



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



Master Informatique

“State of art on UAV trajectory planning with communication constraints”

Rapport

En vue de la validation de l'UE Initiation à la recherche

Année 2018-2019

Étudiants :
Cyril BASILE
Alexandre BENNOUR
Benjamin MAHR

Enseignant :
Enrico NATALIZIO

DÉCHARGE DE RESPONSABILITÉS

L'Université de Lorraine n'entend donner ni approbation ni improbation aux opinions émises dans ce rapport, ces opinions devant être considérées comme propres à leur auteur.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de notre travail et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce rapport. Tout d'abord, nous tenons à remercier vivement notre encadrant, Monsieur Enrico NATALIZIO, enseignant chercheur au LORIA, pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien. Grâce aussi à sa confiance, nous avons pu nous accomplir totalement dans notre mission. Il fut d'une aide précieuse dans les moments les plus délicats. Ensuite, nous adressons nos remerciements à notre enseignante de communication, Madame Marie-Laure ALVES qui nous a beaucoup aidés. Son écoute et ses conseils nous ont permis de progresser dans l'écriture de ce rapport. Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont conseillés et relus lors de la rédaction de ce rapport : parents, camarades.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
DÉVELOPPEMENT	2
PARTIE I : Analyse du problème	2
1/ Etat des lieux	2
2/ Les Contraintes de réalisation	3
PARTIE II : Démarche Scientifique.....	5
1/ Méthodologie	5
2/ Travaux effectués.....	6
3/ Problèmes rencontrés.....	9
PARTIE III : Résultats	11
1/ Solutions.....	11
2/ Applications	14
CONCLUSION	15
ANNEXES	16
BIBLIOGRAPHIE	21
GLOSSAIRE	26
Déclaration sur l'honneur contre le plagiat 1	27
Déclaration sur l'honneur contre le plagiat 2	28
Déclaration sur l'honneur contre le plagiat 3	29
RÉSUMÉ.....	31

INTRODUCTION

De nombreux scientifiques supposent que nous évoluerons dans un univers totalement connecté, au cours de la prochaine décennie. Nos habitudes seront ainsi bousculées par des changements, parfois, radicaux. Les tâches manuelles, répétitives, fatigantes ou dangereuses seront petit à petit effectuées par les robots. Par exemple, des drones, plus connus sous le nom d'UAVs, Unmanned Aerial Vehicle, voleront de manière autonome dans le ciel pour accomplir ces tâches. Pour se déplacer le plus efficacement possible, ils devront planifier leur trajectoire en temps réel pour s'adapter à un environnement dynamique. Cette avancée technologique permettrait d'améliorer un bon nombre de domaines. En effet, il existe une multitude d'applications possibles comme, par exemple, dans le domaine logistique avec la simple livraison de colis. Un UAV seul a la capacité de soulever une masse de quelques kilos pour les modèles les plus performants. Cela peut être problématique, mais grâce à la synchronisation de plusieurs UAVs, les charges soulevées peuvent augmenter fortement. Le challenge réside ici dans la coordination des robots pour atteindre cet objectif. Dans le domaine de la protection des civils, les UAV pourraient se déplacer dans la ville et surveiller des attitudes suspectes ou mettant en danger la vie d'autrui. L'UAV peut capturer des photos de ces scènes et ces clichés pourront servir de preuves devant la justice. Ces robots sont également capables de se déplacer afin de retrouver un fugitif à l'aide de la reconnaissance faciale et ainsi transmettre sa position aux forces de l'ordre. Il existe encore tant d'autres applications possibles qui justifient l'utilisation d'UAV ne serait-ce que dans le domaine militaire. Ces nombreuses et diverses applications présentent des scénarios complexes avec des fonctionnalités très dynamiques.

Ces scénarios complexes soulèvent par conséquent de nombreux problèmes à différentes échelles. Un des problèmes fondamentaux du contrôle de la flotte d'UAV est la planification des trajectoires. Elle caractérise ici la planification du déplacement d'un UAV au cours du temps et est définie par un chemin et une loi d'évolution continue. Historiquement, deux domaines ont contribué aux méthodes de planification de trajectoire ou de mouvements : la robotique et la dynamique accompagnée du contrôle. Cependant, comme les UAVs sont aussi des dispositifs de communication, la planification de la trajectoire doit nécessairement prendre en compte les contraintes de communication et de réseau. Plusieurs études ont proposé des solutions à des problèmes spécifiques en tenant compte de différentes contraintes de communication.

Ainsi, nous pouvons synthétiser, fournir un état de l'art de la planification de trajectoires d'UAVs en y incluant les contraintes de communication et de mise en réseau, à partir des travaux les plus récents. Nous allons donc, grâce aux informations recueillies, effectuer une classification des problèmes et des solutions empiriques pour une flotte d'UAVs, afin de maintenir la connectivité inter-flotte en particulier, ainsi que la communication avec un opérateur externe. Nous devons néanmoins considérer la méthodologie de l'étude, le type de technique utilisée pour le résoudre ou encore les technologies utilisées pour la partie réseau.

Pour réaliser ces travaux, nous présenterons dans une première partie, une analyse claire du problème avec notamment un état des lieux et les contraintes liées à notre sujet. Dans la deuxième partie, nous aborderons la démarche scientifique que nous avons suivie et plus précisément la méthodologie et la gestion du travail en équipe. Nous détaillerons également dans cette partie le travail réalisé ainsi que les problèmes rencontrés. Enfin, la dernière partie de notre rapport correspond aux résultats de notre travail qui viendront présenter les solutions et l'évaluation de la faisabilité de celles-ci. Nous proposerons également, pour finir, les recherches futures et les différents points qu'ils restent encore à améliorer et les problèmes qu'il faudra contourner pour y parvenir.

DÉVELOPPEMENT

PARTIE I : Analyse du problème

Dans cette première partie, après une mise en contexte, nous définirons quelques notions importantes pour la compréhension de ce rapport puis nous commencerons par faire un état des lieux de ce qui nous est demandé au travers de notre problématique et des ressources mises à notre disposition. Enfin, nous détaillerons les contraintes qui tournent autour de cette problématique et les difficultés que cela pourra engendrer.

1/ Etat des lieux

Depuis la mondialisation, le trafic routier ne fait qu'augmenter. Malgré les restructurations et la construction de nouvelles portions d'autoroutes, le trafic reste surchargé. Les conséquences sur certaines pratiques comme la livraison de colis sont directement impactées ce qui entraîne souvent une perte de profit et des retards de livraisons. Nous pouvons faire un autre constat, nous vivons dans un environnement hyper connecté. Les voitures autonomes, les villes intelligentes, les enceintes connectées en sont des exemples concrets. Pour satisfaire ces besoins, nous devons disposer d'une connexion réseau toujours plus rapide et disponible à tout moment.

Face à ces problèmes, les Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) ont vu le jour. Ce sont des aéronefs qui ne possèdent pas de pilote. Nous les connaissons également sous le nom de "drones". Les UAVs peuvent être contrôlés manuellement à distance ou naviguer en total autonomie avec pour objectif d'accomplir la mission qui leur a été assignée. Ils peuvent avoir un usage civil, transport de colis, prise de photos, loisirs ou un usage militaire pour de l'espionnage, du déminage, ou encore pour maintenir une bonne couverture réseau. La petite taille et le faible coût de ces appareils volants sont responsables d'un tel engouement. En effet grâce à cela, les UAVs ont la possibilité d'accéder à des endroits très étroits, accidentés ou dangereux et apportent une aide précieuse pour certaines situations comme les recherches en décombres ou pour la récupération d'informations sur un incendie. Les drones peuvent communiquer entre eux pour se coordonner mais également communiquer avec la base située au sol pour lui transmettre des informations. Toutes ces nouveautés ont donné lieu à des recherches de plus en plus poussées.

Au cours de cette première année de Master Informatique à la Faculté des Sciences et Technologies de Nancy, les étudiants doivent participer à l'Unité d'Enseignement "Initiation à la Recherche" visant à familiariser l'étudiant avec les méthodologies, l'organisation, la consultation et rédaction de documents scientifiques liés à l'univers de la recherche et enfin à effectuer un travail d'équipe en utilisant des outils spécifiques. Les étudiants choisissent un sujet d'initiation à la recherche parmi ceux proposés par les différentes équipes du laboratoire de recherche, le LORIA. Passionnés par le réseau et les nouvelles technologies nous avons choisi le sujet proposé par Monsieur NATALIZIO, enseignant-chercheur intitulé "State of art on UAV trajectory planning with communication constraints".

