

Offre de Thèse / PhD Offer (English description below)

Titre de la thèse : Optimisation dynamique de la recherche de cible par une flotte de drones à l'aide de techniques d'intelligence artificielle

Laboratoire d'accueil : Université Bourgogne Europe, DRIVE UR1859, Nevers

Spécialité du doctorat préparé : Informatique

Mots-clefs : Recherche de cible, optimisation, IA, connectivité, gamification, recherche opérationnelle

Descriptif détaillé de la thèse :

Introduction / contexte :

Le poste de docteur(e) est proposé par le laboratoire DRIVE de l'Université de Bourgogne Europe, situé à Nevers en France. Composé d'environ 60 membres, dont environ une trentaine de chercheurs et une vingtaine doctorants, le laboratoire DRIVE développe une recherche appliquée et fondamentale de haut niveau avec des équipements de pointe. Ce sujet de thèse est financé par une bourse ministérielle et traite de la recherche de cible.

L'optimisation de la recherche de cibles est un problème apparu pendant la Seconde Guerre mondiale, lorsque des chercheurs américains ont travaillé sur la recherche optimale de sous-marins ennemis à l'aide d'une flotte d'avions. Au fil des années, de nombreuses nouvelles applications ont émergé, démontrant les apports concrets des méthodes d'optimisation. Parmi elles, on peut citer : (i) la recherche d'épaves en mer, comme celles de l'USS Scorpion, du SS Central America ou des boîtes noires du vol AF447 (Rio-Paris); (ii) la détection précoce d'incendies; (iii) les opérations de recherche et de sauvetage, notamment après des catastrophes comme l'ouragan Katrina ou lors de la localisation de randonneurs disparus par des équipes de secours; (iv) la traque et l'arrestation de criminels en fuite, en particulier dans des zones difficiles d'accès comme les montagnes ou les forêts. La plupart de ces applications reposent sur l'utilisation de drones, qu'ils soient aériens ou sous-marins. Avec les avancées technologiques récentes sur les drones, l'intérêt pour ce domaine n'a cessé de croître, entraînant une augmentation du nombre de travaux sur le sujet. Le problème fondamental sous-jacent à la majorité des études consiste à optimiser la distribution du temps de recherche disponible afin de maximiser la probabilité de détection de la cible, ce qui se traduit par un problème d'optimisation non linéaire. Malgré les nombreuses recherches sur la question, l'approche reste majoritairement hors ligne, c'est-à-dire basée sur une planification offline, sans permettre aux drones de s'adapter en temps réel aux nouvelles informations collectées. Cette thèse s'attaque précisément à cette problématique en développant des techniques d'optimisation ou d'intelligence artificielle permettant une organisation dynamique de la recherche de cibles, capable de s'ajuster aux données mises à jour en cours de mission. Pour cela, il est crucial de maintenir une connectivité continue entre chaque drone et la station de base terrestre, afin que les informations recueillies puissent être traitées et que les nouvelles instructions soient transmises en conséquence. Cependant, dans de nombreuses applications, la qualité du réseau est insuffisante, rendant la connexion instable. Il est donc nécessaire d'envisager un réseau multi-sauts, où certains drones, hors de portée directe de la station de base, utilisent d'autres drones comme relais pour assurer la transmission des données.

Contexte scientifique :

Le sujet de thèse vise à définir des solutions technologiques permettant aux drones de maintenir une connectivité continue avec la station de base, en s'appuyant sur des drones relais tout en optimisant dynamiquement la probabilité de détection de la cible. Pour atteindre cet objectif, plusieurs verrous scientifiques seront étudiés : (i) Connectivité : la modélisation de la connectivité dans le cadre de la distribution du temps de recherche pour maximiser la probabilité de détection.

Bien que la connectivité ait déjà été abordé dans le passé pour la recherche de cible, elle l'a toujours été sous des formes très simplifiées (ex : patternes) et sans prendre en compte la distribution des ressources, pourtant essentielle dans la plupart des applications réelles. La principale difficulté réside dans le double rôle des drones, qui doivent à la fois rechercher la cible et servir de relais pour transmettre les informations aux autres drones. La qualité de la connectivité dépend directement de la distance entre les drones et avec la station de base, rendant sa modélisation particulièrement complexe. (ii) Décisions dynamiques : la modélisation d'un problème de recherche dynamique capable d'adapter, en temps réel, la distribution des ressources temporelles en fonction des nouvelles informations collectées, ainsi que la proposition de méthodes de résolution basées sur l'IA. Comme pour la connectivité, les approches dynamiques existantes ne prennent pas en compte l'optimisation de la répartition des ressources, ce qui constitue une lacune majeure dans ce domaine. (iii) Gamification : la transformation du problème d'optimisation dynamique – par essence complexe et difficile à résoudre – en un jeu vidéo dans lequel une IA peut apprendre et performer efficacement. L'intérêt de cette approche est de proposer une méthode flexible, pouvant être facilement adaptée à diverses variantes du problème, sans nécessiter d'importants efforts de recherche et développement à chaque modification du modèle. Bien que la gamification soit une approche prometteuse, elle n'a encore jamais été appliquée au problème de la recherche dynamique de cibles.

