

ArduPilot を用いたドローン協調搬送システムの研究進捗報告書

2025 年 6 月 16 日 瀧 敬太

1 概要

本研究では、ArduPilot オープンソースフライトコントローラーを基盤として、複数のドローンによる協調搬送システムの開発を行っている。Pixhawk6C を用いた実装により、高精度位置推定技術と制御アルゴリズムを統合し、効率的な荷物運搬システムの実現を目指している。現在、単機での位置制御システムが完成し、2 台同時飛行に向けた準備が整っている。

2 研究計画

協調搬送システムの実現に向けて、以下の段階的な開発計画を立てている：

1. 単機での高精度位置制御システムの構築（完了）
2. 複数機による同時飛行システムの開発
3. 空中ドッキング機構の設計・実装
4. 協調制御アルゴリズムの最適化

3 導入

3.1 研究の背景と意義

ArduPilot は、農業用搬送ローバーや自律走行車両など、多様な自律制御システムに応用されている実績豊富なオープンソースプラットフォームである。この技術を空中協調搬送に転用することで、災害時の物資輸送や建設現場での重量物運搬など、従来の輸送手段を補完する重要な技術の実現が期待される。

3.2 解決すべき課題

協調搬送においては、各ドローンの正確な位置把握が不可欠である。また、複数機による荷

物搬送では、単機とは異なる制御アルゴリズムが必要となる。さらに、一台が故障した場合の安全性確保も重要な課題である。

3.3 研究目的

本研究の目的は、ArduPilot と Pixhawk6C を用いて、高精度位置推定技術と新しい制御アルゴリズムを統合した協調搬送システムを開発することである。

4 高精度位置推定技術

4.1 複数センサーフュージョン方式

協調搬送における正確な位置把握のため、以下の位置推定手法を組み合わせている：

- カメラベース位置推定: AR マーカーやサンプリングモアレを用いた視覚的位置測定
- RTK-GPS(GNSS): Real Time Kinematic システムによる高精度測位
- モーションキャプチャシステム: 室内環境での高精度 3 次元位置測定

4.2 RTK-GPS 技術

RTK (Real Time Kinematic) は、基準局と移動局の 2 台の GNSS 受信機を使用し、基準局からの補正情報をリアルタイムで移動局に送信することで高精度測位を実現する技術である。水平方向で 2-3cm、鉛直方向で 3-4cm 程度の精度を達成できる。

5 協調搬送の配置方法

5.1 搬送配置の比較検討

ドローン協調搬送では、複数の配置方法が考えられる。

表 1: システム構成

コンポーネント	仕様
フライトコントローラー	Pixhawk6C (STM32H743)
コンピュータ	Raspberry Pi 5
通信方式	UART (ハードウェアフロー制御)
プロトコル	MAVLink
位置取得	モーションキャプチャ

5.1.1 水平配置方式

複数のドローンが水平に並んで荷物を吊り下げる方式では、荷物を斜めに引っ張ることになり、推力効率が低下する問題がある。水平配置では、各ドローンが重力に対して斜め方向に力を加えるため、効率的な推力配分が困難となる。

5.1.2 垂直配置方式（提案手法）

ドローンを縦方向に数珠つなぎで配置する方式は、重力方向に対して効率的な推力配分が可能で、省エネルギー効果が期待できる。さらに、一台のドローンが故障した場合でも、他のドローンとの物理的連結により墜落リスクを軽減できる。この垂直配置により、各ドローンは重力方向に直接対抗する推力を発生させ、システム全体の効率を向上させることが可能である。

6 システム実装と進捗

6.1 ハードウェア構成

現在の実装では以下のハードウェア構成を採用している：

6.2 実現済み機能

ArduPilot カスタマイズにより、以下の機能を実現している：

- ArduPilot への独自プログラム組み込み
- RTOS (Real-Time Operating System) による定期実行
- MAVLink メッセージプロトコルのカスタマイズ
- pymavlink ライブラリによるリアルタイム通信
- PID ゲインやフィルター設定の動的調整
- 内部変数への情報格納と活用

6.3 位置制御システム

モーションキャプチャシステムから得られる位置情報と姿勢角を基に、仮想 GPS 信号を生成して Pixhawk6C に送信している。モーターノイズ対策として、モーションキャプチャデータと磁気センサーのハイブリッド姿勢推定を実装している。

具体的には、位置情報とヨー角をモーションキャプチャから取得し、モーターの近接によるノイズ増大を考慮してモーションキャプチャの重み付けを大きく設定することで、トラッキング外れ時の暴走を防止している。

7 実験結果と性能評価

7.1 位置制御精度

開発したシステムでは、キーボード入力による 6 軸制御（前後左右上下、ヨー角の調節）が可能となっており、目標位置への移動・ホバリング制御を実現している。目標位置も GPS 信号に変換してドローンに渡すことで、指定位置での自動ホバリングが可能である。

7.2 通信性能

UART ハードウェアフロー制御により、大容量データの安定した通信を実現している。この通信基盤により、リアルタイムでの内部状態監

視（位置推定）や、PID ゲイン・フィルタ設定・通信方法の設定変更が可能となっている。

8 直近の予定

8.1 2 台同時飛行の準備

- もう 1 台のドローン作成完了
- プロポ接続用コネクタ到着待ち（注文済み）
- コネクタ到着次第、2 台同時飛行テスト開始予定

8.2 性能改善計画

より大きなプロペラへの変更により、燃費改善効果の検証を行う予定である。推力効率の向上により、搬送能力の向上と飛行時間の延長を目指している。

9 今後の開発計画

9.1 短期目標

- 2 台ドローンの物理的接続飛行の実現
- 空中ドッキング方法の検討と実装
- カスケード PID から他の制御手法への変更
- 接続方式の検討

9.2 中期目標

- ドッキング方式の確立（お互いにドッキングする方法）

9.3 ハードウェア改良

重量対策として、以下の改良を検討している：

- モーターの高出力化
- バッテリーシステムの改良
- おもりをバッテリーとして活用し、そこから給電を行うシステムの導入

9.4 協力要請事項

カメラベース位置推定の実装について、以下の内容で担当希望者を募集している：

- モーションキャプチャレス環境での高精度飛行

- AR マーカーやサンプリングモアレを用いた位置推定システム

10 技術的成果

本研究において達成された主要な技術的成果を以下にまとめる：

- ArduPilot の独自カスタマイズによる RTOS 定期実行システム
- MAVLink プロトコルの拡張とカスタムメッセージの実装
- ハイブリッド姿勢推定による高精度位置制御
- リアルタイム通信による動的パラメータ調整機能
- 仮想 GPS 生成による屋内高精度飛行制御

11 結論

本研究では、ArduPilot と Pixhawk6C を用いたドローン協調搬送システムの基盤技術を確立した。単機での高精度位置制御システムが完成し、2 台同時飛行に向けた準備が整っている。

垂直配置方式による協調搬送は、従来の水平配置方式と比較して推力効率の向上と安全性の向上が期待できる。今後は、物理的接続機構の開発と制御アルゴリズムの最適化を進め、実用的な協調搬送システムの実現を目指す。

また、カメラベース位置推定システムの開発により、モーションキャプチャ環境に依存しない自律飛行システムの実現も重要な課題として取り組んでいく予定である。