L'objectif de ce sujet est de rédiger une revue scientifique sur l'état de l'art de la planification de trajectoires des UAVs en mettant l'accent sur la partie technique de la communication réseau. Notre équipe est composée de 3 étudiants, Cyril BASILE, Alexandre BENNOUR et Benjamin MAHR. Notre encadrant, Monsieur NATALIZIO nous a fourni de nombreuses ressources à consulter. Nous avons également l'autorisation de télécharger des revues scientifiques et la possibilité d'emprunter des livres à la bibliothèque universitaire pour étoffer nos travaux. Notre encadrant nous a également convié à une réunion conférence à l'occasion de la journée scientifique de la fédération Charles

Hermite, le 12 décembre 2018 au bâtiment Maths Elie Cartan de la Faculté. Cette journée nous a apporté des idées et des pistes à suivre pour la réalisation de notre revue scientifique mais cela nous a également donné un aperçu des difficultés que l'on pourra rencontrer.

2/ Les Contraintes de réalisation

Notre problématique touche à plusieurs domaines, la robotique, l'intelligence artificielle et de l'algorithmique. Chacun de ces domaines est un vaste sujet qui possède un très grand nombre de revues scientifiques. De ce fait, une des difficultés est d'éviter de trop détailler certains points au détriment d'autres et de perdre le lecteur avec autant d'informations. Nous nous devons de trouver un équilibre entre ces vastes domaines. L'objectif est de rédiger une revue scientifique qui a un intérêt pour la communauté de la recherche, pour cela nous avons dû réaliser un résumé de toutes les informations qui sont connues à ce jour sur notre problématique de manière synthétique en respectant le format nécessaire à la rédaction d'une revue. Nous avons également dû faire face au manque d'informations concernant certains sujets.

En effet, certaines technologies viennent de voir le jour et les chercheurs n'ont pas encore publié de revue à ce propos. Nous devons donc nous baser sur les rares documents trouvés à ce sujet. De plus, certains documents laissent penser au premier abord qu'ils nous seront utiles pour notre collecte d'informations malheureusement, si un paramètre varie, toutes les informations autour peuvent ne pas s'appliquer à notre problématique. Par exemple dans certains documents, l'étude se déroule en milieu aquatique ou terrestre. De ce fait, les technologies et les algorithmes utilisés peuvent différer. Nous avons également trouvé des informations concernant un environnement 2D mais qui ne peuvent pas s'appliquer à notre environnement 3D.

Concernant les contraintes matérielles, les revues scientifiques sont souvent payantes et vendues par des journaux scientifiques. Nous devons donc utiliser le réseau du LORIA qui possède une autorisation pour obtenir les documents qui puissent nous intéresser. Le travail en groupe permet d'avancer plus rapidement à condition d'avoir une bonne communication et une bonne organisation pour se partager les tâches à effectuer. Nous avons géré ces contraintes de communication et d'organisation grâce à des outils informatiques que nous détaillerons dans la partie "Démarche scientifique".

Enfin, nous avons été également soumis à des contraintes de temps, en effet nous avons dû fournir un travail à notre encadrant chaque semaine pour qu'il puisse nous aiguiller et nous corriger. Nous avons donc mis en place un planning prévisionnel pour répartir les différentes tâches sur toute la durée du stage.

Planning prévisionnel

2019

Activités	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7
Découverte du sujet					
Collecte de documents					
Prise de note des documents					
Rédaction Introduction					
Rédaction de la revue					
Rédaction Conclusion					
Relecture					
Fabrication du dossier papier					

PARTIE II : Démarche Scientifique

Au cours de ce stage, nous avons effectivement eu l'opportunité de découvrir le métier de chercheur. Cependant, au vu de la durée du stage et du sujet, nous n'avons pas pu découvrir toutes les formes de ce métier que sont notamment: la recherche d'une problématique, la simulation des hypothèses de recherche, ou encore la publication d'un article. Mais à travers ce stage, nous avons pu comprendre de manière globale les difficultés que les enseignants-chercheurs peuvent rencontrer dans l'exercice de recherche. Pour une meilleure compréhension de la démarche scientifique que nous avons effectuée, il apparaît approprié de traiter dans un premier temps la méthodologie de travail, puis les travaux qui ont été effectués par nos soins et enfin de détailler les problèmes que nous avons pu rencontrer dans notre travail.

1/ Méthodologie

Durant ce stage, nous avons passé la plus grande majorité du temps à rechercher des documents, à en discuter et à y relever les informations qui nous semblaient indispensables si celles-ci n'étaient pas déjà en notre possession. Mais pour ce faire, nous avons respecté un certain procédé. Notre encadrant de stage nous a effectivement présenté dès la première réunion les étapes à suivre pour atteindre l'objectif final qui est la réalisation de la rédaction d'une revue scientifique. Ces étapes nécessaires à la réalisation de cet objectif représentent le quotidien de tout chercheur qui possède l'ambition de rédiger une revue scientifique. Ces étapes que sont la collection de papiers sur le sujet, les discussions des papiers trouvés, la proposition d'une classification, la définition d'une structure pour la revue, la rédaction et enfin la révision de la revue seront présentés plus en détail dans la partie suivante correspondant aux différents travaux que nous avons réalisés. Pour ces différentes étapes, et pour un travail optimal de plus, nous devons un minimum nous organiser. Nous avons donc décidé par exemple pour la collection de papiers sur le sujet, de chacun chercher des revues scientifiques réalisées par des chercheurs ou professionnel du domaine.

Afin d'effectuer ce travail d'exploration, notre encadrant de stage nous a conseillé quelques moteurs de recherche dédiés à la recherche d'articles scientifiques habituellement utilisés par les chercheurs de tout domaine ainsi nous pouvons citer par exemple Google Scholar, Semantic Scholar ou encore IEEEExplore. Néanmoins même si nous avons accès à un bon nombre de revues scientifiques sur Google Scholar ou Semantic Scholar, ouvertes à tout public, nous devons pour étudier les documents issus de IEEEExplore avoir accès à la wifi mis à disposition par le LORIA car comme nous l'avons précisé dans la première partie, la majorité des revues issues de ce moteurs de recherche sont effectivement payantes. Nous avons donc profité de l'accès au LORIA avant ou après notre réunion hebdomadaire, pour télécharger les documents mis à disposition sur IEEEExplore qui nous semblaient nécessaires à approfondir.

Après une lecture minutieuse, si le document nous apparaissait pertinent pour nos travaux, nous le catégorisons dans un répertoire Github et nous synthétisons les éléments importants de cette revue dans un document annexe. Github étant un service web d'hébergement permettant le partage de documents avec les personnes étant autorisées à y accéder. En effet, cela nous semblait évident de travailler avec cet outil, car nous avons appris à l'utiliser au cours de notre cursus universitaire. Cette démarche était réalisée dans le but de ne pas travailler sur un document déjà étudié.

Pour la catégorisation des documents et la brève synthèse des informations de chacune des revues, nous utilisons un document Google Docs dans lequel, nous avons créé au préalable un tableau. Celui-ci était constitué du nom de chaque document, avec son lien URL ainsi que d'une catégorie correspondant à la partie de notre plan où les informations de cette revue allaient être utiles.

Une fois cela effectué, nous nous sommes également servis d'un autre Google Docs afin de réaliser le plan de notre revue scientifique en parallèle. L'avantage d'utiliser google docs est multiple. Tout d'abord, contrairement à d'autres traitements de textes, Google docs est accessible dans un navigateur web et ceux n'importe où. L'utilisation d'un tel outil est facile, en plus d'avoir une interface claire. Un autre atout de Google Docs est la sauvegarde automatique des saisies ainsi que le stockage directement dans le Google Drive - disque dur Google personnel, cela est ingénieux car même si vous fermez votre document par inadvertance, le document est stocké dès que l'on commence à écrire.

Bien entendu, cet outil n'a pas été utilisé pour l'écriture du rapport définitif, il n'était exploité qu'à titre de brouillon. Pour la rédaction définitive de notre rapport, nous avons décidé d'utiliser Word qui est un traitement de texte. En effet, par rapport à Google Docs, Word offre plus de possibilités sur la mise en page. Néanmoins, nous avions au départ l'idée de rédiger le rapport définitif sur Overleaf qui est une plateforme en ligne gratuite permettant d'éditer du texte en LATEX. Cet outil de rédaction nous avait été initialement conseillé par notre enseignant encadrant mais par faute de temps, et en accord avec lui, nous avons décidé de nous rapatrier sur l'utilisation de Word pour la rédaction finale de notre revue.

Par ailleurs, notre encadrant de stage nous avait également conseillé l'utilisation de Slack qui est une plate-forme de communication collaborative propriétaire ainsi qu'un logiciel de gestion de projets. Nous utilisons cet outil uniquement à des fins de communication. En effet, tout le long de notre stage, nous avons échangé avec notre encadrant sur cette plateforme, cela pouvait être de simples messages sur nos rendez-vous futurs ou encore des documents que notre encadrant nous conseillait de lire ou éventuellement des documents sur lesquels nous avons besoin d'avoir son avis. Mais cette plateforme de communication nous servait également à communiquer entre les membres du groupe tout au long de ce stage par exemple lorsque nous avons besoin de l'avis des autres membres sur des informations ou encore dans le cadre de la répartition du travail.

