

周辺環境状況に基づく動的ポリシー設定による 小型無人機の操縦支援の実装と評価

中谷 要太¹ 佐藤 健哉¹

概要：近年、小型無人機の研究開発が進められている。将来は、工場の警備やコンサートホールでの撮影などの屋内環境での使用が期待されている。しかし、小型無人機は回転翼によって飛行しているため、操縦性が非常に不安定である。そのため屋内環境を想定すると、屋外環境を超えた物体との接触の危険性が高い。小型無人機の操縦性の不安定を改善するために複数のセンサ機器を搭載することによって安全を確保しているものもあるが、小型無人機はセンサ機器の搭載に制限があるので、センサ機器搭載による安全確保は困難である。本研究では、小型無人機の単眼カメラからの画像のみを用いて小型無人機の操縦を支援する方法を提案する。小型無人機が人物や物体を検出した際に、ポリシーを設定することで MAV 操縦に制限をかける。その制限により操縦者の判断ミスであったり、操縦ミスを未然に防ぐことで、ポリシーの小型無人機操縦の支援への有用性を示した。

Support for Maneuvering Small Drone by Dynamic Policy Setting Based on Surrounding Environmental Conditions

YOTA NAKATANI¹ KENYA SATO¹

1. はじめに

1.1 背景

近年、無人航空機及び Unmanned Aerial Vehicle(UAV)の研究開発が進められている。UAV は、すでにダムや橋の点検作業や地形調査などの産業分野で実用化されている [1]。今後は、警備分野での利用が期待されており、実証実験が進められている。一昨年、セコムは UAV を用いた警備サービスを開始した [2]。また UAV による留守宅監視サービスも検討されている [3]。このように今後は、工場の巡回警備など屋内環境においての利用が予想されている [4]。しかし、UAV に関わる問題として建物との接触による墜落や、物体との衝突などが挙げられる [5]。UAV の中には大型と小型があり、小型の UAV は一般的に Micro Air Vehicle (以下 MAV) と呼ばれており、MAV の定義と特徴を説明する。

◇ MAV の定義

MAV は次のように定義される [6]。一般的に、ドロー

ンと呼ばれるものは UAV に含まれる。ドローンという呼称は、定義が曖昧であるため本論文では UAV 及び MAV と呼称する。本研究の提案手法は、本章で述べる MAV への導入を想定している。

UAV : 回転翼航空機、滑空機など世間一般的にドローンと呼称されているもの。

MAV : UAV の中でも、大きさが 30~45 cm 以下で重量が 10~200 g 程度のもの。

◇ MAV の特徴

MAV は、UAV 同様に 3 次元的な移動が可能である。よって従来の走行ロボットなどでは侵入不可能な場所にも入り込むことが可能である。また、小型である特徴を持つ。このような特徴から、広く開けた屋外環境に加えて、狭く障害物が多い屋内環境も想定される利用場面として挙げられる [7]。具体的には災害時の救助活動や警備分野を想定して研究開発が行われている。

1.2 目的

本研究では、MAV の操縦性の不安定性の問題に対して、

¹ 同志社大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻

単眼カメラによる画像のみを用いて、操縦の自由度に制限をかけることで操縦を支援し、MAVの衝突・墜落事故を未然に防止することでMAVの操縦を支援することを目的とする。

2. 小型無人機の問題点

2.1 MAVの問題点

MAVに関してもUAVと同様の問題点を抱えており、回転翼により飛行しているため不安定である。MAVは小型であるため、大型のUAVと比べると、屋内環境や人口密集地などの狭い空間での使用が容易である。一方で、MAVに搭載できる積載量(ペイロード)の制限が大型のUAVと比べると大きい。

