

研究開発構想(個別研究型)
空域利用の安全性を高める複数の小型無人機等の自律制御・分散制御
技術及び検知技術

「災害・緊急時等に活用可能な革新的自律制御ドローン及び自
律分散協調飛行制御技術の研究開発」

研究開発実施報告書(年次)
令和6(2024)年度

研究代表者
神村 明哉
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 情報・人間工学領域
インテリジェントシステム研究部門 副研究部門長

1. 当該年度における研究開発の実施概要

(1) 研究開発概要

災害調査、インフラ点検、警備といったシーンにおいて、多数の小型無人機を活用した情報収集や救助支援等の任務を想定し、未知で複雑な環境、非GNSS、通信途絶時においてもシームレスに複数機が協調しながら、安全かつ効率的に飛行を継続できる高度な自律制御ドローン及び自律分散協調飛行制御技術の研究開発を進め、100台規模の実機シミュレーション、10機での現場実証を通して有効性の検証を行います。

(2) 実施内容と成果の概要（研究開発開始から当該年度末まで）

令和 6(2024)年度は、(1)研究開発概要に示す最終目標に対して、リザーバーコンピューティングを用いた非GNSS環境における自己位置推定手法の研究、機体周囲の他機体・障害物の高速認識技術の開発、分散協調飛行に関する ConOps(運用構想)の策定、機体間(V2V)通信を実現するマルチバンド通信デバイスの試作、LiDAR SLAM による自律障害物回避手法の研究開発、大規模ドローンシミュレーション環境の構築と検討、高ロバスト性ドローンの試作と風洞実験、離発着ガイダンスシステムの仕様検討と各種インターフェースの基本設計を実施しました。以下で、研究開発項目毎に具体的な実施内容を記載します。

研究開発項目1「環境・マップ照合自己位置推定技術の開発」では、GNSS 信号が完全にロストしたケース(非 GNSS 環境)下で、安全に飛行を継続するために必要な自己位置推定手法に関して、3次元 LiDAR を搭載した機体2台を製作し、産総研の屋内ドローン試験場において LiDAR SLAM による自己位置推定、3次元環境マップ生成を検証しました。また、高高度を飛行する場合や洋上を飛行する場合など地上のランドマークが捕捉できず LiDAR SLAM を利用できない場合に有効な、RNN(Recurrent Neural Network)の一種であるリザーバーコンピューティング(Reservoir Computing)を用いた自己位置推定手法の研究を実施しました。実機ドローンシミュレータを活用し、ドローンからの 10 次元の IMU 情報を入力、GNSS 位置差分値を教師データとして学習を行い、学習時とは異なる複雑経路に適用した結果、シミュレータ上の飛行ルートと推定経路間の逸脱誤差が 3.3%という結果が得られました。

研究開発項目2「マルチビジョンセンサーによる他機体・障害物認識技術の開発」では、複数のカメラやイベントベースビジョンセンサーを組み合わせたマルチビジョンセンサーにより、ドローンが全周囲の障害物や他機体・生物を高速かつ高精度に認識する技術を開発しています。これにより、未知・複雑・非 GNSS 環境下でも安全な飛行や衝突回避・追尾飛行が可能となります。2024 年度は3台の広角イベントカメラを使った全方位マルチビジョンセンサー試作機を開発し、高速な移動体の追跡や 3 次元軌跡推定、障害物回避シミュレーションを実施しました。さらに、ドローンのプロペラ回転も検出できることを確認しました。

研究開発項目3「分散協調飛行 ConOps 及びプロファイルの開発」では、研究開発開始から 5 年以内に実施する多数ドローンの分散協調飛行に係る運用の概念や要件を明確にすることを目標とし、2024 年度は国内外の分散協調飛行に係る研究開発あるいは運用に関する事例調査を行うとともに、広域情報収集を行う際の分散協調飛行 ConOps 及びオペレーションプロファイルの開発を行いました。

研究開発項目4「GNSS、マルチバンド機体間通信による自律分散協調飛行制御技術の開発」では、災害調査、インフラ点検、警備といったシーンにおいて多数(最大 100 台)の小型無人機を活用した情報収集や救助支援等の任務を想定し、地上との小型無人機との間が通信途絶となった場合においても複数機が協調しながら安全かつ効率的に飛行を継続できる高度な自律分散協調飛行制御技術の研究開発を進めています。2024 年度においては、自律分散制御技術として 100 機の群制御飛行が可能な GNSS・マルチ