Cependant, ils nous arrivaient également d'utiliser, afin de communiquer entre membres du groupe, Telegram Messenger, une application de messagerie sécurisée hébergée sur le cloud. Cette dernière application était plus précisément utilisée dans le cadre de nos appels par exemple dans le cas où nous voulions discuter de papier avec les autres membres du groupe ou éclaircir une idée dans le plan de la rédaction.

2/ Travaux effectués

Le déroulement du stage s'est réalisé en plusieurs étapes que nous allons présenter et qui pouvaient déjà être aperçues dans le planning prévisionnel précédemment exposé. En effet, plusieurs missions nous ont été confiées, dont les principales ont été de collecter, classifier des revues scientifiques à partir de leurs informations afin de rédiger une revue sur l'état de l'art de la planification de trajectoires d'UAV en y incluant les contraintes de communication et de mise en réseau.

En premier lieu, nous avons échangé sur le sujet avec notre encadrant de stage après nous avoir expliqué notre problématique de recherche. Suite au planning prévisionnel qu'il nous a proposé et que nous avons également vu plutôt dans ce rapport, nous avons commencé la première étape correspondant à la collecte d'informations, de papiers qui abordaient notre domaine de recherche. En effet, nous nous sommes focalisés dans la recherche de revues scientifiques écrites par des chercheurs ou scientifiques traitant de la planification de trajectoire d'UAV et des contraintes liées à la communication et à la mise en réseau.

Afin d'effectuer ces recherches, nous avons utilisé les outils précédemment cités comme Google Scholar par exemple. Pour chaque document, nous étions attentifs aux informations qu'il pouvait nous apporter, s'il en avait bien sûr, en rapport à notre sujet. À chaque document, nous avons respecté une certaine classification que notre encadrant de stage nous a conseillé dès la première réunion. Même si le choix de cette classification ne nous était pas imposé et bien au contraire laissé à notre guise, nous avons décidé de suivre la classification conseillée.

Dès lors, dans tout document ciblé, nous avons recherché des informations sur différents problèmes, aussi bien ouverts que résolus mais aussi sur les solutions à ces problèmes ou encore les technologies utilisées. De plus, nous avons identifié pour chaque document leurs implications dans la planification de la trajectoire avec les contraintes de communications et de mise en réseau, ou les applications possibles des solutions envisagées dans la revue. Dès qu'un document nous apparaissait pertinent, nous l'avons rangé dans un répertoire partagé sur GitHub en notant dans un document, dans quel but celui-ci allait nous servir et les éléments importants de son contenu. De ce fait, à chaque revue intéressante trouvée, nous regardions si un de nous ne l'avait pas déjà étudié et rangé dans le répertoire GitHub. Cela permettait donc d'éviter de perdre du temps à étudier un document déjà analysé.

Ensuite, chaque mercredi dans la mesure du possible, la veille de notre rendez-vous hebdomadaire avec notre encadrant de stage, nous nous sommes réunis les trois membres du groupe pour discuter de nos recherches personnelles et discuter des revues déjà lues et trouvées. Cette démarche constituait la seconde étape de notre travail. De plus, lors de cette réunion hebdomadaire entre membres du groupe, nous avons discuté des documents étudiés par chacun mais nous avons également approuvé la catégorie dans lequel le document avait été rangé. Ce tri représentait la troisième étape nécessaire à notre production finale. L'avantage de posséder trois membres dans le groupe s'est réellement vu lors de ces deux dernières étapes. Assurément, lors d'un problème de compréhension d'information ou lors d'un désaccord sur une idée, il a été plus facile de prendre des décisions à trois avec le principe de majorité que ne peut faire un duo par exemple. Mais, nous n'avons pas hésité à solliciter l'avis de notre encadrant de stage lors d'un doute sur une question.

Après ce partage de ressources, nous avons tenté d'établir un plan, une structure que nous allions proposer le lendemain en rendez-vous à notre encadrant. Il est évident que la construction d'un plan définitif pour la rédaction de notre revue était nécessaire et représentait également la quatrième étape de ce rapport. Cette étape qui est l'une des plus importantes, nous a amené également chaque semaine à repartir de l'étape 1. En effet, chaque semaine la collecte d'informations, nous a conduits à revoir notre plan et donc à nous décider à abandonner des recherches pour telles idées ou plutôt approfondir d'autres. Par conséquent, cela nous a mené inévitablement à rechercher des documents pour développer certaines idées. Nous avons donc repris à l'étape 1 dès que cela nous semblait nécessaire.

C'est qu'une fois après que nous pensions avoir trouvé le plan idéal et bien évidemment validation par notre encadrant que nous avons pu nous pencher sur l'étape suivante correspondante à l'étape 5. Ainsi notre plan définitif est composé d'une introduction, d'une première grande partie étant liée au principe de la planification de trajectoire 3D et d'une deuxième grande partie intitulée réseau avec bien entendu pour finir une conclusion. Nous verrons plus en détail le plan de notre revue scientifique dans la troisième grande partie de ce rapport.

Par ailleurs, il est à noter que notre encadrant de stage, Monsieur NATALIZIO, nous a également transmis dès le début une trentaine de documents qu'il possédait sur le sujet. Cela n'est pas à négliger car beaucoup d'informations, nous ont permis de nous aiguiller plus rapidement dans les recherches à mener.

L'étape 5 représentait l'objectif final de notre travail. Cette étape représentait effectivement la rédaction de la revue. Nous allions en nous basant sur notre plan établi et grâce à toutes les informations récoltées et catégorisées, rédigé enfin notre revue scientifique. Nous avons décidé à

l'instar de toutes les étapes précédentes, de se partager le travail. Ainsi Cyril a réalisé la partie sur les algorithmes de planification de trajectoire existants ainsi qu'une partie de l'introduction. Alexandre a quant à lui, réalisé la partie sur la couche Data Link. Enfin, Benjamin a effectué l'introduction aux côtés de Cyril ainsi que la partie routage. Il s'est également occupé de la partie correspondant à la définition de la planification de trajectoire et de la partie concernant les différences entre la planification de chemin et la planification de trajectoire. La conclusion a été rédigée par les trois membres du groupe. Par ailleurs, la bibliographie a également été une production de l'ensemble du groupe. Il est évident, qu'à chaque fois qu'une personne du groupe avait une difficulté ou une hésitation sur ce qu'il devait mettre ou non dans sa partie, il demandait conseil aux autres. Même si nous avons séparé la rédaction de chaque partie, chacun des membres du groupe relisaient les parties des autres membres, une fois que celle-ci était rédigée.

Puis une fois validée par tous les membres du groupe, la production était alors soumise à l'avis de l'encadrant lors de notre réunion hebdomadaire. Si cela, ne convenait pas à l'encadrant de stage, nous faisons une révision de la rédaction du rapport qui était à nouveau soumise la fois d'après. Il fut ainsi jusqu'à la date butoir du stage de recherche.

Même si notre planning prévisionnel a été bousculé par quelques imprévus sur la fin, nous avons su réagir pour rattraper le petit retard que nous avions par rapport au planning que nous nous étions fixés.

Planning réel

2019

Activités	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7
Découverte du sujet					
Collecte de documents					
Prise de note des documents					
Rédaction Introduction					
Rédaction de la revue					
Rédaction Conclusion					
Relecture					
Fabrication du dossier papier					

Semaine 8	Semaine 9	Semaine 10	Semaine 11	Semaine 12	Semaine 13	Semaine 14

Semaine 15	Semaine 16	Semaine 17	Semaine 18	Semaine 19

En effet, comme nous pouvons le voir sur notre planning réel ci-dessus, même si nous avons essayé de respecter dans l'ensemble le planning prévisionnel, nous avons eu un léger retard de deux semaines sur la collection d'informations car nous n'arrivions pas à trouver suffisamment de documents sur la partie algorithme de planification de trajectoire impliquant la communication. Nous avons pris plus de temps sur l'étape de collection et de synthèse des informations mais il était nécessaire de le faire. Nous savions que c'était le plus compliqué et que l'étape de rédaction serait facilitée si une bonne synthèse des informations était bien établie au préalable. Nous avons dû fournir plus d'efforts malgré tout dans l'étape de rédaction pour combler ce léger retard afin d'être dans les temps impartis.

Par conséquent, à la fin de ce stage qui fut le 13 mai, nous avons réussi à finir l'intégralité de la rédaction de notre revue scientifique. Avec la volonté et le travail, nous sommes donc arrivés avec plus ou moins de succès, à l'objectif final de ce stage.