2.2 既存の安全支援方法

操縦を安全にするための支援方法として、レーザーレーダーなど複数のセンサ機器を搭載して、建物、物体や人物などを自動で検知し、操縦者が気付かない、もしくは気付かなかった建物、物体や人物などを操縦者に知らせることで操縦の安全支援を実現する方法がある。センサ機器としては、GPS(Global Positioning System)などの位置測位システムやIMU(Inertial Measurement Unit)などの測量システム用いているものがある。大型のUAVでは、このようなセンサ機器を複数搭載し、操縦の安全支援を実現している。

2.3 既存の安全支援方法の問題点

操縦の安全支援として、センサ機器を複数搭載することによる方法があると述べたが、この方法はMAVには適用できない。その理由として、MAVはペイロードの制限が大きく、センサ機器を複数搭載させるのは難しいからである。しかし、MAVもUAVと同様に不安定という問題があるが、既存の安全支援方法は使用できないため、現状では、操縦者の技術に依存している。

3. 提案システム

3.1 概要

本研究では、MAVの前方向に搭載されているカメラからの画像認識による周辺環境やバッテリー残量を考慮することで操縦制御規則(以下、ポリシーと記す)を動的に切り替えるシステムを提案する。

3.2 ポリシー

本研究では、ポリシーとはMAV操縦の制御規制とする。MAVの単眼カメラからの画像とバッテリー状態(以下、MAV情報と記す)を考慮することで、MAVの周辺環境状態とMAV状態に応じたMAVの危険度に対するポリシーを適用する。すべての制御規制を個別に設定するのではな

く、ポリシーとして適用することで、MAVの危険度に応じて動的に制御が可能であり、それぞれの制御規制の重複を防ぎ、危険度に応じた最適なポリシーを適用する。ポリシーの内容として、速度制御や方向制御などがあり、MAVの動きを制御する。

3.3 システム構成

MAVに搭載されたカメラからの画像情報と、加速度センサやバッテリー残量などのMAV情報を操作PCで受信する。操作PCはMAVから得られるMAV情報からポリシーを設定し、MAVに適用する。操作PCで処理した情報は、MAVの制御部分にあたるフライトコントローラに送られ、そこからそれぞれのパーツに命令を送る。MAVの構成[8]を図1に示す。操縦者が遠隔操作を開始してMAV状態をリアルタイムで監視し、常に状態の変化に応じたポリシーを動的に設定することで、操縦の自由度を切り替える。提案手法の動作フローとしては、MAVの操縦を開始し、MAVの状態と単眼カメラからの情報に一致するポリシーを算出し、そのポリシーを適用する。この流れを繰り返すことでリアルタイムにポリシーを変更できる。提案手法の動作フローは図2に示す。提案手法のシステム構成は図3に示す。

MAVの全体像の流れは、まずプロポ送信機から上昇下降・前進後退などの指示を受ける。指示を受けたフライトコントローラは、演算処理をして、モーターがどのような回転をするかを伝達する。フライトコントローラから受けた命令をESCでコントロールしモーターを回転させる。MAVが飛行している間は基本的に、フライトコントローラは飛行時の傾きや角度など様々な情報を検知し演算することで、再帰的にモーターへと回転数を命令し続ける。

