

Offre de thèse Pilotage de drone augmenté en situation critique

1. **Objet de la thèse**

Dans cette thèse, nous souhaitons montrer que les feedback adaptatifs apportent une meilleure précision pour la formation au pilotage de drone déporté en environnement virtuel. Aussi, nous voulons, d'une part, valider notre hypothèse quant à des augmentations visuelles adaptatives pour le pilotage visant globalement à libérer l'utilisateur. D'autre part, nous voulons montrer qu'il est actuellement possible de mettre en œuvre un système technique relativement simple pour cette formation.

2. **Descriptif de la thèse**

L'utilisateur peut en effet redouter de piloter le drone dans des situations complexes de type évitement d'obstacles, suivi de trajectoires complexes à fortes variations, événements imprévus, reprise en main du drone semi autonome, etc. La vue en première personne classiquement utilisée, pour le pilotage, rend difficile la prise de conscience de l'environnement. L'usage de la réalité virtuelle pour la formation au pilotage de drone dans ce contexte peut être utile car elle permet d'anticiper et de corriger les erreurs dues au système. En effet le pilotage est souvent peu précis et ne tient pas compte des erreurs telles que la défaillance du drone (baisse d'énergie, erreurs dans les captures de position et orientation) donnant des erreurs de trajectoire.

Bien que l'automatisation des robots évolue vite, l'intelligence artificielle de ces derniers reste encore assez limitée. Et ce, au regard des besoins et risques inhérents au domaine militaire. Aussi, les robots militaires sont-ils encore majoritairement téléopérés (Fong & Thorpe 2001; Vertut 2013; Martinic 2014). En télé-opération, le pilote dirige le robot à distance grâce à un joystick couplé à un retour visuel provenant de caméras embarquées. Souvent, l'objectif est de permettre à l'opérateur de se sentir comme présent à l'intérieur du robot qu'il pilote (inside-out piloting). L'effet de télé-présence peut être augmenté en créant un poste de pilotage simulant un cockpit d'avion (Canan 1999) ou en asservissant l'orientation des caméras sur l'orientation de la tête du pilote (Gage 1995).

Les interfaces utilisant un plan de navigation sont une application du principe de supervision à la problématique du pilotage de robot (Cameron et al.1987; Kay 1995). Il s'agit de définir, en préparation de mission, un itinéraire composé de points de passages géo-référencés (GPS) et successifs sur une vue de la zone à explorer. Un point stratégique sécurisé, appelé base, peut également être défini pour indiquer au drone où retourner en cas d'avarie. Cependant il est aujourd'hui très difficile de piloter un drone en situation critique avec une simple interface conçue pour le jeu vidéo (joystick, écran de

contrôle). Si la commande de drone a considérablement évolué ces dernières années, celle du pilotage est dramatiquement réduite et pose de nombreux problèmes.

Objectifs généraux et les perspectives au-delà de la thèse proprement dite

Nous souhaitons explorer les avantages du déport de ce pilotage en environnement virtuel en troisième personne afin de permettre à l'utilisateur de prendre conscience de façon plus complète des risques de pilotage et des erreurs de trajectoires du drone par rapport à la commande proposée en reproduisant l'environnement réel, le drone réel et son comportement en temps réel. On parle alors de « cognition augmentée » [DARPA, The context machine 2001]. Une première étude a été réalisée au laboratoire Heudiasyc de façon à représenter par un drone virtuel le drone réel (connexion des plateformes CAVE et Arène intérieure à drones). Dans cette étude, le drone virtuel est commandé par une interface 3D intuitive NUI (Natural User Interface), un « fantôme » du drone réel est également représenté, et l'utilisateur voit le décalage en temps réel entre sa commande et la position du drone dans l'espace 3D. La difficulté est donc d'anticiper sur la position future du drone réel, tout en tenant compte de la situation critique. Pour cela nous avons proposé une planification de mission par la création d'un itinéraire virtuel.

Dans la thèse proposée, nous nous proposons d'explorer un mode de formation au pilotage à distance en immersion dans un environnement virtuel dans un contexte hautement critique afin de rendre l'utilisateur conscient des risques par une interaction informée permettant des assistances implicites ou explicites pour obtenir un geste de pilotage parfaitement efficace.

Cette interaction informée/ intelligente prend en compte la complexité de la situation, les éléments perturbateurs ou hostiles, la reprise en main du drone semi autonome, le recalage automatique de la visualisation en troisième personne, l'état de l'utilisateur au travers d'un couplage fort entre système et humain.