3/ Problèmes rencontrés

Au cours de ce stage, nous avons rencontrés naturellement comme dans toute expérience professionnelle quelques difficultés. La première complication devant laquelle nous sommes arrivés fut le fait que l'ensemble des revues scientifiques collectées pour études, étaient rédigées en anglais. Ainsi, nous avons constaté par la suite que cette complication est réapparue lors de la rédaction de notre revue scientifique, que nous avons réalisé également en anglais. Comme la plupart, voir la totalité des revues étudiées étaient rédigées en anglais, il fut logique donc que notre réalisation devait se faire dans la langue de Shakespeare. Cela ne fut cependant pas un obstacle car l'ensemble du groupe possédait un niveau d'anglais correct mais cela correspondit plus à une complexité dans le sens où inévitablement nous ne connaissions pas l'ensemble des termes techniques en anglais liés à notre sujet. Par conséquent, nous avons perdu logiquement un peu de temps dans la compréhension de certaines revues et la rédaction de la nôtre. Mais pour autant, cet inconvénient s'est révélé être bénéfique pour nous car cela ne pouvait que renforcer notre connaissance technique, en langue anglaise.

Un autre problème concernant la compréhension fut celle correspondant aux technologies. En effet, dans certaines revues, les technologies utilisées, nous furent expliquées sans trop de détails. Malheureusement, nous ne connaissions pas certaines de ces technologies donc nous ne pouvions pas nous faire une idée précise sur le but dont allait nous servir celle-ci. Afin de contrer cet obstacle, nous avons recherché de nouveaux documents correspondant principalement à cette technologie. Ainsi il nous a été plus facile de comprendre le principe de la technologie précédemment citée.

Une difficulté supplémentaire liée à ces technologies est survenue lorsque nous avons trouvé des documents sur celles-ci qui n'était pas liés directement à notre sujet mais qui étaient utilisés dans le domaine des robots ainsi que dans le domaine 2D. Nous avons dû alors discuter, rechercher, et comprendre si celles-ci pouvaient être ainsi appliquées à la planification de trajectoire d'UAV dans le domaine 3D.

Ensuite, l'une des plus grosses préoccupations correspondant à l'objectif précis de notre sujet, a été la volonté de réaliser un document totalement différent de ceux existants. Le problème ici n'est pas le principe de rédaction mais plutôt celui de produire une revue unique. En effet, il y aurait très peu d'intérêt de fournir une revue semblable à celles déjà existantes, donc nous nous sommes concentrés à ne pas tomber dans ce piège.

Enfin, notre plus grande inquiétude a résidé dans le fait de se situer dans les délais, que nous nous étions fixés au départ et fixés par ailleurs par notre encadrant de stage. Comme vu précédemment, nous avions un planning prévisionnel que nous avions établi. Le planning réel a été

légèrement modifié comme nous avons pu également le voir. Cependant, nous pensons que cette inquiétude était plus une peur de ne pas être dans les délais impartis et donc de ne pas arriver à l'objectif de ce stage qu'une simple difficulté.

PARTIE III : Résultats

Dans cette partie, nous allons maintenant parler des différentes solutions que nous avons trouvées tout au long de ce stage d'initiation à la recherche. Étant donné la nature de notre sujet, nous n'allons pas parler d'une unique solution, mais de différents procédés tel que des algorithmes, des formations utilisées pour une flotte de UAVs, des technologies utilisées et d'autres aspects qui en combinant plusieurs de ces procédés permettent d'obtenir différentes applications pour ces flottes de UAVs qui seront présentées à la fin de cette partie. Nous allons faire un descriptif général de chaque solution trouvée puisqu'une description détaillée est disponible dans notre revue de recherche.

1/ Solutions

Premièrement, nous allons parler des algorithmes utilisés. Au cours de nos recherches et des différentes informations trouvées concernant les différents algorithmes appliqués aux UAVs jusqu'à maintenant, nous avons pu faire cinq grands groupes : les algorithmes utilisant les champs de potentiels, les algorithmes génétiques, les algorithmes en essaim et l'algorithme du fil d'Ariane (breadcrumb). Ils ont pour but de planifier une trajectoire optimale d'un point de départ à un point d'arrivée tout en évitant les obstacles. Le cinquième groupe d'algorithmes, lui, a aussi pour objectif de planifier une trajectoire, mais cette fois-ci en prenant d'autres contraintes en paramètres telle que la communication entre UAVs ou entre UAVs et une station de contrôle terrestre.

Tout d'abord, les algorithmes dit champs de potentiel consistent à associer des champs de potentiels artificiels aux différents éléments du décor afin de permettre aux UAVs d'être attirés vers une cible et repoussés par les obstacles présents sur le chemin. Les différents champs de potentiels calculés avec des formules mathématiques sont désignés selon un rayon, décidé par l'Homme, autour d'un obstacle dans lequel les UAVs ne doivent pas pénétrer et qu'ils doivent donc contourner. Pour utiliser ce type d'algorithme, il faut connaître le point de départ, le point d'arrivée ainsi que la position des différents obstacles pour un meilleur chemin. Même si des obstacles non prévus font face à une flotte de UAVs, il permet quand même de les faire réagir afin de les éviter. Ces algorithmes sont dits déterministes, car ils permettent d'obtenir le même chemin à chaque planification de trajectoire lorsque les conditions sont les mêmes. Ils trouvent toujours une solution lorsque cela est possible.

Ensuite, nous avons trouvé plusieurs documents parlant d'algorithmes génétiques. Ces algorithmes permettent d'obtenir une solution approximative lorsqu'il n'en existe pas directement en utilisant par exemple le système de sélection naturelle. Contrairement aux premiers, ces algorithmes sont dits probabilistes, car le chemin trouvé peut être différent lors de deux planifications alors que les conditions sont les mêmes. Cela est dû au fait que lorsqu'une première génération de UAVs parcourt un chemin, il transmet les données récoltées lors de leur passage ainsi lors du deuxième passage d'une flotte de UAVs, il se peut que l'algorithme estime qu'une meilleure solution existe et ainsi, il change la trajectoire optimale.

Puis, nous avons découvert également les algorithmes en essaim. La force de ce type d'algorithme, réside dans cette phrase « l'union fait la force ». En effet le principe de base consiste à avoir plusieurs individus avec des comportements très simplistes et peu intéressants, mais qui, une fois réunis, sont capables d'accomplir des tâches complexes. Ce système a l'avantage d'être fiable, si un des individus de l'essaim devient hors service, le système n'est pas perturbé par cet incident.

L'algorithme du fil d'Ariane utilise deux sous-algorithmes Explore et Search. Explore collecte des informations à propos de l'espace à atteindre depuis la position de départ et place des balises dans l'espace de recherche et mémorise le chemin entre chaque balise et la position de départ. L'algorithme

Search cherche un chemin entre chaque balise et la cible à atteindre. L'algorithme du fil d'Ariane, de par sa construction, s'adapte à la complexité du problème.

Pour finir sur les algorithmes, la dernière catégorie concerne les algorithmes qui au lieu de faire de l'évitement d'obstacle leur principal objectif, ont pour but d'avoir une trajectoire optimale tout en respectant les contraintes de communication au sein de la flotte de UAVs. Tous les types d'algorithmes qui ont été décrit précédemment peuvent s'appliquer autant à un UAV seul qu'à une flotte de UAVs. Mais dans un groupe d'UAVs, une des principales contraintes est la communication entre eux ou la communication entre UAVs et la station de contrôle qui les dirige depuis le sol. C'est un objectif, plus récent que l'évitement d'obstacle, et qui est en plein développement donc les informations concernant ce type d'algorithmes se font plus rares. Dans cette catégorie, nous pouvons faire deux sous-catégories, les algorithmes pour les trajets d'un point A à un point B et les algorithmes pour une utilisation stationnaires des UAVs. La première prend en compte une certaine distance entre deux UAVs ou entre un UAV et la station au sol, et planifie une trajectoire durant laquelle cette distance ne doit pas être rompue ou alors temporairement, sous peine de perdre la communication. La deuxième sous-catégorie prend en compte la communication réseau et permet de faire bouger un ou plusieurs UAVs pour aller dans les zones où le réseau sature. Ainsi, une synthèse des avantages et inconvénients de chaque catégorie d'algorithme étudié apparaît dans le tableau composant l'annexe n°4.

Deuxièmement, nous allons nous intéresser à la topologie et la formation d'une flotte de UAVs. Nous allons voir qu'une flotte de UAVs doit être organisée et que chacun des UAVs doit être placé soigneusement pour éviter la collision entre UAVs et empêcher que le groupe se retrouve dans une situation de chaos si la formation n'est pas adaptée au terrain.

Il n'existe pas de topologie prédéfinie, chacune s'adapte plus ou moins bien à un environnement. Il y a des formations inspirées sur le déplacement des animaux telles que les oiseaux et les poissons qui se déplacent stratégiquement et en groupe. D'autres formations sont souvent utilisées telle que les formations en colonne, en ligne, en quinconce, en V et en diamant.

