



**HAL**  
open science

## Robustesse de la planification de trajectoire d'un drone en environnement 3D

Kendric Ruiz, Pierre Melchior, Stephane Victor, Serge Chaumette

► **To cite this version:**

Kendric Ruiz, Pierre Melchior, Stephane Victor, Serge Chaumette. Robustesse de la planification de trajectoire d'un drone en environnement 3D. Journées Doctorales et Journées Nationales du GDR MACS (JD-JN-MACS 2019), Jun 2019, Talence, France. hal-02176261

**HAL Id: hal-02176261**

**<https://hal.science/hal-02176261>**

Submitted on 8 Jul 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NOM ET PRENOM DES AUTEURS RUIZ Kendric, MELCHIOR Pierre, VICTOR Stéphane, CHAUMETTE Serge  
 ETABLISSEMENT / LABORATOIRE **Université de Bordeaux / IMS / LaBRI**

TITRE DE LA PRESENTATION

**Robustesse de la planification de trajectoire d'un drone en environnement 3D**

**BLOC DISCIPLINAIRE**

*Indiquer la discipline à laquelle vos travaux appartiennent – 1 choix possible*

- Automatique  Systèmes de production

**CLASSES DE SYSTEMES**

*Plusieurs choix possibles*

- Systèmes dynamiques  Systèmes à événements discrets  
 Systèmes EDP  Systèmes de systèmes  
 Systèmes non linéaires  Systèmes stochastiques  
 Systèmes hybrides  Systèmes Homme Machine

**THEMATIQUES**

*Plusieurs choix possibles*

- Connaissances - Compétences  Conception – Cycle de vie  
 Modélisation - Simulation  Observations – Contrôle / Commande  
 Identification  Optimisation – Robustesse - Performance  
 Aide à la décision  Ordonnancement – Pilotage  
 Systèmes d'information  Apprentissage - IA  
 Diagnostic – Pronostic – Maintenance – Sûreté de fonctionnement - Supervision  
 Autre (préciser ci-dessous)

**Saisir la thématique**

**ENJEUX SOCIETAUX**

*Plusieurs choix possibles*

- Numériques (lot, réseaux, ...)  Robotique  
 Transports  Industrie 4.0  
 Energie  Développement Durable  
 Bio(techno)logie et santé  Service  
 Intelligence artificielle (au sens de sa diffusion dans la société)  
 Autre (préciser ci-dessous)

**Saisir un enjeu sociétal**

**INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES**

*Si nécessaire*

I - Introduction

Les drones sont beaucoup étudiés depuis ces dernières années car leurs domaines d'applications sont de plus en plus nombreux [1] : missions de surveillance, de patrouille, d'exploration, de sauvetage, de transport... De plus, on souhaite, pour des raisons de praticité et de coût, que les drones effectuent des missions de manière de plus en plus autonome, ce qui fait croître leur complexité et nécessite donc une pluridisciplinarité d'expertise : automatique, informatique, interaction (capteurs), réseau...

Nous avons identifié deux grandes catégories de missions avec les problématiques de planification de trajectoire associées :

- les missions d'exploration en intérieur, le drone devant construire une carte de l'environnement dans lequel il navigue ; l'appareil évolue donc dans un environnement inconnu et peut alors être confronté à une perte du GPS (rarement disponible en intérieur) et à des obstacles dangereux ;
- les missions de surveillance ou de livraison. Dans ce cas la planification de trajectoire est facile à réaliser car les zones dangereuses, interdites au survol, sont connues par avance. Cependant le drone peut être confronté à des obstacles non prévus, par exemple un autre drone ou un immeuble, voire un piéton lors de l'atterrissage et il doit être capable de réagir rapidement afin d'éviter toute collision.

Dans toutes ces missions, il existe des dangers pour le drone, la gestion de trajectoire doit donc être robuste à tout type d'aléa. La notion de robustesse se situe à trois niveaux : au niveau du suivi de trajectoire malgré des incertitudes paramétriques liées au drone (variation de masse ou de toute autre caractéristique) ; au niveau de la poursuite de trajectoire malgré les perturbations de l'environnement (obstacles, vent...) ; au niveau de la perte de certains signaux (GPS, capteurs...).

Cet article s'adresse sur les deux premiers points de robustesse listés ci-dessus, à savoir la planification de trajectoire. La planification de trajectoire est au cœur du problème pour un drone autonome, sur le schéma d'architecture de la figure 1, nous pouvons en voir les principales composantes.