Cette étude doit donc être abordée selon deux axes complémentaires : 1) le guidage pour la formation au pilotage de drone en situation critique, avec reprise en main suite à une défaillance du drone réel, ou à une ambiguïté dans la situation (drone virtuel connecté au drone réel), 2) l'évaluation de ce mode de formation au pilotage de drone à distance. Une première évaluation du modèle est prévue dans une salle immersive de type CAVETM connecté à une arène à drones afin de contrôler les paramètres et d'obtenir une grande variabilité de situations. Une seconde validation après transposition du modèle est prévue en mode simplifié avec un casque de RV.

Dans une situation critique telle que la situation de crise de Fukushima, ou lors de la téléopération de robots ou drones pour neutraliser un terroriste ayant des otages sans engager des soldats ou gendarmes, la formation au pilotage augmenté pourrait permettre une meilleure précision. Il est à prévoir par ailleurs que le temps réel soit autorisé dans le futur afin de piloter en réalité mixte des drones réels, ce qui implique la connaissance a priori des terrains, et apporterait une performance et une précision importante dans le pilotage.

3. Programme de la thèse

Le travail du doctorant sera centré sur l'interaction informée en environnement virtuel, la partie robotique étant déjà traitée par une autre doctorante du laboratoire. Les plateformes de réalité virtuelle (Cave TRANSFILE) et casque de RV (HTC VIVE) et volières à mini drones en intérieur et en extérieur sont déjà connectées grâce à des travaux d'ingénierie mis en place actuellement. La thèse consistera à déterminer et valider les métaphores adaptatives de guidage du drone réel en milieu fermé (volière intérieure).

Nos travaux explorent le concept de l'interaction informée, avec des aides visuelles, sonores, tactiles dynamiques en environnement virtuel [1][2]. La première étape du travail va consister à déterminer pour chaque erreur entre la commande de position effectuée par le drone virtuel et la position réelle mesurée, les métaphores pertinentes à concevoir et développer. Le pilotage peut être vu comme manipulation d'un objet virtuel en environnement virtuel. Dans cette double navigation synchrone, plusieurs problèmes peuvent apparaître : instabilité du drone réel, mauvaise interprétation de la navigation en environnement virtuel par la station au sol, perte d'énergie du drone réel au fur et à mesure de la navigation, disparition ou apparition d'un élément perturbateur dans la navigation.

Poupyrev et Ichikawa s'intéressent à la place de l'utilisateur humain dans cette interaction et non pas à l'action qui en découle [Poupyrev and Ichikawa, 1999]. Ils distinguent alors les métaphores égocentriques des métaphores exocentriques. Une vue à la première personne de l'environnement virtuel par exemple est une vue égocentrique. Les métaphores égocentriques sont quant à elle centrée sur l'utilisateur. Une vue exocentrique sera par exemple la représentation du monde sous la forme de carte ou d'un monde en miniature.

Oppermann qualifie un système d'adaptable lorsqu'il peut être paramétré par l'utilisateur afin de se comporter selon les préférences de ce même utilisateur. Par exemple, certaines personnes préfèrent avoir des feedbacks sur leurs performances pendant qu'elles réalisent l'action, tandis que d'autres voudront avoir des retours uniquement à la fin. Un système adaptable permettrait de choisir entre les deux types de feedback avant de commencer l'exercice. En revanche, il sera adaptatif s'il s'adapte au comportement des différents utilisateurs sans que ces derniers n'aient besoin de paramétrer le système. Ce dernier apporte un confort à l'utilisateur dont les préférences seront déterminées par le système. En outre, cela permet une plus grande flexibilité et une plus grande souplesse en tenant compte du contexte utilisateur, ce qui dans le cadre d'un apprentissage de pilotage, permet de différencier les retours proposés en fonction du niveau d'expertise. Un novice n'aura pas les mêmes feedbacks qu'un expert et les recevra à des fréquences différentes.