La formation d'une flotte de UAVs est aussi un paramètre important, notamment sur comment va se déplacer une troupe de UAVs et quels repères ils vont utiliser. Une célèbre formation repose sur le principe de structure virtuelle, les UAVs possèdent une formation géométrique rigide les uns par rapport aux autres et chaque UAV doit respecter la distance qui le sépare par rapport aux autres ce qui minimise les erreurs de position entre eux. Une deuxième formation régulièrement employée fonctionne grâce au principe de leader/follower où un UAV en tête est le chef, seul lui accède aux données de navigations, et le reste de la flotte ne fait que suivre ce UAV. Cette méthode permet d'avoir un minimum d'information échangé puisque chaque UAV n'aura un lien qu'avec le leader et non avec les autres. Le dernier type de contrôle de formation se base sur le comportement en utilisant une fonction de contrôle hybride à pondération vectorielle qui, généralement, prend quatre paramètres en compte : le mouvement pour aller vers l'objectif, éviter les obstacles statiques, éviter les autres UAVs et maintenir la formation. C'est donc une méthode contenant énormément de calculs mathématiques sur les données récoltées par les UAVs.

Pour maintenir une bonne formation, les UAVs ont besoin de communiquer soit entre eux soit avec une base qui les contrôle, pour se faire différentes technologies peuvent être utilisées telles que le wifi, le Bluetooth, l'infrarouge, la communication avec satellites ou avec une antenne téléphonique. L'annexe 2 représente ainsi les technologies de couche 1 et 2 qui peuvent être utilisés dans le cas de la planification de la trajectoire des UAVs.

Bien évidemment, seul, la technologie de couche 1 et 2 ne va pas suffire pour que des UAVs communiquent entre eux. Ils ont donc aussi besoin de protocole de routage pour pouvoir établir la communication et pouvoir envoyer des données. Ainsi nous avons étudié des protocoles de routages comme réactifs, pro-actifs ou géographiques comme AODV, OLSR, DSR, BATMAN et d'autres, ce sont souvent les technologies IEEE 802.11n,a,s,b,g,ac qui sont associées à l'utilisation de ces

protocoles de routages. Nous pouvons le remarquer plus précisément sur l'annexe 3 qui présente l'ensemble des différents protocoles de routages étudiés au cours de ce stage et les technologies de couche 1 et 2 qui lui sont associés dans la littérature afin d'être potentiellement utilisés dans des scénarios impliquant des UAVs.

Donc une flotte de UAVs, comme dit précédemment, n'a pas de paramètre prédéfini, selon la mission, l'objectif, il faut utiliser et combiner telle ou telle technologie, formation, algorithme. Nous allons maintenant énumérer certains critères de décisions permettant de savoir, selon la situation, quelles sont les meilleures choses à utiliser.

Pour les algorithmes, un des critères de décision sera la rapidité pour obtenir une solution. Selon la situation, on peut chercher à vouloir une solution précise, mais qui prendra plus de temps de calcul, ou alors une solution rapide permettant de s'adapter plus rapidement, mais avec une petite perte de précision. L'algorithme choisi dépend aussi du milieu dans lequel se déroule la mission, si un algorithme excelle dans les petits espaces avec de nombreux obstacles, sur les vastes étendues vides, il ne sera pas adapté, car il fera déplacer une troupe de UAVs trop lentement. Enfin si l'objectif premier est d'assurer la communication des UAVs, un algorithme d'évitement d'obstacle ne sera pas adapté.

Concernant la formation et son contrôle, chaque solution apporte des avantages par rapport aux autres dans certaines situations. Par exemple, la formation en colonne est plus adaptée dans les milieux étroits, chaque UAV sera l'un derrière l'autre. La formation en ligne, quant à elle, sera meilleure dans les endroits larges et ouverts. Pour contrôler ces formations, nous avons cité précédemment trois solutions, la structure virtuelle, le leader/follower et le contrôle basé sur le comportement. La première est plus facile et plus rapide à mettre en place, il suffit de sélectionner un UAV sur lequel tous les autres copieront le comportement ce qui entraîne une bonne efficacité de la communication puisque les UAVs ne communiquent qu'avec le leader. Mais d'un autre côté, cela crée une forte dépendance sur les performances du UAV leader. La deuxième, la structure virtuelle, obtient de meilleurs résultats pour maintenir la formation de la troupe, mais cela devient un défaut dans les milieux où la formation est amenée à changer. Enfin, la dernière solution, permet d'accomplir un plus large panel de missions et de s'adapter plus facilement, mais à grande échelle, elle devient moins utilisable, à cause, du manque de stabilité du système.

Enfin pour choisir quelles technologies utiliser pour la communication, encore une fois, tout dépend de la mission. Selon la distance entre les appareils qui doivent communiquer, s'ils sont collés les uns aux autres, et selon leur environnement, dans le cas de scénario intérieur, les infra-rouges ou le Bluetooth peuvent être préférables, au contraire si une plus grande distance les sépare dans un scénario extérieur, le wifi sera meilleur. Ensuite, est-ce que ce sera une communication directe entre UAV, avec la station de base comme relais si elle n'est pas trop loin, un satellite si les UAVs ne sont pas dans des milieux fermés, une antenne téléphonique s'il n'y a pas trop d'interférence. Les protocoles de routages sont aussi des choses importantes à choisir, certains proposent un débit plus élevé que d'autres, d'autres offrent une meilleure distance de communication. Mais nous avons vu que des protocoles de routage comme AODV, GGF ou OLSR par exemple, ne sont pas optimaux s'il y a une forte mobilité. D'autres comme GPSR ne vont pas être optimaux dans le cas de changement de topologie. Par ailleurs, des protocoles comme BATMAN ou DSR vont surtout nécessiter une grande capacité de mémoire pour l'historique des messages reçus ou stocker les routes.

Donc le choix d'un protocole de routage associé à une technologie de couche 1 et 2 dépend fortement de la capacité matérielle de l'UAV, de sa mission et de son environnement. Maintenant que nous avons fini de parler des différentes solutions possibles pour paramétrer une flotte de UAVs, nous allons présenter certaines applications possibles et réalisables par des UAVs.

2/ Applications

Pour commencer, les applications militaires sont nombreuses. Des UAVs sont déjà utilisés, mais ceux-ci sont pilotés par des hommes au sol. Or, de nombreuses erreurs ont été commises, mais cela n'est pas dû au UAV, ce sont surtout des erreurs humaines du fait que beaucoup d'informations sont à prendre en compte ce qui fait que les missions sont limitées par le temps que met un humain à traiter les informations qu'il voit. Donc l'armée cherche de plus en plus à utiliser des UAVs pour tout automatiser, libérer du personnel (le pilote) pour d'autres tâches tout en modifiant au minimum les missions de base. Pour reconnaître une zone ennemie, les UAVs permettent d'être plus rapides et pourraient limiter les pertes humaines. Les missions de surveillance seraient une autre application pour des UAVs. L'utilisation de UAVs permet aussi d'incorporer un sentiment de peur chez l'ennemi, car le bruit dégagé par les UAVs leur fait penser à une frappe de missile.

Dans le civil, les applications sont tout aussi nombreuses, comme le contrôle et la surveillance des frontières, la gestion du trafic, la livraison de colis. Les UAVs permettent aussi d'avoir de nouveaux points de vue pour des photos, pour des vidéos de paysage, de monument. Chez les pompiers, cela leur permet, avec un flux vidéo pris par un ou plusieurs UAVs, d'avoir une meilleure connaissance du terrain, des feux de forêt pouvant ainsi agir plus efficacement et rapidement.

Une flotte d'UAVs peut aussi être utilisée pour étendre un réseau existant ou en créer un nouveau. Les UAVs sont positionnés de telle manière à pouvoir se transmettre les données qui doivent aller d'un point A à un point B. C'est très utile dans les zones rurales qui n'ont pas une bonne connexion, on encore d'ajouter des UAVs dans une zone où la connexion sature à cause des nombreuses données qui y transitent.

Pour conclure sur les différentes applications possibles, elles sont nombreuses, nous avons donné un petit aperçu de ce qui est réalisable, mais il y en a encore beaucoup. Et dans le futur, ce nombre d'applications va augmenter fortement notamment grâce au progrès technologique continu.

CONCLUSION

L'expérience apportée par ce stage a été particulièrement enrichissante car nous avons pu apprendre le métier de chercheur et surtout comprendre son quotidien. Il nous a également permis de découvrir le fonctionnement d'une rédaction d'une revue scientifique dans le domaine de la recherche. Grâce à ce stage, nous avons pu progresser dans le domaine des réseaux et télécommunications notamment sur les différentes technologies qui existent ainsi que les protocoles de routages pouvant être utilisés suivant le type d'applications. Certaines technologies et certains protocoles nous étaient inconnus, nous avons donc dû effectuer un travail de collecte d'informations, travail essentiel du quotidien des chercheurs.

