

# 未知領域探査のための複数ドローンを利用した 動的な三次元環境地図生成による AR 可視化

## Multiple Drones-Based AR Visualization with Dynamic Environmental Maps for Unknown Area Exploration

竹内 一真 / Kazuma Takeuchi

### 1 はじめに

近年、ドローン用途は急速に成長しており、中でも小型ドローンの特徴である機体の大きさを活かして、人間が入れないような狭い空間での活躍の場も増加しており、将来的には狭小空間の未知領域探査への応用が期待されている [1]。しかし、狭小空間でのドローン飛行は遮蔽物が多く、操縦者は遮られた視点からの操縦を必要とするため、死角領域内のドローン操縦では、ドローンを視認できない中、衝突することなく、安全に操縦する技術が求められる。

そこで、事前に走行環境をマッピングし作成した三次元環境地図を Augmented Reality (AR) により表示し、死角領域内を可視化することによる、狭小空間での未知領域探査におけるドローン操縦性向上や安全性向上が期待されている [3]。しかし、未知領域でのドローン操縦において、事前に三次元環境地図を用意することは困難なため、ドローンが一からマッピング、自己位置推定などを行う環境でも同じ効果を発揮できるのか示されていない。また、ドローンはバッテリー上限が短く、短時間での効率的な探査を必要とするため [4]、複数ドローンの利用を検討されているが、環境中のドローンの数が多ければ多いほど、衝突のリスクは高くなり、また、探査領域の重複も考えられる。

本研究では、狭小空間による死角領域内において、未知領域探査へ投入するドローン数の増加に伴う、探査効率の問題を軽減するため、各ドローンが SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いて取得したセンサ情報を統合した上で、AR により操縦者の死角領域内を可視化する方式を提案する。

### 2 提案方式

#### 2.1 死角領域内の AR 可視化

提案方式の概要を図 1 に示す。先に述べた関連研究 [3] を元に、操縦者に死角領域内の空間認識を提供する。ドローンと操縦者の間に遮蔽物が存在する場合、ドローンが飛行している場所が操縦者にとっての死角領域となる。死角領域が存在すると判断したとき、マッピングした三次元環境地図における遮蔽物を透過した上で、現実環境に重畳表示することで、仮想的に死角領域の空間認識を提供する。

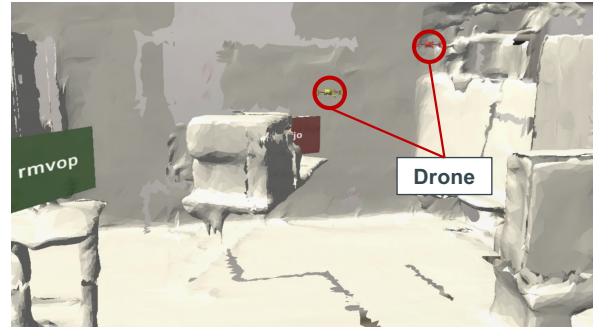


図 1: 複数ドローン混在時における死角領域内の可視化

#### 2.2 複数ドローンのセンサ情報統合

本研究におけるドローン操縦では、リアルタイムでマッピングを行い、三次元環境地図を作成する必要がある。そこで、各ドローンは vSLAM (visual SLAM) である ORB-SLAM2 を用いて、単眼カメラで取得した画像から特徴点を抽出し、自己位置推定を行い、周囲の環境の点群情報を取得する。しかし、各ドローンの位置情報、生成した点群情報は個々で独立している。そこで、各ドローンをワールド座標系で管理し、各ドローンの位置情報、点群情報を統合し、操縦者へ提供する仮想的な三次元環境地図、ドローンを生成する。

#### 2.3 遮蔽物との距離を考慮した危険度の付与

生成した三次元環境地図を操縦者へ提供し、三次元環境地図上の遮蔽物を透過することで死角領域内を可視化する。しかし、複数の遮蔽物が存在し、同じ透過度の遮蔽物が重なる場合、どの遮蔽物がドローンに最も近傍であるか認識できなくなり、操縦性の低減や遮蔽物・障害物への衝突危険性を向上させてしまうことが推測できる。そのため、ドローンから距離の遠い遮蔽物の透明度を向上し、ドローンから距離の近い遮蔽物の透明度を低下させ、その上、ドローンから遮蔽物までの距離に応じて、障害物の色を分類し、近傍の障害物の危険性を警告する機能を開発する。

### 3 評価

#### 3.1 実験と評価項目

システム構成を図 2 に示す。本研究では 2 つのドローン操縦方式を用意し、二人称視点方式、可視化方式と定義する。ドローンが撮影する映像を頼りに操縦を行う従来のド

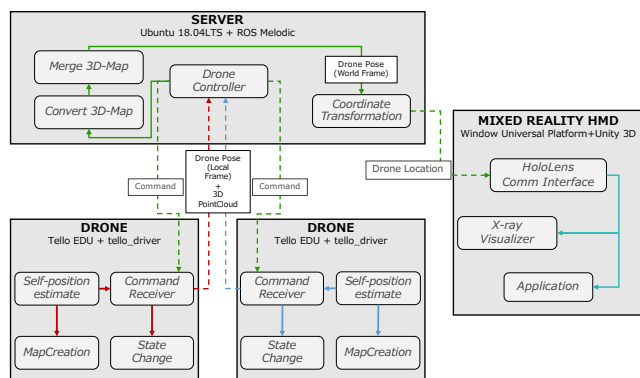


図 2: システム構成

ローン操縦手法である二人称視点方式と、AR を用いて死角領域内の空間認識を提供した上、ドローン上部にドローンカメラ映像を映し出すことにより、一人称視点でのドローン操縦を可能とした可視化方式を提案方式と比較する。