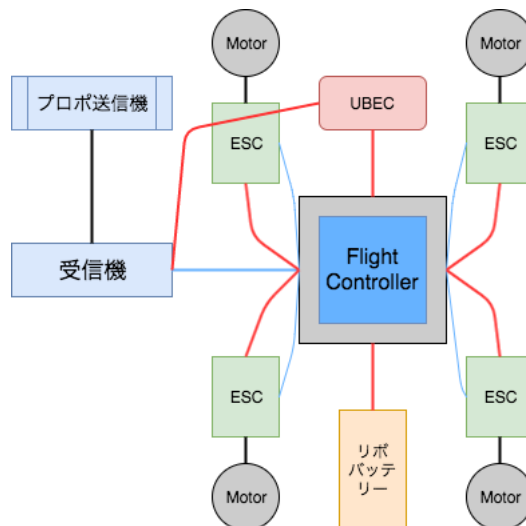


図1 MAVの構成

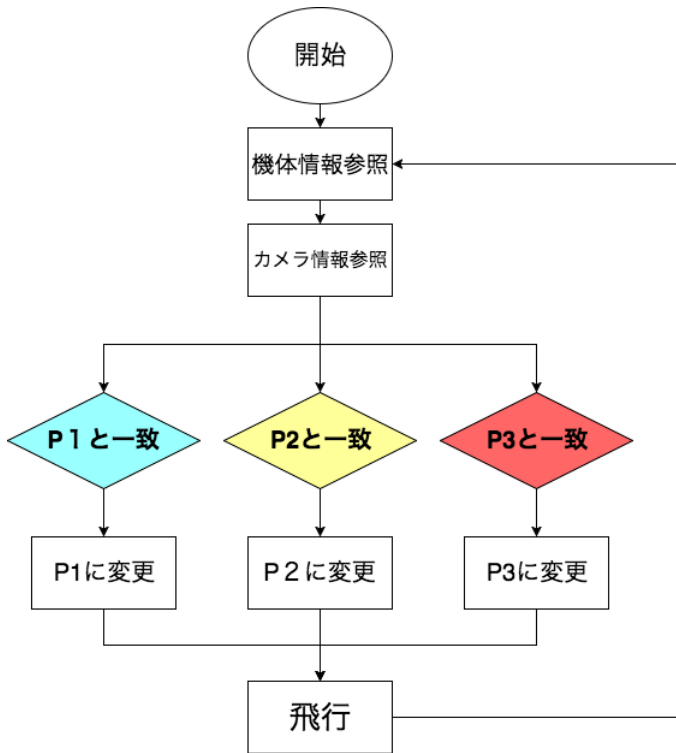


図 2 動作フロー



図 3 システム構成

4. システムの実装

4.1 実装環境

提案手法に基づいた提案システムの実装を行った。実装環境を表 4.1 に示す。開発言語には processing, 開発プラットフォームには Processing3.3.5 を使用し, 画像処理は OpenCV[9] を使用した。また MAV は AR.Drone1.0 を

使用した。

表 1 実装環境

開発環境	macOS Sierra 10.12.6
使用 MAV	AR.Drone1.0
移動制御ライブラリ	AR.DroneForP5 [10]
画像検出ライブラリ	OpenCV
操縦	上昇, 下降, 前進, 後退, 左右移動, 左右回転
参照データ	カメラ情報, MAV 情報
屋内位置推定デバイス	UWB 位置測定システム (Pozyx)

4.2 Pozyx

本研究では, MAV の屋内環境での実装を想定しているので第 5 章での評価の際に屋内位置測定システム Pozyx を用いた。Pozyx とは, 屋内で, 誤差 10cm ほどの高い精度で位置情報を得られるデバイスである。システム構成は各種センサを搭載したタグとその位置を検知する 4 つのアンカーにより位置測定 (3D) を行なっている。通信方式は UWB(Ultra Wide Band) を採用している。計測したデータは GPIO や microUSB を経由され Arduino にセットして利用可能である。

4.3 ポリシー詳細

本研究では, ポリシーを P1, P2, P3 と 3 つ実装した。実装したポリシーを次に示す。

- P1** : P2, P3 以外の状態時は制限をかけず, 通常の操作を許可する。
- P2** : 特定物体 (環境に応じて設定) を検出した場合, 前方向への上限速度を低くする。
- P3** : バッテリーが 30 % 以下になった場合, 緊急停止する。人物を検出した場合, 前方向への移動を禁止する。

4.4 ポリシー切り替わり

上述のように, ポリシーは 3 つあり, それぞれ環境に応じて切り替わる。切り替わるタイミングは, MAV が何も検出してない時は常に P 1 が適用されている。P 2 (P 3) は, MAV が特定物体 (人物) を検出している間だけ適用される。

