013.