バンド機体間通信技術の仕様検討、設計及び一部試作を行いました。具体的には、災害対応ミッションを想定した 100 台規模の自律分散飛行のための機体間 (V2V) 通信を実現するための 920MHz 帯 LPWA (クラスタ間・長距離) と 2.4GHz 帯 BLE 及び 920MHz 帯 FSK (クラスタ内・短距離) を組み合わせたクラスタ型マルチバンド V2V ネットワークのアーキテクチャ設計を行い、V2V デバイスの一部試作を完了しました。また、上記アーキテクチャを実現する機体間通信用デバイスおよび飛行制御ソフトウェアの技術仕様の検討と評価プログラムの一部試作を完了しました。

研究開発項目 5「非 GNSS・非機体間通信での革新的自律分散協調飛行制御技術の開発」では、非 GNSS 環境下においても安全な自律飛行を可能とするために、機体に搭載された 3 次元 LiDAR を用いた LiDAR SLAM 技術の実装、環境マップ生成手法の開発、機体単体による自律障害物回避経路計画手法の研究開発を実施しました。自律障害物回避経路計画手法の検証として、実機ドローンシミュレータを活用したアルゴリズムの検証に加え、開発した実機ドローンに搭載したオンボード計算機にアルゴリズムを実装することで、スタンドアローンで非 GNSS の屋内環境における自律ウェイポイント飛行、また静的・動的障害物環境下での 2 次元自律回避飛行を実現しました。

研究開発項目 6「大規模マルチドローンシミュレーション環境の構築」では、100 台規模のドローン群による自律分散協調飛行アルゴリズムの検証が行える実機ドローンシミュレータの実現を目標に、これまでに開発実績のある ROS1、SITL シミュレータ、動力学シミュレータ Gazebo による実機ドローンシミュレータ上で、機体数を 20 台、30 台、50 台、70 台に変化させた場合の飛行シミュレーションを実施しました。現状、機体台数の増加に伴い実行速度が低下する (実時間より遅くなる) 課題があり、分散シミュレーションアーキテクチャについて検討を進めています。また、最終実証試験を予定している福島ロボットテストフィールドの 3 次元環境モデルを制作し、シミュレーション内にデジタルツインの環境を再現した複数台の飛行検証を行いました。

研究開発項目 7「革新的自律制御・分散制御技術を実装した高ロバスト性ドローンの開発」では、国内メーカーと連携し、耐風性能の高いプロペラ形状の検討と開発、高効率モータの選定を行いました。新規のプロペラとモータを試験機体に搭載し、福島ロボットテストフィールドの風洞試験施設で耐風試験を行いました。また、これらと並行して 30 分のフライトが可能な大容量バッテリーの調査、エンジン発電機の搭載についても検討を行いました。

研究開発項目 8「ポート周辺に対応する環境情報基盤とのデータ連携による安定、高効率自動離発着技術」では、複雑環境下でも安定で高効率な離発着を実現する離発着管理技術することを目標として、8-1: ポート周辺環境情報のデジタル化技術を適用する環境情報基盤と、8-2: 環境データ及び上空ドローンと連携する離発着ガイダンスシステムを開発しています。2024 年度は、8-1 に関して環境情報基盤で用いる気象データ提供機能、通信評価機能、飛行体監視機能、環境情報管理サーバの各機能で用いるデータの分析、要素試作などによるフィジビリティスタディに基づいて、今後構築する機能の仕様を策定しました。8-2 に関して、地上に設置する離発着ガイダンスシステムと連携して飛行する群機体の離発着ポート及び周辺における運航のオペレーションコンセプトを設計し、離発着ガイダンスシステムへの要件を抽出しました。また、抽出した要件に基づいて離発着ガイダンスシステムと地上-上空システムを連携するインターフェースの基本設計を行いました。

2. 主たる研究分担者一覧

土屋 武司 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

松村 武 (情報通信研究機構 ネットワーク研究所 室長)

曾谷 英司（イームズロボティクス株式会社 代表取締役社長）

中津 欣也（株式会社日立製作所 研究開発グループ 主管研究長）