5. 評価

5.1 評価環境

評価環境は 7.5m × 5.5m の大学構内の部屋を用いて行なった。実際の環境は図 4 に示す。スタート (ス) とゴール (ゴ) を設定し, スタートからゴールまで飛行させ評価を行なった。飛行させるルートの幅は 2.5m とし, その中央を理想ルートとした。図の左下を (0,0) とした際に人物 (人) と特定物体 (特) を図の座標の位置に設定した。MAV の位置測定は Pozyx を用いて行なった。

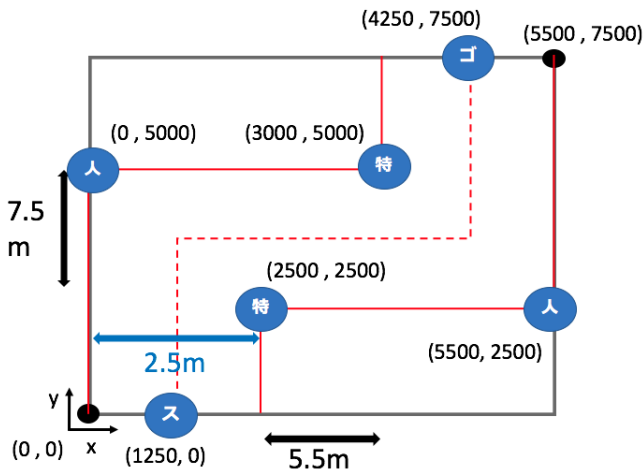


図 4 評価環境

5.2 評価項目

評価項目として、評価環境で MAV をスタートからゴールまで飛行させる際に 4 つの評価項目を設けた。今回の評価環境で既存の MAV と提案手法の MAV を操縦し、飛行させ、4 つの評価項目で比較する。評価項目を次に示す。

- | | |
|------|------------------|
| 評価 1 | : 危険区域での滞在時間 |
| 評価 2 | : 理想ルートからのズレ |
| 評価 3 | : 人物への最接近距離 |
| 評価 4 | : スタートからゴールまでの時間 |

それぞれの評価項目に関して説明する。

(1) 危険区域での滞在時間

危険区域での滞在時間は、危険区域を設定して、そこでの滞在時間を測定する。今回、MAV の人物や特定物体の検出距離を、人物の場合は MAV との距離が 200cm 以内の時、特定物体の場合は MAV との距離が 100cm 以内の時に検出するように設定したので、人物を中心とした半径 150cm の円内、特定物体を中心とした半径 50cm の円内を危険区域と設定した。

(2) 理想ルートからのズレ

理想ルートからのズレは、理想ルートを設定し、そこからのズレを測定する。今回、幅 2.5m のルートの左右の壁から測って中央を理想ルートと設定した。

(3) 人物への最接近距離

人物への最接近距離は、MAV のスタートからゴールまでの飛行の際に、人物へ一番近づいた時の MAV と人物との距離を測定する。

(4) スタートからゴールまでの時間

MAV のスタートからゴールまでの飛行時間を測定する。

5.3 評価結果

評価環境でのポリシーなしの MAV の飛行軌跡を図 5、ポリシーありの MAV の飛行軌跡を図 6 に示す。この軌跡

データを基に 4 つの評価項目に対して、評価をとった。

(1) 危険区域での滞在時間

危険区域での滞在時間では、危険区域にそれぞれ危険区域番号を付け、それぞれの危険区域での滞在時間とその合計を測定した。危険区域番号は図 7 に示す。評価結果を図 8 に示す。危険区域 1, 2 では共にポリシーありの方が、少ない滞在時間に収めることができ、合計では約 5 秒の差が出た。

(2) 理想ルートからのズレ

理想ルートからのズレは図 9 に示す。理想ルートからのズレでは、ポリシーなしポリシーあり共に小さなズレはあったが、一番大きかったズレに着目した際に、ポリシーありの最大のズレはポリシーなしの最大のズレに比べて 0.5 倍に留まった。

