

# 昆虫の複眼視覚処理システムに基づく小型無人航空機の自律制御

小林, 直人

<https://hdl.handle.net/2324/2236234>

---

出版情報：九州大学, 2018, 博士（工学）, 課程博士  
バージョン：  
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（3）

氏 名 : 小林 直人

論 文 名 : 昆虫の複眼視覚処理システムに基づく小型無人航空機の自律制御

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、小型無人航空機 (MAV) の安全性向上、活動領域拡大に向けた自律制御技術について議論したものである。MAV は汎用性が高く、無人で作業を行えるため、将来幅広い分野で作業の高効率化・無人化に貢献すると考えられている。しかし、そのために必要な MAV の自律制御技術は未だ多くの課題を抱えている。現在の MAV の航法誘導システムは GPS による位置情報に依存しており、GPS 信号の届かない屋内環境などでは使用することができない。また、高速で飛行する MAV を安全に運用するためには、周囲の環境を MAV 自身が認識して、瞬時に障害物を回避するシステムを開発する必要がある。これらの課題を解決するために、本論文では **Wide-Field-Integration of optic flow** という機体の運動推定手法を MAV に適用する。これは昆虫が持つ複眼による視覚処理システムを参考にして考案された手法であり、画像センサから得られる **optic flow** という情報を利用する。この手法はセンサが小型軽量であり、計算負荷が小さく、未知環境においてもロバストに推定ができるという MAV の制御システムに非常に適した特徴を持つ。一方、理論上の仮定と実際のシステムとの間のギャップなどが原因で、既存研究では実際の飛行システムに **Wide-Field-Integration of optic flow** を適用し、制御した例はなかった。そこで本研究では、**Wide-Field-Integration of optic flow** を用いた①実用的な速度制御システムの開発、②姿勢角推定手法の構築、③障害物回避手法の構築、という3つの研究目的を設定し、実用面、学術面の両面での貢献を図り研究を進めた。

本論文は全8章で構成される。第1章、第2章で研究背景、研究目的および **Wide-Field-Integration of optic flow** の基礎理論を説明した後に、第3章からは研究内容を説明する。第3章では、従来の **Wide-Field-Integration of optic flow** の理論を再検証し、推定精度を高める処理方法について議論した。結果として、推定式に含まれる感度関数の形式を変更して処理することで、推定精度を従来よりも大幅に向上させることに成功した。

第4章では、**Wide-Field-Integration of optic flow** を実際の MAV に適用する方法について議論した。理論では、機体重心を原点とする球面状画像面上に配置された個々の光受容体から **optic flow** が得られると仮定している。しかし、実際のシステムでは、画角・画素数が制限された画像センサで平面画像を取得し、画像処理を通して **optic flow** を得る。よって、これらの理論と実システムとのギャップを埋め、実システムの制約の中で推定精度の高いシステムを構築する必要がある。ここでは、使用する画像センサの個数や取付方向などの設計パラメータが推定精度に与える影響を計算機シミュレーションにより検証した。これにより、推定精度の高い実システムを設計する際の指針を明らかにした。

第5章では、実際の画像センサと実験機体を用いて、**Wide-Field-Integration of optic flow** の実証実験を行った。まずは、球面状画像面上の **optic flow** と平面画像面上での **optic flow** の変換式を

導出し、実システムでの **optic flow** の処理方法を明らかにした。その後、実験機体に画像センサを取り付け、第3章、第4章における計算機シミュレーションの結果を実験的に検証した。実験結果は計算機シミュレーションの結果と同様の傾向を示し、シミュレーションの妥当性を確認した。また、実験での **Wide-Field-Integration of optic flow** による推定値はモーションキャプチャシステムによる計測値と同様の傾向を示し、実システムにおいても運動を推定できることが分かった。しかし、本論文における実験条件では **optic flow** のノイズ低減が不十分で、推定精度には課題が残った。自律制御の実現には使用する画像センサの性能や個数を変更するか、より推定精度の高い推定アルゴリズムを開発することが求められる。

次に、第6章では **Wide-Field-Integration of optic flow** を用いて機体の姿勢角を推定する手法について議論した。**optic flow** は周辺環境との距離・相対速度・相対角速度、そして機体の姿勢角といった変数を含んだ情報である。しかし、通常の **Wide-Field-Integration of optic flow** では **optic flow** から機体の速度・角速度しか推定しておらず、他の状態変数を推定できるのかは知られていない。よって、ここでは学術的な知見を得るために、機体の姿勢角を推定する手法を議論した。ただし、計算負荷を抑えるために、線形処理による推定手法のみを議論した。理論解析の結果として、**optic flow** は複数の運動変数が組み合わさって生じるため、**optic flow** だけでは全ての運動変数を分離することはできないと分かった。通常の **Wide-Field-Integration of optic flow** で機体の速度・角速度を推定するために、高度・姿勢角が別のセンサから得られると仮定しているのと同様に、姿勢角を推定するためには、何らかの条件や仮定が必要となる。本論文では、機体の高度と一部の角速度が別のセンサから得られる場合に姿勢角が推定できることを示した。

そして、第7章では **Wide-Field-Integration of optic flow** を用いて周囲の環境を認識し、静止した障害物を回避する手法について議論した。ただし、ここでは簡単化のため、3次元空間を飛行運動する MAV ではなく、2次元空間を移動する惑星探査ローバを適用対象とした。**optic flow** だけでは距離と速度の両方を推定することはできないため、**Wide-Field-Integration of optic flow** と画像の領域分割技術を組み合わせることによって、周辺環境を認識する手法を提案した。提案手法の有効性は計算機シミュレーションを用いて確認し、**Wide-Field-Integration of optic flow** によってローバの運動と周辺環境の両方を推定できることを示した。

最後に、第8章では結論として、本論文を総括した。