Travaux envisagés :

Le/la candidat(e) commencera par réaliser un état de l'art de la littérature scientifique afin d'étudier les différentes approches existantes pour la modélisation de la connectivité dans le cadre de la recherche de cibles. Ensuite, il conviendra d'analyser et de formaliser le problème de la connectivité continue dans ce contexte. Une modélisation reposant sur un graphe dynamique et un problème de flots sera notamment étudiée. Le développement de méthodes d'intelligence artificielle ou d'optimisation permettant d'adapter dynamiquement la recherche de cibles aux nouvelles informations collectées et/ou aux contraintes de connectivité constituera l'étape suivante. Enfin, une approche de gamification sera explorée : il s'agira de transformer le problème d'optimisation dynamique en un jeu, permettant à des IA généralistes d'apprendre et de performer efficacement.

Le calendrier prévisionnel est le suivant :

- Phase 1 : Étude bibliographique.
- Phase 2 : Formalisation et modélisation du problème d'optimisation dynamique et de connectivité
- Phase 3 : Développement et test de méthodes de résolution IA ainsi qu'une mise en place d'une preuve de concept avec des drones.
- Phase 4 : Rédaction de la thèse.

Références bibliographiques :

[1] Yu-Jun Zheng et al. "Evolutionary collaborative human-UAV search for escaped criminals". In: IEEE Transactions on Evolutionary Computation 24.2 (2019), pp. 217–231.

[2] Florian Delavernhe et al. "Planning a multi-sensors search for a moving target considering traveling costs". In: European Journal of Operational Research 292.2 (2021), pp. 469–482

[3] Stone, Lawrence D., Johannes O. Royset, and Alan R. Washburn. "Optimal search for moving targets." (2016).

[4] Ryusuke Hohzaki. "Search games: Literature and survey". In: Journal of the Operations Research Society of Japan 59.1 (2016), pp. 1–34.

[5] Nicholas D Kullman et al. "Atari-fying the Vehicle Routing Problem with Stochastic Service Requests". In: arXiv preprint arXiv:1911.05922 (2019).

Profil demandé :

Les candidats doivent posséder un diplôme de Master ou d'ingénieur en informatique. De bonnes bases en recherche opérationnelle, optimisation et IA ainsi que des compétences pratiques en programmation et des outils logiciels (par exemple, Python, C++, Cplex) et un anglais courant (écrit et parlé) sont requis. Les candidats doivent être motivés pour apprendre rapidement et travailler efficacement sur des problèmes de recherche difficiles

Financement : Bourse ministérielle

Dossier à envoyer au plus tard : début mai 2025

Début du contrat : Octobre 2025

Direction / codirection de la thèse :

Sidi Mohammed Senouci, Professeur, Université Bourgogne Europe, email : sidi-mohammed.senouci@u-bourgogne.fr

Florian Delavernhe, MCF, Université Bourgogne Europe, email : florian.delavernhe@u-bourgogne.fr

Toute candidature devra être adressée par mail qui devrait avoir comme sujet "Application for PhD position" et doit impérativement contenir les éléments suivants :

- un Curriculum Vitae détaillé (contenant notamment une description du cursus universitaire et une description de l'expérience professionnelle et de stage),
- les notes obtenues en Master/Ingénieur (avec si possible le classement),
- une liste des publications (y compris mémoire(s), rapport(s) de stage),
- Au moins deux lettres de recommandations de personnes ayant déjà travaillé avec ou encadré le candidat (lettre d'encadrant de Master ou de stage par exemple).

PhD title: Dynamic Optimization of Target Search by a Fleet of Drones Using Artificial Intelligence Techniques

Host laboratory: Université Bourgogne Europe, DRIVE UR1859, Nevers

Specialty: Computer science

Keywords: Target Search, Optimization, AI, Connectivity, Gamification, Operations Research

Job description:

Introduction / context:

The PhD position is offered by the DRIVE laboratory of the Université Bourgogne Europe, located in Nevers, France. Staffed by ca. 60 community members of which ca. 30 researchers and ca. 20 PhD. students, the DRIVE laboratory develops high-level applied and fundamental research with cutting-edge equipment. This PhD project is funded by a ministerial grant and focuses on target search.

