

狭小空間監視のための複数ドローンを利用した 動的な 3 次元環境地図生成による AR 可視化手法

AR Visualization Method by Dynamic 3D Environmental Map Generation Using Multiple Drones for Narrow Space Surveillance

竹内 一真 / Kazuma Takeuchi

1 はじめに

近年、多方面でのドローンを活用した事業が進出しており、インフラ点検や災害調査など、応用分野を拡大しながら、世界のドローン市場は急速に成長している [1]。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いる。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。そのため、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。オンボードカメラ搭載ドローンを使用する場合では、操縦者は、ドローンから送られる空撮した映像を元に操縦が可能となる。しかし、カメラが前方しか写さないことにより、前方以外の死角が多くなり、状況認識が不十分となるため [2]、狭小空間のように狭く、障害物が多いような環境では、操縦は困難である。小型ドローンでは、センサ搭載制限があるため、障害物回避の支援がないことが多く、衝突の危険性があり、また、障害物回避の機能を搭載していても、狭小空間では障害物回避が行えない場面が多く存在する [3]。

そこで、Augmented Reality (AR) を用いて死角領域内を可視化することにより、狭小空間におけるドローンの操縦性向上や安全性向上が期待されている [4]。事前に走行環境をマッピングすることで 3 次元環境地図を取得し、空間認識を提供している。しかし、狭小空間のドローン操縦において、事前に 3 次元環境地図を用意することは困難なため、走行環境を探索する中で、リアルタイムにマッピングを行う必要がある。その上、一台のドローンだけではマッピング範囲が狭く、未知の走行環境を見通せない。また、複数ドローンが混在する場合も問題である。各ドローンがマッピングした 3 次元環境地図が異なり、各操縦者が視認している環境が異なるため、作成した 3 次元環境地図を統一し、精度を向上する必要がある。本研究では、狭小空間による死角領域内の複数ドローン飛行の危険性を軽減するため、リアルタイムに 3 次元環境地図を作成、合成し、AR により操縦者の死角領域内を可視化するシステムを開発する。

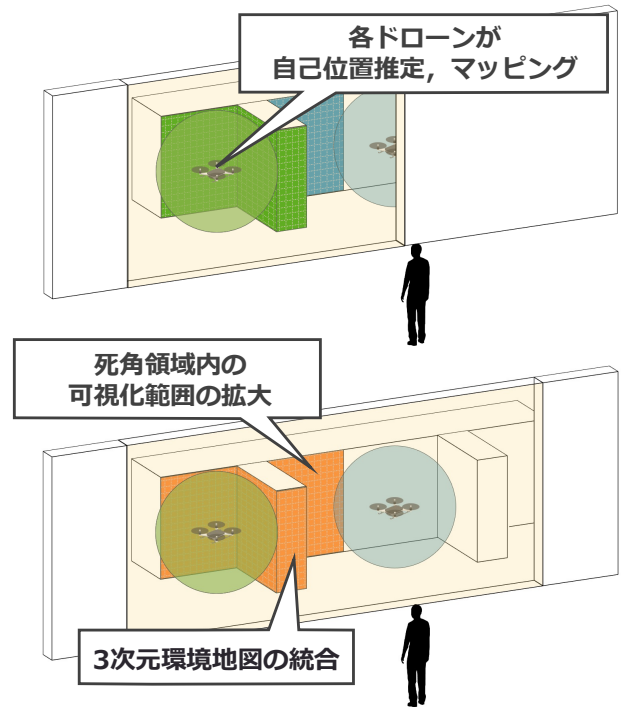


図 1: 複数ドローン混在時における死角領域内の可視化

2 提案システム

2.1 概要

本研究では、狭小空間により、操縦者と小型ドローン（以下、ドローン）の間に遮蔽物があり、ドローンを視認できない環境を「死角領域」とする。提案システムを図 1 に示しており、各ドローンがリアルタイムで走行環境をマッピングし生成された 3 次元環境地図を、AR により重畳表示することで、死角領域内の空間認識を提供している。

2.2 死角領域内の AR 可視化

先に述べた先行研究 [4] 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と判断した際、ドローンが飛行している場所を操縦者にとっての死角領域としている。死角領域が存在すると判断したとき、マッピングした 3 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、仮想的に死角領域を可視化している。操縦者は、死角領域内を飛行するドローンを視認することはできないが、AR に

