

Optimisation du plan de mission d'un drone collecteur de données dans les réseaux IoT agricoles

Clara Gorbeau¹, Christophe Cariou², Jean-Claude Charr¹, Karine Deschinkel¹, François Pinet²

¹ Université Marie et Louis Pasteur, CNRS, institut FEMTO-ST (UMR 6174), F-90000 Belfort, France

{clara.gorbeau,jean-claude.charr,karine.deschinkel}@femto-st.fr

² Université Clermont Auvergne, INRAE, UR TSCF, Aubière, France,
{christophe.cariou,francois.pinet}@inrae.fr

Mots-clés : *optimisation combinatoire ; drone (UAV) ; IoT agricole ; algorithme génétique ; planification de mission ; énergie*

1 Introduction

L'essor de l'Internet des objets (IoT) a entraîné le déploiement des objets connectés destinés à surveiller divers paramètres environnementaux, tels que l'humidité ou la température du sol. Souvent enterrés pour ne pas entraver les activités agricoles, ces objets voient la transmission de données vers les passerelles en surface atténuée, car le signal radio est fortement influencé par les propriétés physico-chimiques du sol [1]. Que la communication s'appuie sur un réseau organisé ou sur une infrastructure cellulaire existante, elle peut entraîner une consommation énergétique importante du côté des objets connectés.

L'utilisation de drones aériens (UAV) en tant que stations de collecte des données pour interroger les objets connectés au plus près constitue une alternative prometteuse. Bien que cette approche augmente l'autonomie énergétique des objets, elle soulève un problème d'optimisation combinatoire consistant à déterminer une tournée en tenant compte de l'emplacement des objets, de leurs contraintes de communication (réveil, débit, volume de données) et de la cinématique du drone (vitesse de déplacement, variation d'altitude,...).

Les approches existantes, basées sur le *Close-Enough Traveling Salesman Problem* (CETSP) [3], supposent que la collecte des données s'effectue en vol stationnaire dès lors que le drone atteint la zone de communication. Pour se rapprocher des conditions réelles, nous introduisons le *Close-Enough Traveling Salesman Problem with Retention* (CETSP-R), une généralisation du CETSP qui : (i) considère la collecte des données en déplacement, sans imposer le vol stationnaire ; et (ii) intègre le temps de réveil nécessaire à l'établissement du lien de communication et le temps de transfert des données de l'objet au drone.

2 Résolution

Nous considérons que le drone débute et termine son parcours au même endroit. Chaque objet connecté i situé en O_i , avec un rayon de réveil rw_i , un rayon de communication rc_i , un temps de réveil $\Phi(i)$ et un temps de collecte $\Psi(i)$ (calculé à partir du volume de données et du débit). La récolte par le drone des données d'un objet i est illustrée sur la Figure 1, elle consiste à maintenir le drone dans la zone de réveil pendant au moins $\Phi(i)$, puis dans la zone de communication pendant au moins $\Psi(i)$ tout en restant en mouvement. Ainsi, contrairement au CETSP, nous utilisons la durée totale de la tournée comme fonction objective plutôt que la distance parcourue, car le critère temporel reflète mieux l'empreinte énergétique de la mission, tout en permettant d'intégrer dans la modélisation les temps nécessaires aux actions et ce,

de manière cohérente. La somme du temps de déplacement et des durées d’actions (réveil et collecte) pour chaque objet fournit une première estimation de la durée de la tournée.

Afin d’optimiser la tournée du drone, nous proposons deux méthodes de résolution :

Méthode 1 — Transformation gloutonne à partir du CETSP. À partir d’une solution CETSP existante [2], nous générons, pour chaque zone, la liste des fenêtres temporelles d’entrée et de sortie définies comme les intersections entre les segments de la tournée et les zones de communication. Un algorithme glouton ordonne ensuite les actions (réveil et collecte) dans les créneaux disponibles. Cette approche estime le temps de mission en exploitant le parallélisme entre le vol et la collecte des données, avec une complexité $\mathcal{O}(NM)$ (zones $\times$ segments) pour la détection des intersections, puis en temps linéaire pour l’ordonnancement.

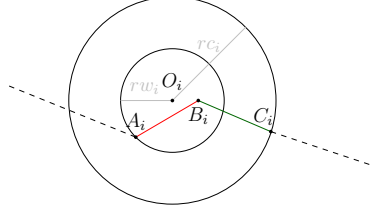


FIG. 1 – La récolte par le drone des données de l’objet connecté i . Elle comprend une période de réveil A_iB_i et une période de collecte B_iC_i .

Méthode 2 — Algorithme génétique à codage réel (RCGA). Nous optimisons directement les points de passage de début/fin du réveil et de la communication, exprimés en coordonnées polaires relatives, tout en améliorant la permutation de visite par une recherche locale 2-opt modifiée qui préserve la logique du « réveil avant collecte ». Cette approche cherche simultanément l’emplacement des segments d’action ainsi que l’ordre des visites. La vitesse moyenne de chaque segment est calculée à l’issue des emplacements trouvés.

3 Conclusion et perspectives

Les résultats de la première méthode appliquée aux instances dérivées des jeux de Mennell pour le CETSP [4] montrent que la collecte de données en vol réduit la durée de mission jusqu’à 35 % par rapport à l’approche avec le vol stationnaire. De son côté, le RCGA, non influencé par une tournée prédéfinie, permet d’améliorer la durée totale de la mission tout en adaptant la vitesse sur chaque segment. Les voies d’amélioration incluent : (i) un modèle basé sur la consommation d’énergie, (ii) la collecte de données provenant de plusieurs objets simultanément par un drone (iii) ou par plusieurs drones coopérants, (iv) la prise en compte des incertitudes sur les débits radio et (v) la prise en compte d’éventuels obstacles physiques.

Remerciement : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet « Optimisation de la Collecte de Données via Nœuds Terrestres et Vecteur Aérien, en milieu contraint, et application en agriculture » financé par l’Agence nationale de recherche (OCOD ANR-24-CE25-7644).

Références

- [1] C. Cariou, L. Moiroux-Arvis, F. Pinet, J.-P. Chanet, *Data collection from buried sensor nodes by means of an unmanned aerial vehicle*, *Sensors*, 22(15), 5926, 2022.
- [2] Z. Lei, J.-K. Hao, *An Effective Memetic Algorithm for the Close-Enough Traveling Salesman Problem*, *Applied Soft Computing*, 2024.
- [3] A. Di Placido, C. Archetti, C. Cerrone, B. Golden, *The Generalized Close-Enough Traveling Salesman Problem*, *European Journal of Operational Research*, 310(3), 974–991, 2023.
- [4] W. Mennell, *Heuristics for Solving Three Routing Problems: Close-Enough Traveling Salesman Problem, Close-Enough Vehicle Routing Problem, Sequence-Dependent Team Orienting Problem*, Ph.D. Thesis, University of Maryland, 2009.