

卒業論文 2016 年度 (平成 28 年度)

遠隔 UAV 操作における複数人称視点を実現する飛行モデルの 提案

指導教員

慶應義塾大学環境情報学部

徳田 英幸

村井 純

楠本 博之

中村 修

高汐 一紀

Rodney D. Van Meter III

植原 啓介

三次 仁

中澤 仁

武田 圭史

慶應義塾大学 環境情報学部

森重 浩直

morishi@ht.sfc.keio.ac.jp

卒業論文要旨 2016 年度 (平成 28 年度)

遠隔 UAV 操作における複数人称視点を実現する飛行モデルの提案

論文要旨

近年、ハードウェアデバイスの小型化・高性能化により、Pepper や Roomba などの人間を物理的に支援するロボットが普及している。その中でも、空中を自由に移動可能な無線操縦飛行機（ドローン）の発展が進んでおり、農薬散布や荷物運搬などの実用的なものから、昨今ではアートなどのエンターテインメントの領域にまで活躍の場を広げている。その著しい発展の中の一つの潮流として、ドローンが現実空間に干渉し、作業を支援する「マニピュレーション型」のドローンの研究が盛んになっている。既存の研究では建設補助を行ったり、ロボットアームを取り付けて文字を描く研究などの具体的なアプローチが行われているが、これらは問題として、人間の目の届かない場所でドローン飛ばす「目視外飛行」を想定していない点が挙げられる。そのために、目の届かない遠隔地での操作が要求される、極地環境における生態調査や放射線汚染地域での浄化作業などのシナリオにおいては未だに十分な操作性が見込めず、利用用途が限定されてしまっている。本研究では、そういった遠隔地での操作におけるユーザの操作性を支援するための飛行モデルを提案する。アプローチとして、情報量の最も多い視覚情報に着目し、「視点拡張」を行う複数台による協調制御モデルを考案した。また、上記のモデルを適用したプロトタイプとして任意の点に視点を移動することが可能なドローンカメラワーク編集システム「Arbi-EYE」を製作した。

本システムは、作業を行う「親ドローン」と、それに追尾し「上から・横から・後ろから」の視点を提供し続ける「子ドローン」の二台から構成されている。本システムは、追尾モジュール、視点移動モジュールの二つから構成されており、非外部依存な構造を持ちながら遠隔のユーザに多様な視点を提供することが可能だ。視点移動モジュールは、ユーザの指定した視点に対して親と子の相対的な位置関係を保ちながら移動する指令を送り、追尾モジュールにおいては、親ドローンに対して常に一定の間隔で追尾する信号を送る。

本研究では、まず予備実験としてドローンにおける最適な視点拡張モデルについて考察し、それを実現する二つのモジュールについての性能評価を行い、最後に完成したプロトタイプを○名のユーザに使用してもらうユーザスタディを実施する。結果として、既存の単一のドローンによる遠隔操作よりも（作業効率が向上）したことで、本システムの有用性を示すことに成功した。

キーワード

遠隔操作、UAV、協調制御、視点拡張

慶應義塾大学 環境情報学部

森重 浩直

Abstract of Bachelor's Thesis Academic Year 2014

The System of Detecting Transfer Activity Using an Accelerometer

Abstract

Recently, devices such as smartphones or wearable devices have various kind of sensors due to down-sizing and high performance of sensors. Many people use various kind of sensors on a daily basis because of spreading of smartphones and wearable devices. Along with this, the research that records the action on a daily basis has become very popular. Mean of transportation is also a part of the studies. If we can detect transfer activities, not only we record every transfer activities, we can develop various applications using transfer activities.

For example, the application which sets silent mode in a smartphone in train or bus and the application which plays music when we are running. In the existing research, they use various sensors such as accelerometer and microphone, GPS, and so on to detect transfer activities. The system can not detect transfer activities in underground because of using GPS, and the consumption electricity of the device is increase because of using various sensors. In addition, the system limited to one position in bags. It is not practical to detect transfer activities only using smartphone on a daily basis.