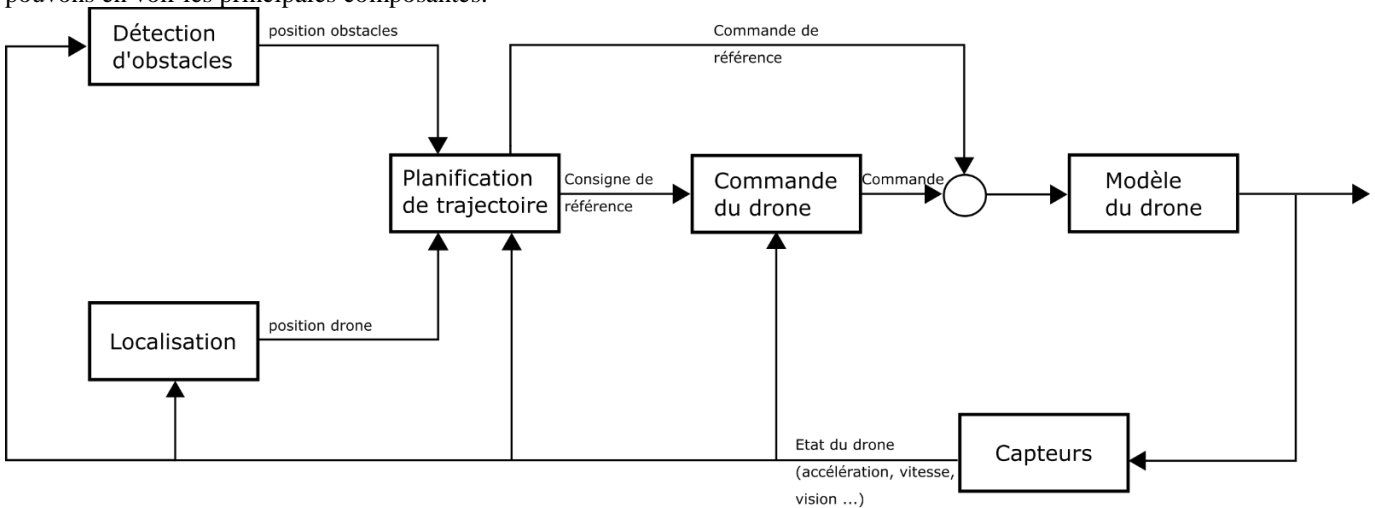


Figure 1 - Schéma d'architecture de commande d'un drone

II – Robustesse vis-à-vis des incertitudes paramétriques

Pour pallier les incertitudes paramétriques, nous redéfinissons le champ de potentiel. Pour mémoire, la méthode des champs de potentiel [2] est une méthode de planification de trajectoire largement utilisée en robotique car elle est très réactive. Le robot, vu comme une particule, est attiré par la cible, et est rejeté par les obstacles. Il y a donc 2 champs qui sont définis : l'un attractif et l'autre répulsif. Nous redéfinissons ces deux champs déjà bien étudiés dans la littérature en potentiel fractionnaire (basé sur la dérivée non entière), étendus dans un environnement 3D.

C'est dans la nouvelle définition du champ attractif que l'incertitude paramétrique du drone est prise en compte.

$$C_{att}(s) = \left( \frac{\alpha_p + \alpha_v s}{1 + \frac{s}{\omega_c}} \right)^{n_{att}} = C_0 \left( \frac{1 + \frac{s}{\omega_b}}{1 + \frac{s}{\omega_h}} \right)^{n_{att}}$$

Le potentiel attractif peut être interprété comme un régulateur robuste, tel que présenté en Figure 2.

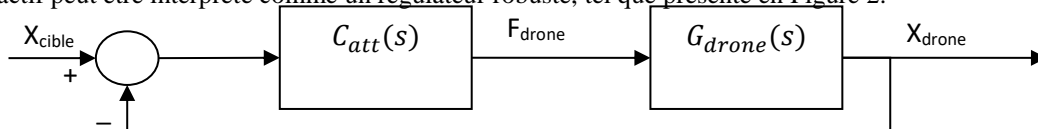


Figure 2 - Interprétation dynamique de la force attractive fractionnaire

$C_0$ ,  $\omega_b$  et  $\omega_h$  sont les paramètres d'un régulateur fractionnaire PD. Dans cette approche, la boucle ouverte est caractérisée par un gabarit fréquentiel idéal vertical, ce qui signifie que les variations de la masse du drone conduisent à une robustesse du degré de stabilité (robustesse de la marge de phase). Dans le régulateur CRONE [3], une telle robustesse nous permet d'avoir un iso-amortissement. Ainsi cette force attractive fractionnaire assure une planification robuste de la trajectoire.