実験環境には、赤色と緑色の異なる背景色で表示されたモニター 2 台を設置しており、実験参加者は、スタート地点よりドローンを移動させ、2 台のモニターに表示されたランダムなテキストを、赤色のモニター、緑色のモニターの順で報告し、ドローンを着陸させるタスクを行なった。評価項目は操縦者がタスクを完了するまでの操縦時間、障害物への衝突警告回数とする。本研究では、実際にドローンが障害物に衝突しないように、障害物へ衝突する直前に衝突警告を表示しており、衝突警告の回数を衝突警告回数としている。

### 3.2 結果と考察

タスク完了までの平均操縦時間の評価結果を図 3 に示す。平均操縦時間、平均衝突警告回数では、rANOVA の結果、3 方式の少なくともどれか一つに有意な差があった ( $p < 0.001$ )。Bonferroni 法の多重比較 ( $p < 0.05$ ) では、提案方式は二人称視点方式、可視化方式より、平均操縦時間は有意に減少することがわかった ( $p < 0.05$ )。提案方式では実験環境に飛行しているもう一台のドローンのセンサ情報を統合しているため、もう一台のドローンのカメラ映像も使用しマッピングしており、ドローン周辺を見渡す機会が少なく、操縦時間を有意に減少させていたと考察できる。

次に、障害物への平均衝突警告回数の結果を図 4 に示す。Bonferroni 法の多重比較 ( $p < 0.05$ ) では、提案方式は二人称視点方式より、平均衝突警告回数は有意に減少したが ( $p < 0.05$ )、可視化方式より有意に減少しなかった ( $p = 0.6169$ )。可視化方式はドローン周辺の三次元環境地図を復元することには時間がかかるが、カメラ映像があるため、安心してドローン操縦を行っていると推測できる。そのため、AR により遮蔽物の危険度を提供するだけでは不十分であり、現実環境の映像を加えることにより、操縦者

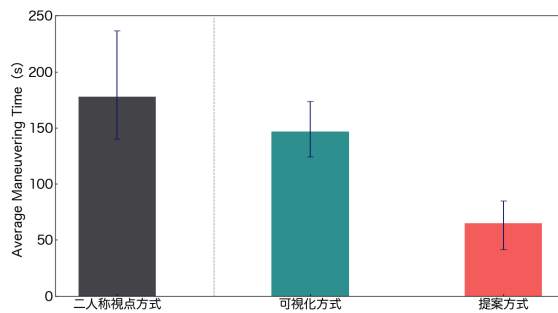


図 3: 平均操縦時間

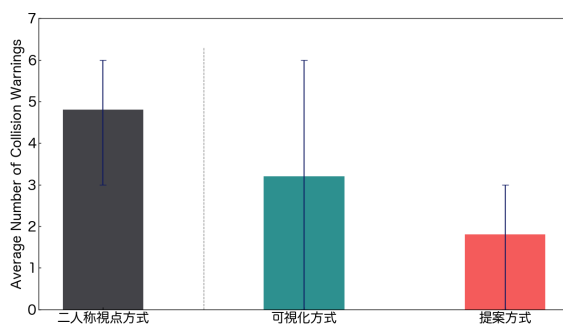


図 4: 平均衝突警告回数

の安全性をより向上させることができることを確認した。

## 4 おわりに

狭小空間の未知領域探索では、複数台のドローンを使用することで、各ドローンの走行時間を減少させ、探索効率を向上させることを期待されている。しかし、ドローンの数が多いほど衝突のリスクは高く、また、探索領域の重複による探索効率の低下を招く可能性がある。

そこで本研究では、各ドローンがリアルタイムで取得する位置情報、三次元環境地図のセンサ情報を統合し、AR を用いて操縦者の死角領域内に存在するドローンと周辺環境を可視化する方式を提案する。提案方式では実験環境での平均操縦時間が短く、衝突警告回数も従来の操縦手法より減少したため、未知領域探索での探索効率・安全性の向上させることを確認した。

## 参考文献

- [1] 野波健蔵: ドローン技術の現状と課題およびビジネス最前, 情報管理, Vol.59, No.11, pp.755-763 (2017).
- [2] 山越靖之, 木田哲夫, 湯浅弘章: 屋内空間におけるドローンの活用に関する検証 (平成 30 年度消防技術安全所の検証成果等) - (消防活動・隊員の安全管理に関する技術改良・検証), 消防技術安全所報, No. 56, pp. 26 - 37 (2019).
- [3] Erat, O., Isop, W. A., Kalkofen, D. and Schmalstieg, D.: Application of UAV imaging platform for vegetation analysis based on spectral-spatial methods, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 24, No. 4, pp. 1437-1446 (2018).
- [4] Gupta, L., Jain, R. and Vaszkun, G.: Survey of Important Issues in UAV Communication Networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 18, No. 2, pp. 1123-1152 (2016).