(3) 人物への最接近距離

人物への最接近距離の評価結果を表 2 に示す。人物への最接近距離では、ポリシーなしでは 690mm に対してポリシーありは 1390mm と約 2.1 倍に距離を保つことができ、今回設定した危険区域の境目である 1500mm と比べても約 100mm ほどの差に収めることができた。

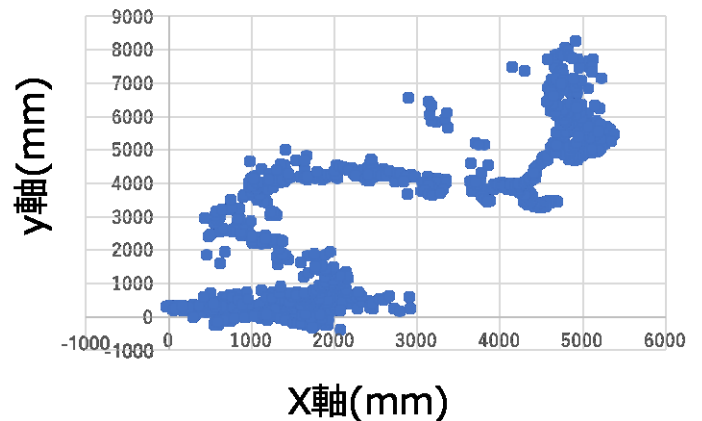


図 5 MAV の飛行軌跡 (ポリシーなし)

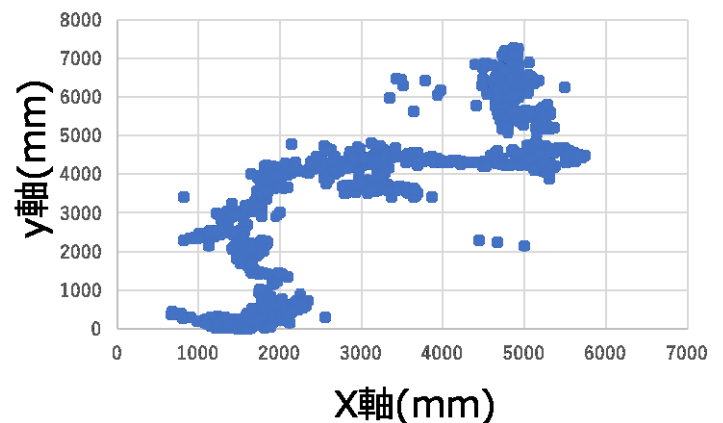


図 6 MAV の飛行軌跡 (ポリシーあり)

表 2 人物への最接近距離

既存の MAV	提案手法の MAV
650mm	1390mm

(4) スタートからゴールまでの時間

スタートからゴールまでの時間の評価結果を表 3 に示す。スタートからゴールまでの時間は、ポリシーなしが 50.16 秒、ポリシーありが 47.31 秒でほとんど差はなかったが、ポリシーありの方が約 3 秒早い結果となった。