### III – Robustesse vis-à-vis des perturbations de l'environnement

Selon le type d'obstacle et/ou la dangerosité de l'environnement (vent violent), il est possible de définir des niveaux de danger. En partant de la définition basée sur l'intégration généralisée de Weyl [4], il est possible de définir le champ potentiel répulsif généralisé suivant (voir Figure 3) :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \forall r \in [0, r_{min}], & U_n(r) = 1 \\ \forall n \in [0, 2[ \cup ]2, +\infty[, \forall r \in [r_{min}, r_{max}], & U_n(r) = \frac{r^{n-2} - r_{max}^{n-2}}{r_{min}^{n-2} - r_{max}^{n-2}} \\ n = 2, \forall r \in [r_{min}, r_{max}], & U_n(r) = \frac{\ln(r_{max}) - \ln(r)}{\ln(r_{max}) - \ln(r_{min})} \\ \forall r > r_{max}, & U_n(r) = 0 \end{array} \right.$$

où selon l'ordre d'intégration  $n \in \mathbb{R}^+$ , la courbe du potentiel est modifiée en fonction de la distance et de la dangerosité de l'obstacle, permettant d'avoir une courbe d'évitement plus ou moins douce face aux différents obstacles.

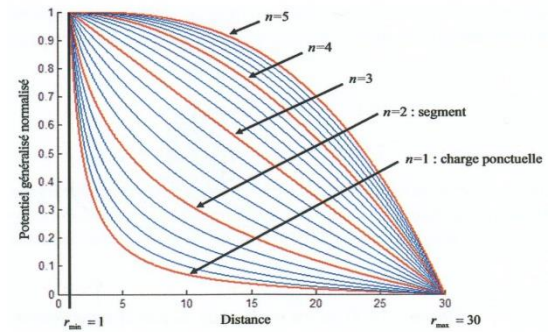


Figure 3 - Profil du champ de potentiel généralisé

### IV – Robustesse vis-à-vis des signaux

L'autonomisation d'un drone repose sur le fait que ce drone peut se localiser à l'aide principalement de son compas et de son GPS. Cependant, les drones sont soumis à des interférences électromagnétiques (dues par exemples aux lignes électriques, aux émetteurs ou stations radio...) empêchant la bonne réception du signal GPS, ce qui peut provoquer le problème de "flyaway".

A l'heure actuelle, ce phénomène ne peut être évité bien qu'il existe des solutions de diagnostic des informations de signal [5]. Par contre, il n'existe actuellement pas de moyen algorithmique pour palier à une perte de signal en analysant ce que le drone reste capable de faire. Néanmoins, on pourrait imaginer par exemple qu'en cas d'une mauvaise réception GPS ou bien d'une perte totale de celui-ci, on puisse se localiser à l'aide de méthode d'odométrie visuelle, de SLAM ou bien simplement (mais de manière dégradée) à l'aide de la centrale inertielle de l'appareil. Nous avons récemment débuté l'étude de ce troisième volet de la robustesse de trajectoire, mais ce point n'est pas suffisamment avancé pour être traité ici.

### V – Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté les champs de potentiel fractionnaires qui permettent :

- de prendre en compte la dangerosité des obstacles (voir Figure 4) et d'être réactif afin de les éviter ;
- d'évoluer dans un environnement 3D ;
- de planifier une trajectoire par une approche automatique en générant consigne et commande ;
- d'être robustes sur les 2 premiers des 3 points présentés en introduction (incertitudes paramétriques, perturbations et signaux).

Ces points sont toujours en cours d'étude pour les deux premiers volets et en pré-étude pour le troisième.

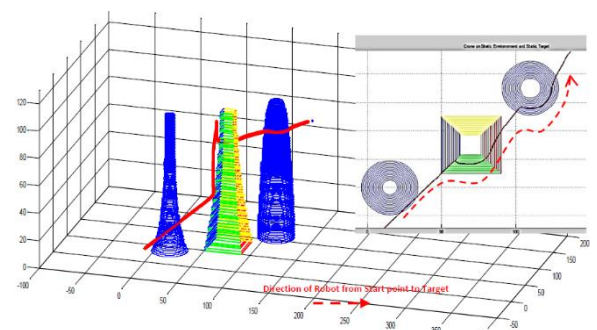


Figure 4 - Planification de trajectoire à l'aide du champ de potentiel fractionnaire

- [1] P. Bouvry *et al.*, "Using heterogeneous multilevel swarms of UAVs and high-level data fusion to support situation management in surveillance scenarios," in *2016 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI)*, 2016, pp. 424–429.
- [2] O. Khatib, "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," in *Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 2, pp. 500–505.
- [3] P. Melchior, B. Orsoni, A. Oustaloup, T. Badie, and G. Robin, "Non-Integer Motion Control: Application to an XY Cutting Table," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 33, no. 26, pp. 327–332, Sep. 2000.
- [4] P. Melchior, B. Orsoni, and A. Oustaloup, "Weyl fractional potential in path planning," in *Control Conference (ECC), 2001 European*, 2001.
- [5] N. A. White, P. S. Maybeck, and S. L. DeVilbiss, "Detection of interference/jamming and spoofing in a DGPS-aided inertial system," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 34, no. 4, pp. 1208–1217, 1998.