In this research, I suggest the system to detect transfer activities only using an accelerometer because of detecting transfer activities with low electricity consumption in all space and in various position of the smartphone. The system to detect transfer activities consists of accelerometer module and classification module, filtering module. The system detects transfer activities only using an accelerometer of a smartphone in real time. Accelerometer module gets acceleration data from an accelerometer. Classification module extracts feature vectors using the time domain and the frequency domain and classifies transfer activity with machine learning. Filtering module corrects transfer activity by comparing the before and after transfer activity.

I evaluated this classification accuracy of this system in a real environment that targets the 5 people, and its usefulness was verified. Classification accuracy of this system was 98.44%.

Keywords

Activity Recognition, Transport, accelerometer, Machine Learning

**Keio University Faculty of Policy Management
Yuki Furukawa**

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景	1
1.1.1	ドローンの発展と有用性	1
1.2	問題意識	2
1.3	目的	3
1.4	構成	3
1.5	まとめ	3
第 2 章	視点拡張モデルに関する考察	4
2.1	領域のスタディ	4
2.1.1	定義	4
2.1.2	ドローンのこれまでの研究の流れ	4
2.1.3	遠隔作業ドローンの特徴と課題	4
2.2	視点拡張モデル	5
2.2.1	関連研究	5
2.2.2	予備実験	5
2.2.3	想定シナリオ	7
2.2.4	視点の分類	7
2.3	機能要件	7
2.4	アプローチ	7
第 3 章	視点拡張システム	8
第 4 章	設計	9
第 5 章	実装	10
第 6 章	評価	11
6.1	評価実験の概要	11
6.1.1	目的	11
6.2	結果	11
6.3	まとめ	11
第 7 章	結論	12

7.1	今後の展望	12
7.2	本論文のまとめ	12
	参考文献	14

図目次

1.1	ドローンの世界市場の成長予測	1
1.2	ドローンのアプリケーション一覧	2
1.3	目視外飛行のイメージ	3
2.1	ドローンの様々な形	4
2.2	レースゲームによる視点拡張の手法	6
2.3	レースゲームによる視点拡張の手法	6

表目次

第 1 章

序論

本章では、はじめに本研究における背景を述べる．ついで、本研究の目的を述べる．最後に本論文の構成を示す．

1.1 背景

1.1.1 ドローンの発展と有用性

近年、センサーやアクチュエータの小型化・高性能化により、人間の活動を物理的に支援し拡張するロボットが増えてきている．中でも今一大産業として注目されているのが、いわゆるドローンと呼ばれる無人航空機（UAV）だ．矢野経済研究所の調査によると（図 1.1），ドローンによる世界市場規模は軍事用のものを含めると 2015 年の時点で 1 兆 2410 億円、2020 年には 2 兆 2814 億円にまで成長すると予測している [2]．民間のドローンにおいても現在は 4053 億円だが、2020 年までには比率が軍事用とほぼ同じになると予測している．