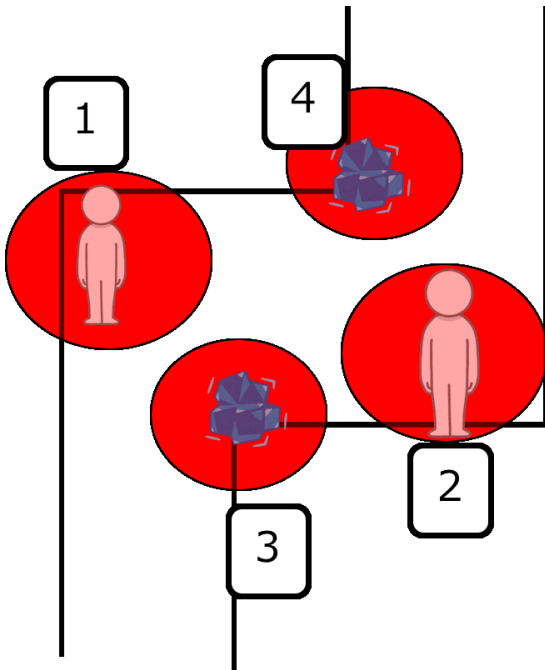


図 7 危険区域番号

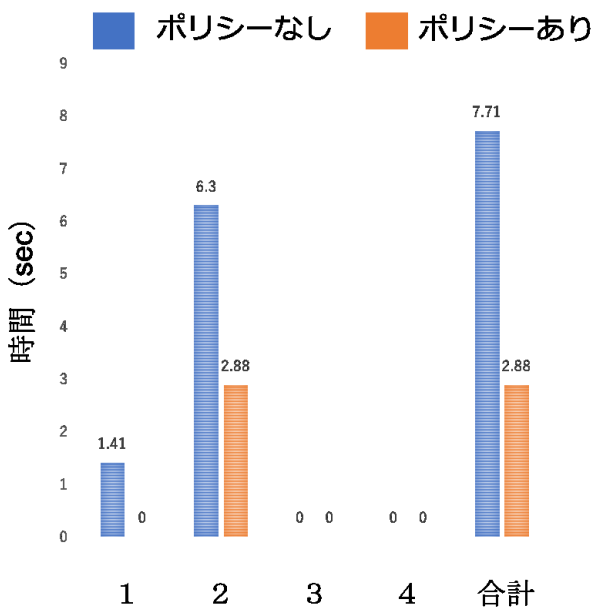


図 8 危険区域での滞在時間

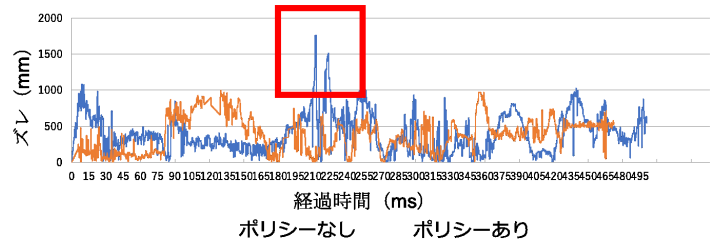


図 9 理想ルートからのズレ

表 3 スタートからゴールまでの時間

既存の MAV	提案手法の MAV
50.16sec	47.31sec

5.4 処理時間

今回、処理時間を MAV が人物や特定物体を検出してから操縦に制限をかけるまでの時間と定義する。評価としては、「遠隔制御システムを用いた協調作業におけるネットワーク遅延が力覚による意思伝達に及ぼす影響」[11] で実世界でのネットワーク遅延が 300ms 以下だと許容可能と述べられており、今回その 300ms 以内に抑えられた。処理時間の評価結果を図 10 に示す。

6. 考察

6.1 評価項目についての考察

(1) 危険区域での滞在時間

提案手法では、人物や特定物体を検出した際に、操縦者の操縦ミスや判断ミスによって人物や特定物体に近づく操作を制限しているため危険区域に侵入する時間を減少することができた。

(2) 理想ルートからのズレ

理想ルートからのズレでは、提案手法が人物や特定物体を検知した際に、速度制御や方向制御をすることにより MAV が大幅にずれることを防いだ。

(3) 人物への最接近距離

人物への最接近距離では、人物を検知した際に MAV の前方向への移動を禁止しているため、人物への接近を減少させた。

(4) スタートからゴールまでの時間

スタートからゴールまでの時間では、理想ルートからのズレから分かるように、大幅にルートを逸れること

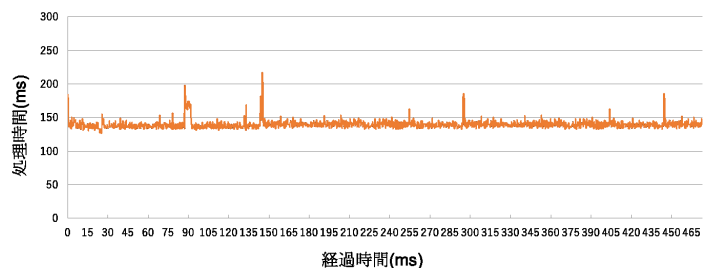


図 10 処理時間

がなかったので、提案手法の方が少ない時間で飛行できた。

6.2 ポリシー設定に関する考察

提案手法ではすべてのポリシーを1つ1つプログラミングするのではなく、ポリシーを分けてプログラミングした。ポリシーを分けて制御規制をすることにより、重複したポリシーの適用を防ぎ、危険度に応じた最適の制御を可能にした。