Nous avons aussi pu prendre connaissance et conscience de l'intérêt d'un travail collectif reflétant l'aspect collaboratif de la recherche. Après la collecte d'informations et la rédaction de sa structure, la revue scientifique respecte bien les directives demandées dans la rédaction d'une revue scientifique de type recherche. Cela nous a permis de nous rendre compte de tout le travail qui doit être réalisé en amont pour pouvoir arriver à un tel résultat. Ainsi, nous avons regroupé plusieurs types d'algorithmes bio-inspirés, chacun ayant des avantages et des inconvénients selon le problème à résoudre. Nous avons constaté que la technologie 802.11n, s, b et g sont des technologies couplées à des protocoles de routages spécifiques à leurs caractéristiques, potentiellement utilisables pour la communication entre plusieurs UAV ou un UAV et une station de base terrestre. Nous avons également compris l'importance d'une bonne topologie physique pour une flotte de drones, là encore, le choix de la formation dépend de l'objectif de la flotte.

Cependant, certains points de notre problématique restent sans solution ou bien aucune technologie ne permet la résolution de ces problèmes. Cela laisse des questions en suspens et donnent l'occasion aux chercheurs d'approfondir le sujet. Chaque nouvelle publication de revues scientifiques qui peut se rapprocher des domaines des algorithmes de planification de trajectoires, des protocoles de routages, de topologies ou d'une nouvelle technologie profitant à l'amélioration des déplacements de la flotte, fera avancer les recherches et donnera de nouvelles idées à développer. On tombe dans le cercle vertueux où chaque nouvelle connaissance est un tremplin vers d'autres connaissances.

ANNEXES

Sommaire

Annexe n°1 : Rappel du Sujet et Problématique	1
Annexe n°2 : Tableau des technologies de la norme IEEE 802.11	2
Annexe n°3 : Tableau des protocoles de routages étudiés	3
Annexe n°4 : Tableau des algorithmes de planification de trajectoire	4

Annexe n°1 : Rappel du Sujet et Problématique

Problématique de recherche:

As soon as national legislations allow Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to fly autonomously, we will see swarms of UAV populating the sky of our cities to accomplish different missions : parcel delivery, infrastructure monitoring, event filming, surveillance, tracking, etc. A fundamental aspect of UAV fleet control is planning trajectories. Historically, two fields have contributed to trajectory or motion planning methods : robotics and dynamics & control. However, as UAVs are also communication devices, the trajectory planning should take into consideration communications and networking constraints, and recently the networking community started showing interest in the problems raised by groups of communicating UAVs. Several studies proposed solutions for specific problems by taking into consideration different communications constraints.

Sujet :

The objective of the project is to provide the state of the art of UAV trajectory planning, by collecting the most recent works that include also communications and networking constraints. A taxonomy of empirical solutions for a fleet of UAVs, for example to maintain intra-fleet connectivity as well as inter-fleet communication with an external operator, while performing a task, such as exploration, mapping or filming, will be proposed along, at least, two main axes : communication or networking constraints considered and application. Other aspects that could be considered concern the methodology of the study, the mathematical tools used for modeling the problem, the kind of technique used to solve it, the technology considered for networking and robotics aspects, etc.

Annexe n°2 : Tableau des technologies de la norme IEEE 802.11

Network	Technology	Communication device	Computing platform	Usage
AANET	IEEE 802.11s	OMI P from Open-Mesh ^a (universal 802.11b/g interface)	PC Engines Alix boards ^b	- Connect separated ground nodes multi-hop relaying mesh network
	IEEE 802.11b	- 2.4 GHz 802.11b card Fidelity-Comtech bidirectional amplifier	Socket's single board computer	- UAVs and ground nodes in several configurations oconnecting ground nodes multi-hop mesh network
	IEEE 802.11n	Compex WLE300NX 802.11abgn mini-PCIe	Intel Atom 1.6 GHz CPU with 1 GB RAM	- AANET single-hop and two hop performance analysis with the ground station oInfrastructure Mesh
	IEEE 802.11ac	Compex WLE900NS-18 miniPCIe		
	IEEE 802.11a	Doodle Labs ACM-5500-1 802.11ac 5 GHz miniPCIe Compex WLE300NX 802.11abgn mini-PCIe modules	Intel Atom 1.6 GHz CPU with 1 GB RAM	- Two hop analysis
	IEEE 802.15.4	XBee Pro Zigbee class 2.4 GHz radios (Maxstream)	CUPIC avionics board (Microchip PIC18F8722 8-bit)	- Infrastructure and mesh configurations Connections with the ground station
				- Generic monitoring tasks: oTemperature oGases Other
Infrared		VICON system ^c	Intel Atom Processor Z530	Collaborative assembly and construction tasks

Annexe n°3 : Tableau des protocoles de routages étudiés

Routing algorithms used in UAV networks.				
Network	Type	Routing protocol		Technology
Aerial	Broadcasting	Flooding		IEEE 802.15.4
		OLSR	Pure OLSR	IEEE 802.11n
	Proactive		P-OLSR	IEEE 802.11n
		BATMAN		IEEE 802.11n
		GPSR	Pure GPSR	IEEE 802.11a
			MPGR	
			HMMP	
	Reactive	AODV	Pure AODV	IEEE 802.11s
			RGR	IEEE 802.11n
			GGF	IEEE 802.11
		DSR	IEEE 802.11b	
Geographic		Greedy Geographical Routing	IEEE 802.11n	
		A-GR	IEEE 802.11	
Not specified		Not specified	IEEE 802.11g	

Annexe n°4 : Tableau des algorithmes de planification de trajectoire

Algorithm Type	Advantages	Disadvantages	Inspiration
Potential Field	<ul style="list-style-type: none"> -Give a feasible path autonomously -Not require knowing the movement of obstacles -Very responsive 	<ul style="list-style-type: none"> - Ineffective in large space -APF is sensitive to local minima 	Electron moves
Genetic	<ul style="list-style-type: none"> -Goods performance with low costs -Able to explore a lot of solutions quickly 	<ul style="list-style-type: none"> -Need to find good selection criteria to be efficient -Sometimes, any solutions in a finish time 	Bacteria
Swarm	<ul style="list-style-type: none"> -Fiability (a individual can be down without disturb the system) -Each individual is low cost -Collective performance -Adapt to the problem difficulty 	<ul style="list-style-type: none"> -Need much individuals to work (conflict risk) - Sometimes, blocking behavior 	Ants, Bees
Breadcrumb	<ul style="list-style-type: none"> -Easy to implement (even for parallelization) 	<ul style="list-style-type: none"> -Use many mathematical concept 	---

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.L. Alfeo, M.G.C.A. Cimino, N. De Francesco, A. Lazzeri, M. Lega, G. Vaglini, "Swarm coordination of mini-UAVs for target search using imperfect sensors", *Intelligent Decision Technologies*, IOS Press, Vol. 12, Issue 2, Pages 149-162, 2018
- [2] Thi-Kien Dao, Tien-Szu Pan and Jeng-Shyang Pan, "A Multi-Objective Optimal Mobile Robot Path Planning Based on Whale Optimization Algorithm", 2016
- [3] Lei Tang, Songyi Dian, Gangxu Gu, Kunli Zhou, Suihe Wang, Xinghuan Feng, "A Novel Potential Field Method for Obstacle Avoidance and Path Planning of Mobile Robot", 2010
- [4] Michael Hoy, Alexey S. Matveev and Andrey V. Savkin, "Algorithms for collision-free navigation of mobile robots in complex cluttered environments: a survey", *Robotica* (2015) volume 33, pp. 463–497. Cambridge University Press, 2014
- [5] Thierry Chatroux, "Algorithmes génétiques parallèles pour la planification de trajectoires de robots en environnement dynamique", 1993
- [6] Juan Manuel AHUACTZIN LARIOS, "Le Fil D'Ariane : Une Méthode De Planification Générale Application A La Planification Automatique De Trajectoires", 1994
- [7] Matthias Nieuwenhuisen, David Droeschel, Marius Beul, and Sven Behnke, "Obstacle Detection and Navigation Planning for Autonomous Micro Aerial Vehicles", Orlando, USA, May 2014
- [8] Oscar Montiel, Ulises Orozco-Rosas, Roberto Sepúlveda, "Path planning for mobile robots using Bacterial Potential Field for avoiding static and dynamic obstacles", Instituto Politécnico Nacional, CITEDI, Av. del Parque No. 1310, Mesa de Otay, 22510 Tijuana, B.C., Mexico
- [9] Martin Rosalie, Jan Dentler, Grégoire Danoy, Pascal Bouvry, Somasundar Kannan, Miguel Olivares-Mendez, Holger Voos, "Area exploration with a swarm of UAVs combining deterministic chaotic ant colony mobility with position MPC", Miami, 2017
- [10] Yaniv Altshuler, Vladimir Yanovsky, Israel A. Wagner, and Alfred M. Bruckstein, "Efficient Cooperative Search of Smart Targets Using UAV Swarms", Computer Science Department, Technion, Haifa 32000 Israel, 2008
- [11] Natalie R. Frantz, "Swarm Intelligence For Autonomous Uav Control", B.S., United States Naval Academy, 2005
- [12] Argel A. Bandala, Elmer P. Dadios, Ryan Rhay P. Vicerra, and Laurence A. Gan Lim, "Swarming Algorithm for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadrotors: Swarm Behavior for Aggregation, Foraging, Formation, and Tracking", *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 2014
- [13] Jan Dentler, Martin Rosalie, Grégoire Danoy, Pascal Bouvry, Somasundar Kannan, "Collision Avoidance Effects on the Mobility of a UAV Swarm Using Chaotic Ant Colony with Model Predictive Control", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Springer Verlag (Germany), 2019, 93, pp.227-243. [ff10.1007/s10846-018-0822-8](https://doi.org/10.1007/s10846-018-0822-8). [ffhal-01774001ff](https://doi.org/10.1007/s10846-018-0822-8)
- [14] L. Gupta, R. Jain, G. Vaszkun, Survey of important issues in UAV communication networks, *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 18 (2) (2015) 1123–1152.