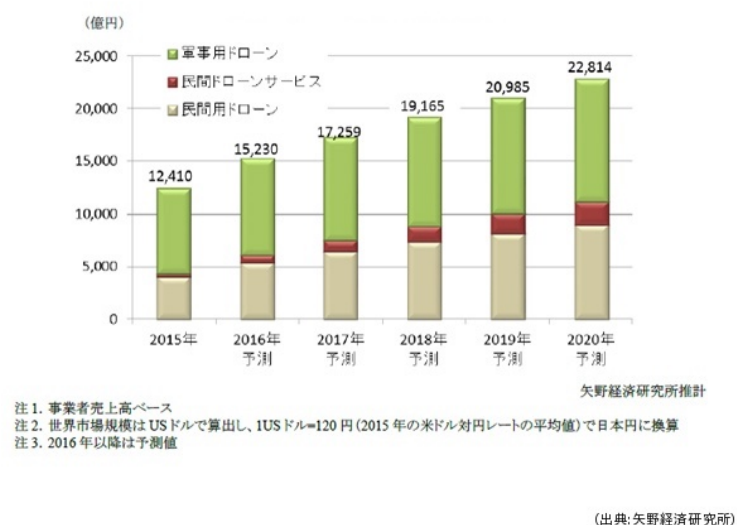


図 1.1 ドローンの世界市場の成長予測

「空の産業革命」としてしばしば取りざたされているドローンの特徴として、地形にとらわれず自由度の高い三次元の動きを可能とし、人間の到達できない領域にアクセスできる点が挙げられる。機構による制限はあるが、被災地や洞窟などの極地環境や、成層圏までの高さまで上昇することが可能だ。それによって現在では、マスメディアにおいては速報を空撮するために利用し、農業においては赤外線センサーを搭載して害虫の早期発見などを行うことで農作物の収量と品質を管理したりといったように、様々なアプリケーションがすでに実現段階にきている。農業、医療、在庫管理、運搬、スポーツ、エンターテインメントなど、その活用は昨今では多岐にわたる (図 1.2)。

人間を直接的に支援する Pepper や Roomba などのソーシャブルなロボットとしてもドローンは利用されるポテンシャルを持っており、パーソナルドローンとしての開発も進んでいる [3]。将来ドローンはスマートフォンにはできなかった情報提示以上の物理的な恩恵を与えるデバイスとして普及することが想定される。

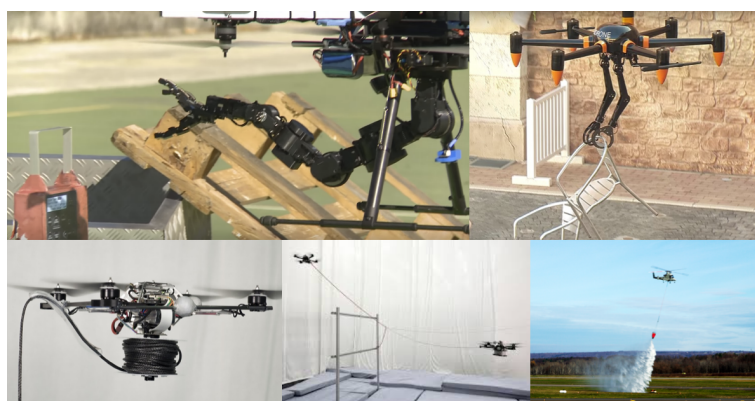


図 1.2 ドローンのアプリケーション一覧

このように、一つのプラットフォームとして受け入れられつつあるドローンにおける一つの潮流としてセンシングを行うだけでなく、現実空間に干渉する「マニピュレーション型」のドローンが盛んに研究されている。Augugliaro らによる研究では [4][?], 建築資材であるロープやブロックを複数台により協調して組み上げて、人の手を使わずに建築物を建設している。また、AIRobots プロジェクトでは [5], ドローンにロボットハンドをつけて運搬、ペンによる図形の描画などのマニピュレーションを行う試みが実施されている。これらの研究がマニピュレーション型のドローンの普及を加速されている。

1.2 問題意識

前述したマニピュレーション型のドローンの研究が進む中で、一つの問題として遠隔作業の分野における拡張性の低さが挙げられる。ロボットハンドによる何らかの操作や、農薬の散布などのマニピュレーションは、厳密な操作が必要とされる。仮に操縦者が近くにいることができれば、作業の場面を目視して操作することができるが、一定のシナリオにおいては（極地環境における生態調査などの、ドローンの柔軟な機動性を活かした屋外や遠隔操作におけるシナリオ）ドローンに付帯させるカメラのみを頼りに操作する「目視外飛行」をするケースは少なくない。ドローンはその機動性や動きの柔軟性を優先するがために、センサを多量に積むことができず、ドローン単体では得ることのできる環境情報が少ない (図 1.3)。つまり、作業の操作性が落ちてしまう。望遠レンズなどで視界を広げることは一つのアプローチとして考えられるが、本研究では、最も情報量