Dans le paradigme de l'énaction, l'humain qui interagit avec son environnement via un dispositif de couplage, perçoit des sensations en retour de ses actions, et va donc adapter son comportement et/ou ses gestes en conséquence. Ses actions sont ainsi guidées par sa perception qui, dans cette approche, ne peut exister sans le couplage action-sensation issu de la boucle sensorimotrice de la perception proposée par [Lenay, 2006]. Thouvenin rappelle néanmoins que ce n'est pas l'interface qui est énaactive, mais bien l'humain qui rend le monde énaactif par le biais d'une interface [Thouvenin, 2009]. En outre, De Loor et al. soulignent que ce paradigme convient bien au domaine de la réalité virtuelle (et l'intelligence artificielle) puisqu'il y est possible de modéliser une boucle énaactive comprenant le système et l'interaction entre celui-ci et l'humain [De Loor et al., 2008].

L'approche scientifique que nous considérons ici est de prendre en compte les défaillances du drone dans sa représentation virtuelle (« drone fantôme ») et de donner à l'utilisateur une meilleure compréhension du comportement du drone réel lors d'une planification de trajectoire et du suivi de cette trajectoire, en environnement virtuel. L'apport scientifique attendu de la thèse est un modèle intelligent permettant de se former au pilotage de drone dans trois situations qui sont i) la situation de planification et suivi avec erreurs dues aux défaillances du drone, ii) la situation où un obstacle se présente dans la réalisation de la trajectoire, sans défaillance du drone, iii) la situation où un obstacle se présente et une défaillance du drone se produit. La notion de défaillance est liée à celle de la situation critique : capteurs imprécis, chaleur forte, explosions, obstacles non évités...

Les premiers travaux réalisés permettent la manipulation d'un drone virtuel de commande (interface de commande NUI dans le CAVE™) avec une visualisation du « drone fantôme » représentant l'état

du drone réel. Le système dispose d'un protocole de communication entre la NUI et le drone. Les commandes transmises au drone ne doivent pas mettre en danger l'appareil.

Les équipements et logiciels développés par le laboratoire Heudiasyc sont pour la partie drones, le Framework FI-AIR (dont une classe cpp de communication UDP), une API de contrôle de drone par Unity et pour la partie Cave, un framework qui contient des objets Unity permettant de faire la liaison CAVE/Unity (TransOne).

Les étapes de la thèse sont les suivantes.

1. Etat de l'art sur la formation au pilotage de drone en situation critique, sur les feedback adaptatifs pour la formation au pilotage augmenté de drone et sur les défaillances des drones, écriture d'un rapport et publication d'un article de synthèse sur le sujet.
2. Modélisation de la conscience de la situation, des obstacles, des éléments de la scène réelle/virtuelle en environnement virtuel afin de réaliser un modèle de décision intégrant les niveaux de risque [3]. La conscience de la situation par le système sera traduite en terme d'environnement virtuel par des retours sensoriels adaptatifs pour le pilote. Un rapport et un article sur la modélisation seront produits.
3. Conception et implémentation des métaphores d'interaction et de visualisation (augmentations) adaptatives en environnement virtuel permettant de guider le geste de pilotage. Un rapport et un article sur les métaphores intelligentes seront produits.
4. Validation de ces métaphores intelligentes en réalisant des expérimentations sur un scénario de situation critique pour le drone réel en milieu fermé. Pour cela il sera nécessaire de s'appuyer sur les deux plateformes et équipes du laboratoire (RV et Drones).
 - a. Expérimentations dans le CAVE sur des simulations de trajectoires de drones
 - b. Expérimentations en temps réel dans le CAVE connecté à l'arène intérieure
 - c. Analyse des résultats et écriture de publications
5. Développement en mode simplifié sur casque Vive avec interaction STEAM VR à partir de ces résultats, et application aux mêmes données acquises en arène intérieure, avec drone en milieu fermé, analyse des résultats sur données recueillies. Un rapport et un article sur la transcription de la formation au pilotage seront produits.
6. Rédaction du mémoire et soutenance, écrire d'un article de revue internationale.

Dans les expérimentations, différentes situations pourront être testées incluant les risques précédemment cités et les défaillances donnant lieu aux erreurs de pilotage en formation.

4. Références

Florian Jeanne, Yann Soullard, Ali Oker, Indira Thouvenin:

EBAGG: Error-Based Assistance for Gesture Guidance in Virtual Environments. ICALT 2017: 472-476

Minh Tien Phan, Indira Thouvenin, Vincent Frémont:

Enhancing the driver awareness of pedestrian using augmented reality cues. ITSC 2016: 1298-1304

Loïc Fricoteaux, Indira Thouvenin, Daniel Mestre:

GULLIVER: A decision-making system based on user observation for an adaptive training in informed virtual environments. Eng. Appl. of AI 33: 47-57 (2014)