- [15] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, Ad hoc on-demand distance vector (AODV) Routing (RFC 3561), Network Working Group, The Internet Engineering Task Force (IETF), 2016 [Online]. Available <https://tools.ietf.org/html/rfc3561> Accessed on February 9.
- [16] B.T. Sharef, R.A. Alsaqour, M. Ismail, Vehicular communication ad hoc routing protocols: a survey, *J. Netw. Comput. Appl.* 40 (2014) 363–396.
- [17] M. Asadpour, D. Giustiniano, K.A. Hummel, S. Heimlicher, Characterizing 802.11n aerial communication, *Proceedings of the second ACM MobiHoc workshop on Airborne networks and communications (ANC)*, Bangalore, India, 2013, pp. 7–12.
- [18] Nayyar, Anand. (2018). Flying Adhoc Network (FANETs): Simulation Based Performance Comparison of Routing Protocols: AODV, DSDV, DSR, OLSR, AOMDV and HWMP. 1-9. 10.1109/ICABCD.2018.8465130.
- [19] L. Lin, Q. Sun, S. Wang, F. Yang, A geographic mobility prediction routing protocol for ad hoc UAV network, *Proceedings of the IEEE Globecom Workshop (GC Wkshps)*, 2012, pp. 1597–1602.
- [20] A.C. Watts, V.G. Ambrosia, E.A. Hinkley, Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use, *Remote Sens.* 4 (6) (2012) 1671–1692.
- [21] E. Yanmaz, R. Kuschig, C. Bettstetter, Achieving air-ground communications in 802.11 networks with three-dimensional aerial mobility, *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, Turin, Italy, 2013, pp. 120–124.
- [22] D.G. Reina, S.L. Toral, P. Johnson, F. Barrero, A survey on probabilistic broadcast schemes for wireless Ad Hoc networks, *Ad Hoc Netw.* 25 (Part A) (2015) 263–292.
- [23] S. Morgenthaler, T. Braun, Z. Zhongliang, T. Staub, M. Anwender, UAVNet: a mobile wireless mesh network using unmanned aerial vehicles, *IEEE Globecom Workshops*, Anaheim, CA, USA, 2012, pp. 1603–1608.
- [24] J.M. Kahn, J.R. Barry, Wireless infrared communications, *Proc. IEEE* 85 (2) (1997) 265–298.
- [25] F. Ducatelle, G.A. Di Caro, C. Pinciroli, F. Mondada, L. Gambard, Communication assisted navigation in robotic swarms: self-organization and cooperation, *IEEE/ RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Francisco, CA, USA, 2011, pp. 4981–4988.
- [26] Kamal, Mostofa & Nasir, Mostofa & Khaled, Mohammad & , Sohel & Touhidur, Mohammad & Rahman, Mm & K M Kamrul, A & Islam, Md. Al Foyjul. (2012). A Review on Position Based Routing Protocol in Vehicular Adhoc Network. 2.
- [27] M. Asadpour, S. Egli, K.A. Hummel, D. Giustiniano, Routing in a fleet of micro aerial vehicles: first experimental insights, *Proceedings of the Third ACM Workshop on Airborne Networks and Communications*, Philadelphia, USA, 2014, pp. 9–10.
- [28] H. Sheng, H. Chao, C. Coopmans, J. Han, M. McKee, Y. Chen, Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: platform, calibration and applications, *IEEE/ ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA)*, Qingdao, China, 2010, pp. 38–43.

- [29] Z. Jiang, J. Ma, W. Lou, J. Wu. An Information Model for Geographic Greedy Forwarding in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks, IEEE INFOCOM 2008 - The 27th Conference on Computer Communications
- [30] M. Saska, T. Krajník, L. Pfeucl, Cooperative μ UAV-UGV autonomous indoor surveillance, International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD), Chemnitz, Germany, 2012, pp. 1–6.
- [31] M. Asadpour, B. Van den Bergh, D. Giustiniano, K.A. Hummel, S. Pollin, B. Plattner, Micro aerial vehicle networks: an experimental analysis of challenges and opportunities, IEEE Commun. Mag. 52 (7) (2014) 141–149.
- [32] J.M. García-Campos, J. Sánchez-García, D.G. Reina, S.L. Toral, F. Barrero, An evaluation methodology for reliable simulation based studies of routing protocols in VANETs, Simul. Modell. Pract. Theory 66 (2016) 139–165.
- [33] Sharma, Sachin. (2009). P-OLSR: Position-based Optimized Link State Routing for Mobile Ad Hoc Networks. 237 - 240. 10.1109/LCN.2009.5355100.
- [34] S.M.S. Bari, F. Anwar, M.H. Masud, Performance study of hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP) for IEEE 802.11s WLAN mesh networks, International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCE), Kuala Lumpur, Malaysia, 2012, pp. 712–716.
- [35] T. Brown, B. Argrow, C. Dixon, S. Doshi, R.G. Thekkekkunnel, D. Henkel, Ad hoc uav ground network (AUGNet), AIAA 3rd "Unmanned Unlimited" Technical Conference, Chicago, IL, USA, 2004, pp. 1–11.
- [36] S. Rosati, K. Kruzelecki, G. Heitz, D. Floreano, B. Rimoldi, Dynamic routing for flying ad hoc networks, IEEE Trans. Vehicul. Technol. 65 (3) (2016) 1690–1700.
- [37] G.R. Hiertz, D. Denteneer, L. Stibor, Y. Zang, X. Pérez-Costa, B. Walke, The IEEE 802.11 Universe, IEEE Commun. Mag. 48 (1) (2010) 62–70.
- [38] Kamal, Mostofa & Nasir, Mostofa & Khaled, Mohammad & , Sohel & Touhidur, Mohammad & Rahman, Mm & K M Kamrul, A & Islam, Md. Al Foyjul. (2012). A Review on Position Based Routing Protocol in Vehicular Adhoc Network. 2.
- [39] Sánchez-García, Jesús & García-Campos, J.M. & Arzamendia Lopez, Mario & Gutiérrez, Daniel & Toral, S.L. & Gregor, Derlis. (2018). A Survey on Unmanned Aerial and Aquatic Vehicle Multi-hop Networks: Wireless Communications, Evaluation Tools and Applications. Computer Communications. 119. 10.1016/j.comcom.2018.02.002.
- [40] D. Johnson, D. Maltz, Dynamic source routing in Ad Hoc wireless networks, Mobile Computing, Springer US, USA, 1996, pp. 153–181.
- [41] Zhu Han, A. Lee Swindlehurst, K. J. Ray Liu. (2009). Optimization of MANET Connectivity Via Smart Deployment/Movement of Unmanned Air Vehicles
- [42] Jean-Aimé Maxa, Mohamed-Slim Ben Mahmoud, Nicolas Larrieu. Survey on UAANET Routing Protocols and Network Security Challenges. Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, PKP Publishing Services Network 2017.
- [43] E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, Performance comparison of OLSR and BATMAN routing protocols by a MANET testbed in stairs environment, Comput. Math. Appl. 63 (2) (2012) 339–349.