が多いとされる視覚の中でも、視点が一つしかないことに着目した。何かを操作するにあたって作業者自身、作業対象、周囲の様子をリアルタイムで知る必要があり、それは一つのドローンでは難しい。



図 1.3 目視外飛行のイメージ

1.3 目的

本研究では、ドローンにおける研究の流れを整理し、遠隔操作における課題を洗い出した上で、遠隔操作支援を行うための最適な視点拡張モデルを作成することを目的とする。

1.4 構成

本論文は、本章を含め全 8 章からなる。本章では、本研究における背景と問題意識、目的を述べ、貢献したことを明確にした。第 2 章では、本研究における遠隔操作支援について整理し、機能要件を導出する。第 3 章では、本研究の機能要件を満たす視点拡張モデルを提案し、本システムの目的と特徴を述べる。第 4 章では、本システムの設計について述べる。第 5 章では、本システムの実装について述べる。第 6 章では、本システムで用いる予備実験について述べる。第 7 章では、本システムの精度を評価し、考察を述べる。第 8 章では、本論文の結論と今後の展望について述べる。

1.5 まとめ

本研究における貢献は以下の 3 つである。

- ドローンの遠隔操作における最適な視点についてのスタディ
- 視点を拡張するシステムの実装
- 遠隔操作における操作性を向上させる飛行モデルの提案

第 2 章

視点拡張モデルに関する考察

本章では，はじめにドローンにおいてすでに取り組まれている研究領域を整理し，遠隔操作によるアプリケーションとの違いを明確にする．また，遠隔操作の際に起こる問題解決のアプローチとしての視点拡張の妥当性について検討する．

2.1 領域のスタディ

2.1.1 定義

まず，本研究の扱うドローンについての定義を行う．ドローンには様々な形が存在し (図 2.1)，その中でも人に近づいて利益をもたらすことができ機動性を持った拡張性のあるものに言及するため，今回は小型ドローンと呼ばれるすべての形のものを対象にして考える．

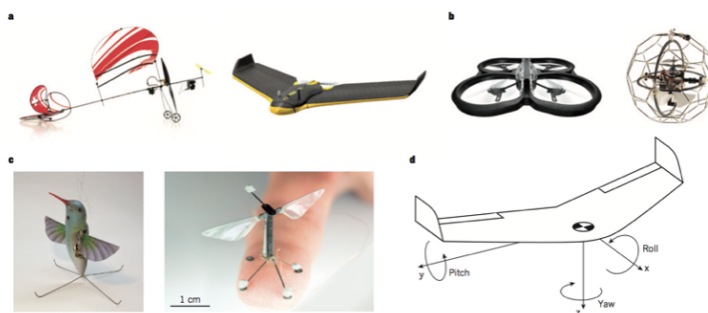


図 2.1 ドローンの様々な形

2.1.2 ドローンのこれまでの研究の流れ

2.1.3 遠隔作業ドローンの特徴と課題

遠隔作業ドローンはまず，作業ドローンと遠隔ドローンについて説明する必要がある．作業ドローンとは，ペッパーや救助ロボットに変わる，現実空間に干渉する新たな地形に左右されない汎用的なロボットとして注目されている．

AIRobots プロジェクト定義する作業ドローンの 4 つのリサーチチャレンジによると [5], 以下の 4 つが課題としてまとめられている.

- パフォーマンス
- インタフェース
- 機能的新規性
- 極地環境におけるガイド方法

本研究では, 今後宇宙や放射線汚染地域などで活躍が期待されるだけでなく, 個人の身体を物理的に拡張することが可能性として考えられる, 極地環境におけるガイド方法に着目する.

遠隔ドローンは, 人の到達できない予測が難しい環境において無人ロボットを送り込むシナリオなどが想定されており, その際に目視外飛行を行うことになることが重要である. なぜなら, これに関してはかなり高いハードルを孕んでいるからだ. ドローンに付帯するカメラのみを頼りに目視外飛行を行う場合, 視界が限定され, 主観的視点による臨場感を得ることはできるが, その操作性は目視内飛行と比べて劣る. 目視外飛行に関しては政府も危険視しており, 法律による整備もとても早く進んだ. しかし, 遠方にドローンを飛ばして映像を入手したり, 放射線汚染地域で植物のサンプルを採取したりと, 目視外飛行によって可能になることは多い. 本研究では視点を拡張することに着目してこの課題にとりくむ.

