

複数経路を用いた UAV 分散管理手法

A UAV Distributed Management Method with Multipath Routing

原口 隆彦[†]
Takahiko HARAGUCHI

片田 寛志^{††}
Hiroshi KATADA

山崎 託[†]
Taku YAMAZAKI

三好 匠[†]
Takumi MIYOSHI

山本 嶺[†]
Ryo YAMAMOTO

上田 清志^{††}
Kiyoshi UEDA

[†] 芝浦工業大学
Shibaura Institute of Technology

^{††} 早稲田大学
Waseda University

[†] 電気通信大学
The University of Electro-Communications

^{††} 日本大学
Nihon University

1. まえがき

UAV (Unmanned aerial vehicle) は、配送やセンシングといった様々なサービスでの利用が期待されており、将来的には各種サービスが混在する高密度な UAV 環境が予測される。これに対し、パケット伝送に用いる技術を応用し UAV を分散管理する手法 [1] が提案されているが、UAV が高密度に飛行する場合、空域の混雑が発生する可能性がある。本稿では、このような高密度下での課題に対応するため、複数経路を保持し動的に選択できる UAV 分散管理手法を提案する。

2. 従来手法

パケット伝送に用いる技術を応用した UAV 分散管理手法 [1] では、UAV をパケットとして扱い、ルータである地上のビーコン装置間をつなぐリンクで構成されたネットワークを用いて各 UAV を自律分散的に制御する。しかし、本手法は、宛先までの最短経路のみを中継に利用しており、空域の混雑に対応するような柔軟な経路選択はできない。また、特定のビーコン装置とその周辺の空域に UAV が集中することで、空間的な利用状況の偏りの発生が懸念される。

3. 提案手法

本稿では、宛先までの経路が複数存在する状況に対応した UAV 分散管理手法を提案する。提案手法は、宛先までの複数の経路候補を構築する手法と、経路候補から次ホップとなる隣接ルータを選択する手法の二つで構成される。

複数経路構築手法: まず、ダイクストラ法を用いて宛先となる各ルータまでのホップ数が最小となる経路を構築する。次に、この経路を 1 番目の経路とし、2 番目以降の経路をマルチパスアルゴリズムにより構築する。ここでは、既に構築済みの経路と出発地と宛先を除く各ルータを共有しないノード素な経路を構築するアルゴリズム、既に構築済みの経路とリンクを共有しないリンク素な経路を構築するアルゴリズム [2]、 k 番目に短い経路を構築する際に用いられる Yen のアルゴリズム [3] のいずれかを用いる。各ルータは、構築した経路に基づき、宛先となるルータの情報、ホップ数、次ホップルータの情報で構成される経路情報を経路表に追加する。なお、Yen のアルゴリズムで構築した経路候補間で次ホップルータが重複した場合は、宛先までのホップ数が最も小さい経路の情報を経路表に追加する。

経路候補に対応した次ホップを選択する手法: ルータ r_i は、UAV から受信した宛先ルータ情報に対応する次ホップ候補となるルータ群 $\mathbf{N}(r_i)$ を経路表から抽出する。UAV が出発地に位置する場合、ルータは、ホップ数が最小となる経路に対応する次ホップを選択後、次ホップルータの情報を送信する。UAV は、宛先ルータまでのホップ数を保持しており、ルータが保持する宛先までのホップ数を用いてルータを経由する度に更新する。UAV が出発地以外に位置する場合は、次ホップ候補となるルータ群 $\mathbf{N}(r_i)$ に占有率 $c_{r_j}(t)$ を問い合わせる。占有率 $c_{r_j}(t)$ は、ルータ上空の混雑度を示しており、ルータの滞留可能台数 $q_{r_j}^{\max}$ と、ルータの滞留台数 $q_{r_j}(t)$ 及び隣接ルータから自身に向けてリンクを飛行中の台数 $b_{r_k, r_j}(t)$ ($r_k \in \mathbf{N}(r_j)$) から、式 (1) により導出する。

$$c_{r_j}(t) = \frac{q_{r_j}(t) + \sum_{r_k \in \mathbf{N}(r_j)} b_{r_k, r_j}(t)}{q_{r_j}^{\max}} \quad (1)$$

次に、ルータは、UAV が既に経由済みのルータ、UAV が保持する宛先ルータまでのホップ数よりも大きいホップ数をもつ経路候補に対応するルータ、占有率 $c_{r_j}(t)$ が 1.0 であるルータを候補から除外し、残ったルータから宛先までのホップ数が最小のものの中で、占有率 $c_{r_j}(t)$ が最も小さいものを次ホップとして選択する。以降の処理は従来手法 [1] に準ずるものとし、次ホップルータからの飛行許可に基づき UAV は次ホップルータに向け飛行を行う。

4. シミュレーションによる性能評価

5 km 四方の領域にルータを 132 台配置し、UAV を 400 台ランダムに生成して性能を評価した。各ルータの通信範囲は 500 m、UAV の飛行速度は 10 m/s、また UAV のバッテリー持続時間は 30 分とし、出発後に宛先を経由して出発地に帰着するものとする。ルータの滞留可能台数は 4 台、UAV の飛行間隔距離は 30 m とし、経路候補に用いるマルチパスアルゴリズムとルータがもつ各宛先までの最大経路候補数を 1~3 本と変化させて、UAV の最終到達地点の内訳を比較した。

図 1 より、ルータがもつ各宛先までの経路候補数を増加させた場合、空域の混雑を回避するような柔軟な経路選択が可能になったことで、宛先に到達し往復を完了した UAV の割合が増加している。また、リンクやルータの重複を考慮せずに宛先ルータまでの経路候補が複数構築可能な Yen のアルゴリズムを用いた場合の往復完了率が高くなっていることが分かる。

5. むすび

本稿では、宛先までの経路が複数存在する状況に対応した UAV 分散管理手法を提案し、性能評価を行った。今後は、他のマルチパスアルゴリズムを用いた場合の評価を行う予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP21K11875 の助成を受けた。

文献

- [1] 原口隆彦, 片田寛志, 山崎 託, 三好 匠, 山本 嶺, 上田清志, “ネットワーク技術を応用した UAV 分散管理手法の性能解析,” 信学技報, vol. 22, no. 170, pp. 66–69, Sept. 2022.
- [2] C.-L. Li, S.T. McCormick, and D. Simchi-Levi, “Finding disjoint paths with different path-costs: Complexity and algorithms,” Networks, vol. 22, no. 7, pp.653–667, Dec. 1992.
- [3] J.Y. Yen, “Finding the K shortest loopless paths in a network,” Manag. Sci., vol. 17, no. 11, pp. 712–716, July 1971.

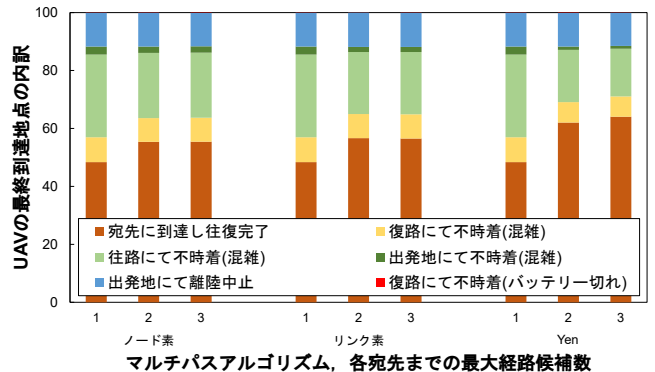


図 1 UAV の最終到達地点の内訳