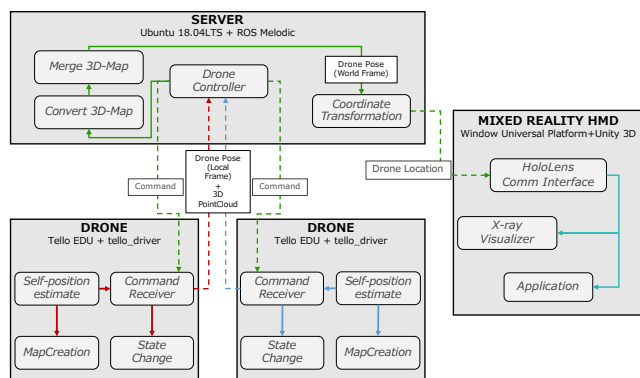


図 2: システム構成

よって仮想のドローンと、ドローン周辺の三次元環境を視認することができる。

2.3 3次元環境地図の生成

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、3次元環境地図を作成する必要がある。本来の3次元環境地図はセンサーデータの重ね合わせによって生成しており、膨大な数の点の集合であり、データ量が非常に大きい。そのため、ARに与える計算負荷が大きい。そのため、3DマッピングフレームワークであるOctoMapを用いることで、簡易的に3次元環境地図を生成する。各ドローンはVisual SLAMであるORB-SLAM2を用いて、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3Dポイントクラウドを取得する。取得した3Dポイントクラウドをもとに、OctoMapによる3次元環境地図を生成することで、ドローン周辺の環境を仮想的に再現する。また、各ドローンの位置情報、生成した3次元環境地図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する。その上で、3次元環境地図が重なる場合には、3Dポイントクラウドを合成しOctoMapに変換することで、より精度を高めた共通の3次元環境地図を生成する。

3 評価

3.1 実装環境

システム構成を図2に示す。使用するドローンはRyze Tech社製Tello EDU（以下、Tello）を用いる。Telloはプログラミングによってフライトコントロールを行うことができ、規定のコマンドを送信することで飛行制御することができる。

ARHMDはMicrosoft HoloLens2（以下、HoloLens）を使用する。システムはHoloLens2上でUnityアプリケーションが動作しており、Unity内で仮想ドローン、3次元環境地図を配置する。

サーバではTello、HoloLensとUDP通信を行っており、常時、Telloの位置情報をHoloLensに送信する。Telloより受け取った値をUnity座標系へ変換し、変換後の値を反映させることにより、仮想ドローンの位置合わせを行っている。

3.2 実験

死角領域内を飛行するドローンの操縦において、各方式がどのような影響を与えるかを評価するため、実験協力者による実験を行う。実験参加者はドローンをスタート地点から目的地まで操縦し、目的地で着陸するタスクを行う。実験では従来のFPVによるドローン視点をもとに飛行する操縦手法、死角領域内を可視化した操縦手法、複数ドローンの3次元環境地図を合成した操縦手法の計3つの手法で実験を行う。

3.3 評価項目

本提案手法を用いることによって狭小空間探索を手軽に安全に行えるかを検証するため、主観的評価と客観的評価を行う。主観的評価として参加者へのアンケート、客観的評価として操縦者がタスクを完了するまでの平均操縦時間、障害物への平均衝突回数、ドローン移動コマンドの平均間隔時間を評価する。

4 おわりに

小型ドローンは機体の大きさを活かして、インフラ点検や災害調査のような、人間が立ち入れない狭小空間での活躍が増えている。しかし、狭小空間でのドローン飛行では、遮蔽物による視点が遮られる死角領域内での操縦を必要とする。そのため、遮蔽物、障害物が多い狭小空間では、死角領域内におけるドローン飛行の危険性を軽減する必要がある。

そこで本研究では、各ドローンがリアルタイムで飛行環境をマッピングし生成された3次元環境地図をもとに、ARにより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ARシステムを提案する。本提案システムについて、死角領域内でのドローン操縦性を評価実験する。

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] Green S. A. , Chase J. G., Chen X. and Billinghamurst M.: Evaluating the Augmented Reality Human-Robot Collaboration System, 2008 15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, pp.521-526（2008）。
- [3] 東京消防庁：屋内空間におけるドローンの活用に関する検証，<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/hp-gijyutuka/shyohou2/56/56-3.pdf>
- [4] Erat O., Isop W. A., Kalkofen D. and Schmalstieg D.: Drone-Augmented Human Vision: Exocentric Control for Drones Exploring Hidden Areas, In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol.24, no.4, pp.1437-1446（2018）。