2.2 視点拡張モデル

本節では, 視点を拡張する際の最適なモデルについて, 関連研究や予備実験を通して考察する.

2.2.1 関連研究

3DCG ゲーム マリオカートゲームにおいてキャラクターを操作することは, 遠隔操作と似ている. 3D 空間におけるリアルタイム性の求められるゲーム (レースゲームやシューティングゲームなど) では, 一つの視点だけでなく, 上からの視点や自分自身が見える俯瞰視点が用いられている. このように, 3DCG 空間内のオブジェクトを操作する際, 我々は複数の視点を活用する (図 2.3)[6]. しかし, 視点を自由に配置できる CG 空間と違って, 現実空間では多様な視点を提供することは難しい. **室内における遠隔作業支援 jack in space** 視点を拡張することにおいて操作性が向上するかについて言及した研究もある. 笠原らの研究では, 室内で遠隔から何らかの操作をする場合部屋の角に設置されたカメラからの視点と操作者の視点をハイブリッドに用いることで操作性が向上したことを示した. これは, 遠隔作業支援における視点拡張というアプローチは正当性があることを示している. **車における視点拡張** Denso Denso 社による研究では, ドローンを車の屋根に取り付けて, 必要に応じて飛行させ運転を支援するシステムを製作した. これはドローンによる支援は空間的な制約を取っ払うアプローチとして有用であることを示しているが, これはリニアな動きしか提供していない. ドローンのポテンシャルを最大限発揮できていない. またドローンにひもをつけてドローンを飛ばす場合, 元の機体にかかる力が大きすぎて機体の制御が難しくなる.

2.2.2 予備実験



図 2.2 レースゲームによる視点拡張の手法

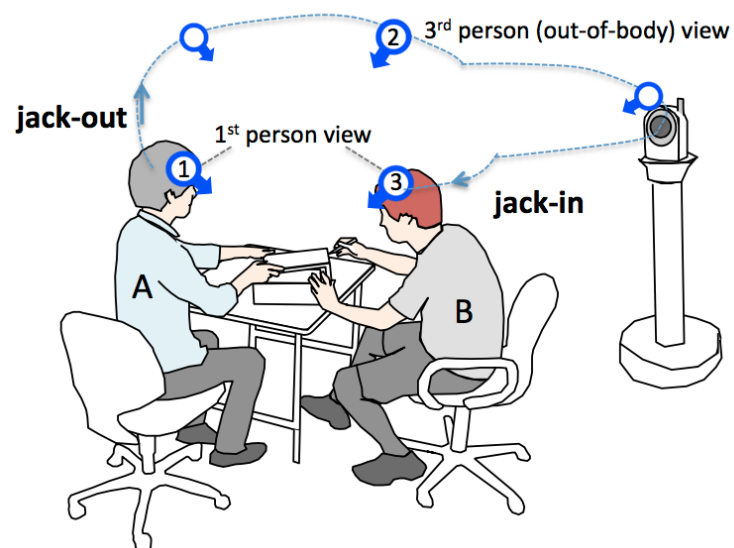


図 2.3 レースゲームによる視点拡張の手法

2.2.3 想定シナリオ

遠隔操作をして可能になることは複数考えられる。それぞれは、大きく精度と稼働域に分けられる。精度が高く稼働域の広いものとしては、が挙げられ、精度が低く稼働域の狭いものとしては、が挙げられる。ここで重要なのは、それぞれによって必要な視点が違ってくるということだ。