The optimization of target search is a problem that first emerged during World War II when American researchers worked on the optimal detection of enemy submarines using a fleet of aircraft. Over the years, numerous new applications have arisen, demonstrating the tangible benefits of optimization methods. Some notable examples include: (i) searching for shipwrecks at sea, such as the USS Scorpion, the SS Central America, or the black boxes of Air France Flight AF447; (ii) early fire detection; (iii) search and rescue operations, particularly following disasters like Hurricane Katrina or when locating missing hikers with rescue teams; (iv) tracking and apprehending fugitives, especially in difficult-to-access areas such as mountains and forests. Most of these applications rely on the use of drones, whether aerial or underwater. With recent technological advances in drones, interest in this field has continued to grow, leading to an increasing number of studies on the subject. The fundamental problem underlying most of these studies is the optimization of search time distribution to maximize the probability of target detection, which translates into a nonlinear optimization problem. Despite extensive research on this topic, the predominant approach remains offline, meaning it relies on pre-planned strategies without allowing drones to adapt in real-time to newly collected information. This PhD project specifically addresses this issue by developing optimization techniques and/or artificial intelligence methods to dynamically organize target search, adjusting to updated data during the mission. To achieve this, it is crucial to maintain continuous connectivity between each drone and the base station, ensuring that the collected data can be processed and that new instructions can be transmitted accordingly. However, in many applications, network quality is insufficient, leading to unstable connections. It is therefore necessary to consider a multi-hop network, where some drones, out of direct range of the base station, use other drones as relays to ensure data transmission.

Scientific context:

The PhD project aims to develop technological solutions that enable drones to maintain continuous connectivity with the base station, relying on relay drones while dynamically optimizing the probability of target detection. To achieve this objective, several scientific challenges will be addressed: (i) Connectivity: Modeling connectivity in the context of search time distribution to maximize the probability of detection. Although connectivity has been studied in the past for target search, it has always been approached in highly simplified forms (e.g., patterns) and without considering resource distribution, which is crucial in most real-world applications. The main challenge lies in the dual role of drones, which must both search for the target and act as relays to transmit information to other drones. Connectivity quality directly depends on the distance between drones and the base station, making its modeling particularly complex. (ii) Dynamic decision-making: Modeling a dynamic search problem that can adapt resource allocation in real-

time based on newly collected information, along with the development of AI-based or OR-based solution methods. As with connectivity, existing dynamic approaches do not account for resource distribution optimization, representing a major gap in this field. (iii) Gamification: Transforming the dynamic optimization problem—intrinsically complex and challenging to solve—into a game where an AI can learn and perform efficiently. The advantage of this approach is that it offers a flexible method that can be easily adapted to various problem variations without requiring significant research and development efforts for each model modification. Although gamification is a promising approach, it has never been applied to the dynamic target search problem before.

Work envisaged:

The candidate will begin by conducting a literature review to study the various existing approaches for modeling connectivity in the context of target search. Then, the problem of continuous connectivity in this context will be analyzed and formalized. A modeling approach based on a dynamic graph and a flow problem will be specifically explored. The next step will involve developing artificial intelligence or optimization methods to dynamically adapt target search to newly collected information and/or connectivity constraints. Finally, a gamification approach will be explored: this will involve transforming the dynamic optimization problem into a game, allowing generalist AIs to learn and perform efficiently.

The provisional schedule is as follows:

- Phase 1: Bibliographic study.
- Phase 2: Removal of scientific barriers and development of operational strategies adapted to the system (localization, planning and cyber security).
- Phase 3: Testing and validation of the use cases by simulation as well as the implementation of a proof of concept with drones.
- Phase 4: Writing of the thesis.

References:

[1] Yu-Jun Zheng et al. "Evolutionary collaborative human-UAV search for escaped criminals". In: IEEE Transactions on Evolutionary Computation 24.2 (2019), pp. 217–231.

[2] Florian Delavernhe et al. "Planning a multi-sensors search for a moving target considering traveling costs". In: European Journal of Operational Research 292.2 (2021), pp. 469–482

[3] Stone, Lawrence D., Johannes O. Royset, and Alan R. Washburn. "Optimal search for moving targets." (2016).

[4] Ryusuke Hohzaki. "Search games: Literature and survey". In: Journal of the Operations Research Society of Japan 59.1 (2016), pp. 1–34.

[5] Nicholas D Kullman et al. "Atari-fying the Vehicle Routing Problem with Stochastic Service Requests". In: arXiv preprint arXiv:1911.05922 (2019).

Candidate Profile:

Candidates should have a Master's degree or an engineering degree in computer science or telecommunications. A good grounding in Operations research, optimization and Artificial Intelligence as well as practical skills in programming and software tools (e.g. Python, C++, Cplex) and fluent English (written and spoken) are required. Candidates must be motivated to learn quickly and work effectively on challenging research problems.

Funding Institution: Université Bourgogne Europe

Application deadline: Beginning of May 2025

Start of contract: October 2025

Supervisor(s) :

Sidi Mohammed Senouci, Professor, Université Bourgogne Europe, email: sidi-mohammed.senouci@u-bourgogne.fr

Florian Delavernhe, MCF, Université Bourgogne Europe, email: florian.delavernhe@u-bourgogne.fr

All applications should be sent by email with the subject "Application for PhD position" and must contain the following elements

- a detailed Curriculum Vitae (including a description of the academic background and a description of the professional and internship experience),
- grades obtained in Master's/Engineer's courses (with rankings if possible),
- a list of publications (including thesis(es), internship report(s)),
- At least two letters of recommendation from people who have already worked with or supervised the applicant (e.g. letter from Master's supervisor or internship supervisor).