- [44] B. Johnson, David & Maltz, David. (1999). Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks. *Mobile Comput.* 353.
- [45] Michael Defoort, Arnaud Doniec, and Noury Bouraqadi. (2011). Decentralized Robust Collision Avoidance Based on Receding Horizon Planning and Potential Field for Multi-Robots Systems.
- [46] M. Elbanhawia, A. Mohameda , R. Clothiera , J.L. Palmerc , M. Simica , S. Watkinsa. (2017). Enabling technologies for autonomous MAV operations.
- [47] Yuanchang Liu and Richard Bucknall. (2018). A survey of formation control and motion planning of multiple unmanned vehicles.
- [48] Zubair Md. Fadlullah, Daisuke Takaishi, Hiroki Nishiyama, Nei Kato, and Ryu Miura. (2016). A Dynamic Trajectory Control Algorithm for Improving the Communication Throughput and Delay in UAV-Aided Networks.
- [49] Qingqing Wu, Yong Zeng , Rui Zhang. (2018). Joint Trajectory and Communication Design for Multi-UAV Enabled Wireless Networks.
- [50] Marceau Coupechoux, Jerome Darbon, Jean-Marc Kelif, Marc Sigelle. Optimal Trajectories of a UAV Base Station Using Lagrangian Mechanics
- [51] Sánchez-García, Jesús & García-Campos, J.M. & Arzamendia Lopez, Mario & Gutiérrez, Daniel & Toral, S.L. & Gregor, Derlis. (2018). A Survey on Unmanned Aerial and Aquatic Vehicle Multi-hop Networks: Wireless Communications, Evaluation Tools and Applications.
- [52] Shuowen Zhang, Yong Zeng, Rui Zhang. (2018). Cellular-Enabled UAV Communication: Trajectory Optimization Under Connectivity Constraint.
- [53] Eyuphan Bulut and Ismail Guvenc. (2018). Trajectory Optimization for Cellular-Connected UAVs with Disconnectivity Constraint.
- [54] Ahmad Alsharoa, Hakim Ghazzai, Murat Yuksel, Abdullah Kadri, Ahmed E. Kamal. (2018). Trajectory Optimization for Multiple UAVs Acting as Wireless Relays.
- [55] Michael Defoort, Arnaud Doniec, and Noury Bouraqadi. (2011). Decentralized Robust Collision Avoidance Based on Receding Horizon Planning and Potential Field for Multi-Robots Systems.
- [56] M. Elbanhawia, A. Mohameda , R. Clothiera , J.L. Palmerc , M. Simica , S. Watkinsa. (2017). Enabling technologies for autonomous MAV operations.
- [57] Yuanchang Liu and Richard Bucknall. (2018). A survey of formation control and motion planning of multiple unmanned vehicles.
- [58] Zubair Md. Fadlullah, Daisuke Takaishi, Hiroki Nishiyama, Nei Kato, and Ryu Miura. (2016). A Dynamic Trajectory Control Algorithm for Improving the Communication Throughput and Delay in UAV-Aided Networks.
- [59] Qingqing Wu, Yong Zeng , Rui Zhang. (2018). Joint Trajectory and Communication Design for Multi-UAV Enabled Wireless Networks.

- [60] Marceau Coupechoux, Jerome Darbon, Jean-Marc Kelif, Marc Sigelle. Optimal Trajectories of a UAV Base Station Using Lagrangian Mechanics
- [61] Zhu Han, A. Lee Swindlehurst, K. J. Ray Liu. (2009). Optimization of MANET Connectivity Via Smart Deployment/Movement of Unmanned Air Vehicles
- [62] Shuowen Zhang, Yong Zeng, Rui Zhang. (2018). Cellular-Enabled UAV Communication: Trajectory Optimization Under Connectivity Constraint.
- [63] Eyuphan Bulut and Ismail Guvenc. (2018). Trajectory Optimization for Cellular-Connected UAVs with Disconnectivity Constraint.
- [64] Ahmad Alsharoa, Hakim Ghazzai, Murat Yuksel, Abdullah Kadri, Ahmed E. Kamal. (2018). Trajectory Optimization for Multiple UAVs Acting as Wireless Relays.

GLOSSAIRE

Classification : Système organisé et hiérarchisé de catégorisation d'objets.

État de l'art : État des connaissances dans tout domaine donné (ici planification de trajectoire) à un instant donné.

IEEE : Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens.

IEEE xxx : Produite par l'IEEE qui décrit une famille de normes.

LORIA : Laboratoire lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications

Revue scientifique : Titre de presse édité sous la forme d'une revue. Il s'agit de l'un des types de communication choisi par les chercheurs scientifiques pour faire connaître leurs travaux en direction d'un public de spécialistes, et ayant subi une forme d'examen de la rigueur de la méthode scientifique employée pour ces travaux.

Topologie physique : Elle peut définir la façon dont les équipements sont interconnectés et la représentation spatiale du réseau

UAV : Unmanned Aerial Vehicle pour véhicule aérien sans pilote et également connu sous le nom de drone.

Déclaration sur l'honneur contre le plagiat 1

(à joindre obligatoirement à tout travail de recherche ou dossier remis à un enseignant)

Je soussigné,

BASILE Cyril

Régulièrement inscrit à l'Université de Lorraine

N° de carte d'étudiant : 31409478

Année universitaire : 2018 / 2019

Niveau d'études : Master

Parcours : Master Informatique

N° UE : 811

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant la commission disciplinaire et les tribunaux de la République Française.

Fait à Villers-lès-Nancy, le 1^{er} mai 2019

Signature :



Déclaration sur l'honneur contre le plagiat 2

(à joindre obligatoirement à tout travail de recherche ou dossier remis à un enseignant)

Je soussigné,

MAHR Benjamin

Régulièrement inscrit à l'Université de Lorraine

N° de carte d'étudiant : 31400375

Année universitaire : 2018 / 2019

Niveau d'études : Master

Parcours : Master Informatique

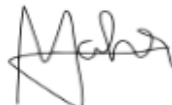
N° UE : 811

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant la commission disciplinaire et les tribunaux de la République Française.

Fait à Villers-lès-Nancy, le 1^{er} mai 2019

Signature :



Déclaration sur l'honneur contre le plagiat 3

(à joindre obligatoirement à tout travail de recherche ou dossier remis à un enseignant)

Je soussigné,

BENNOUR Alexandre

Régulièrement inscrit à l'Université de Lorraine

N° de carte d'étudiant : 31305494

Année universitaire : 2018 / 2019

Niveau d'études : Master

Parcours : Master Informatique

N° UE : 811

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant la commission disciplinaire et les tribunaux de la République Française.

Fait à Villers-lès-Nancy, le 1^{er} mai 2019

Signature :



RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années, la recherche sur les communications sans fil concernant les réseaux d'UAVs (pour Unmanned Aerial Vehicles) se multiplient. Un des aspects fondamentaux pour le déploiement d'une flotte d'UAV est la notion de planification de trajectoire. La multitude de possibilités que pourraient offrir le déploiement et la mise en réseau d'UAV n'est pas des moindres. En effet, la mise en place d'UAV intéressent beaucoup les scientifiques dans le but d'améliorer le confort de l'homme. Dans le cas d'une ville connectée, nous devons nous questionner sur la faisabilité de faire voler plusieurs UAVs simultanément. L'objectif de notre stage était donc de réaliser un état de l'art de la planification de trajectoire d'un UAV en particulier sur les problèmes de communication et de mise en réseau. Ces UAVs seront destinés à plusieurs applications telles que la cartographie, l'exploration, le domaine militaire, ou bien d'autres encore comme la logistique avec la livraison aérienne de colis. Nous devons trouver les travaux les plus récents contenant des informations sur les contraintes de communication et de mise en réseau lié aux problèmes de planification de trajectoire. Afin de modéliser le problème, nous pouvions également utiliser des outils mathématiques et toutes les technologies utiles. L'organisation du groupe ainsi que la démarche scientifique ne devait pas être laissée au hasard pour réaliser un tel objectif. Pour répondre à la problématique nous avons donc, grâce aux informations collectées, procédé à une classification des problèmes et des solutions empiriques pour une flotte d'UAV, afin de maintenir la connectivité inter-flotte en particulier, ainsi qu'une communication inter-flotte avec un opérateur externe. Ainsi nous avons conçu un plan à partir de cette classification puis réaliser la revue scientifique qui correspond à un état de l'art de la planification de trajectoire. A partir de cette revue et de ces conclusions, les scientifiques peuvent constater des problèmes encore non résolus à ce jour pour pouvoir identifier les recherches qui sont encore à mener. Ces recherches devraient permettre d'améliorer ou de perfectionner le système de planification de trajectoires aériennes.

For several years, research on wireless communications concerning UAV networks (for Unmanned Aerial Vehicles) has multiplied. One of the fundamental aspects for deploying a fleet of UAVs is the concept of trajectory planning. The multitude of possibilities that could be offered by the deployment and networking of UAVs is not the least. Indeed, the establishment of UAVs are of great interest to scientists in order to improve human comfort. In the case of a connected city, questions must be asked about the feasibility of the continuous circulation of several UAVs at the same time. The objective of our internship was to realize a state of the art of the trajectory planning of a UAV on the problems of communication and networking. These UAVs will be intended for several applications such as cartography, exploration, military, or even more such as logistics with delivery constraints. We needed to find the most recent work with information about communication and networking constraints related to the trajectory planning problem. To model the problem, we could also use mathematical tools and all the useful technologies. The organization of the group as well as the scientific approach should not be left to chance to achieve such an objective. To answer the problem, we have, thanks to the collected information, proceeded to a classification of the problems and the empirical solutions for a fleet of UAV, in order to maintain inter-fleet connectivity, as well as inter-fleet communication with an external operator. So, we designed a plan from this classification and then realized the survey that corresponds to a state-of-the-art trajectory planning. From this review and these conclusions, scientists can see the problems that have not yet been solved so that we can identify the research that is yet to be done. This research will able to improve the aerial trajectory planning.