2.2.4 視点の分類

視点には大きく分けて 4 つの種類があり、それぞれが固有の機能を持って操作社を支援する。

- 俯瞰視点：対象を後ろからみた視点。主観に最も近い視点でありながら、周囲の状況を確認できる。
- 鳥瞰視点：最も広範囲で遠隔地を補足できる視点。衛生情報よりも正確な情報がリアルタイムで確認できる。
- 横視点：作業を行う対象と操作機体自身を補足できる視点。
- 正面視点：作業を行う対象と操作機体自身を補足できる視点。

2.3 機能要件

2.4 アプローチ

視点拡張モデルを提案する。従来より、人は自分の知覚を拡張するために、視点の拡張を行ってきた。複数台が協調して視点を提供するモデルを考案した。これにより、ドローンは屋外の遠隔操作において複雑かつ多様な視点を得ることができ、操作性が向上する。

第 3 章

視点拡張システム

本章では，第 2 章で示した問題意識から導き出した機能要件に対するアプローチを満たす移動手段判定システムを提案する．また，本システムの目的と特徴を述べる．

第 4 章

設計

本章では，まず提案する視点拡張システムの設計概要について説明する．ついで，ソフトウェアのモジュールの設計について説明する．

第 5 章

実装

本章では，視点拡張システムのプロトタイプであるカメラワーク編集システム「Arbi-EYE」の実装について述べる．ついで，追尾モジュール，位置推定モジュール，視点移動モジュールの実装について説明する．

第 6 章

評価

本章では，プロトタイプシステムの各モジュールについての性能評価と，システムをユーザーに使ってもらい遠隔作業を行なうユーザーテストを行う．

6.1 評価実験の概要

本節では，本研究で提案する加速度センサのみを用いた移動手段判定システムの評価実験の概要を述べる．はじめに，評価実験を行う目的について説明をする．その後評価実験を行う手順について説明をする．

6.1.1 目的

6.2 結果

6.3 まとめ

本章では，加速度センサのみを用いた移動手段判定システムの評価実験を行った．評価実験の結果，教師データがあるユーザの場合の分類精度は 98.44% であった．次章では，本研究における今後の展望と本論文のまとめを述べる．

第 7 章

結論

本章では，本研究における今後の展望と本論文のまとめを述べる．

7.1 今後の展望

7.2 本論文のまとめ

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂きました慶應義塾大学環境情報学部教授徳田英幸博士に深く感謝いたします。また、慶應義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士、慶應義塾大学環境情報学部准教授中澤仁博士には、本論文の執筆に当たって御助言を賜りました事を深く感謝致します。慶應義塾大学徳田研究室の諸先輩方には折りに振れ貴重なご助言を頂きました。特に慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科米澤拓郎特任助教、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科陳寅特任助教、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科研究員伊藤友隆氏には本論文を執筆するにあたってご指導頂きました。ここに深く感謝の意を表します。そして、慶應義塾大学大学院博士課程大越匡氏、慶應義塾大学大学院博士課程西山勇毅氏には、本研究に対し、多くの時間を割いていただき、ご指導を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

ありがとう

最後に、大学4年間に渡る生活を支えてくれた家族に感謝致します、

2016年12月20日

森重 浩直

参考文献

- [1] 矢野経済研究所. ドローン (uav / uas) の世界市場と将来予測.
http://www.yano.co.jp/market_reports/C57118200.
- [2] Fleye. Fleye.
<http://gofleye.com/>.
- [3] Frederico Augugliaro, Sergei Lupashin, Michael Hamer, Cason Male, Markus Hehn, Mark W Mueller, Jan Sebastian Willmann, Fabio Gramazio, Matthias Kohler, and Raffaello D'Andrea. The flight assembled architecture installation: Cooperative construction with flying machines. *IEEE Control Systems*, Vol. 34, No. 4, pp. 46–64, 2014.
- [4] L Marconi, F Basile, G Caprari, R Carloni, P Chiacchio, C Hurzeler, V Lippiello, R Naldi, J Nikolic, B Siciliano, et al. Aerial service robotics: The airobots perspective. In *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2012 2nd International Conference on*, pp. 64–69. IEEE, 2012.
- [5] Mario. Mario.
<http://www.famitsu.com/>.