6.3 安全性に関する考察

安全性評価からの考察をしていく。(1)危険区域滞在時間と(3)人物への最接近距離の2つの評価結果から、提案手法は障害物付近での飛行や障害物への接近を減らすことができ、操縦によるMAVの障害物への衝突する可能性を減らすことができたと言える。また(2)理想ルートからのズレから、最大のズレに着目した際にポリシーありがポリシーなしの0.5倍に留めることができたため、MAVの操縦の安全性が向上したことを確認した。

6.4 処理時間評価に関する考察

処理時間評価からの考察をしていく。(4)スタートからゴールまでの時間と処理時間の評価から、提案手法であるポリシー設定による操縦者の意思伝達に及ぼす遅延はないことを確認した。

6.5 最終考察

安全性評価からの考察と処理時間評価からの考察から、提案手法はMAVの操縦の安全性に有用な結果を得ることができた。

7. まとめ

近年、小型無人機の研究開発が進められている。小型無人機は、すでにダムや橋の点検作業や地形調査などの産業分野で実用化され、今後は警備分野などでの利用が期待されており実証実験が進められている。特に、工場の巡回警備や災害時の探索など、屋内環境での利用が予想される。小型無人機は回転翼によって飛行しているため、不安定であり、建物との接触による墜落のリスクを常に抱えている。現在普及している小型無人機の大半は、操縦者の技術に依存しており、操縦者の不注意や操縦ミスがそのまま事故の要因となる。そして、屋内環境を想定すると、屋外環境以上に物と接触する危険性が高い。このような背景から、小型無人機は屋内環境での利用が予想されているが、屋内環境での利用には多くの問題を抱えている。屋内環境や人口密集地での小型無人機の普及には事故を未然に防ぐためのシステムが必要不可欠となる。

そこで本研究では、小型の小型無人機であるMAVの前方

向と腹部に搭載されているカメラからの画像認識による周辺環境やバッテリー残量を考慮することで、ポリシーを動的に切り替えるシステムを提案した。MAVの状況に応じたポリシーを適用することで、屋内環境におけるMAVの安全飛行を目指した。

提案手法に基づいて実装システムを設計した。大学構内の教室でルートを設けて、既存手法のMAVと提案手法のMAVとを比較して評価を行なった。4つの評価項目全てに対して提案手法のMAVの方が優位性を示した。提案手法の処理時間も許容範囲内に収まり、提案手法の実用性も示せた。

以上より、近年需要の見込まれるMAVの屋内環境利用において、MAV操縦の不安定性が問題として挙げられる中、その問題を解決する提案手法の有用性を示した。

参考文献

- [1] 大槻 順朗, 伊豫岡 宏樹, 二瓶 泰雄, 吉森 佑介, 中村 俊介, 鬼倉 徳雄, "荒瀬ダム撤去後の堆積土砂の流出・堆積状況", 土木学会論文集 B1, Vol.72, No.4, pp.1853-1858, 2016.
- [2] "警備サービスにドローン導入", 入手先 (<https://trafficnews.jp/post/46724/>) (参照 2017-05).
- [3] "留守宅をくまなく遠隔監視できる屋内向けドローン「Rook」", 入手先 (<http://japan.cnet.com/news/service/>) (参照 2017-05).
- [4] "無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV), いわゆる「ドローン (drone)」の商用利用の現状と課題無人機に関する現状と課題", 東京海上日動リスクコンサルティング(株), TRC EYE vol.296, 入手先 (<http://www.tokiorisk.co.jp>) (参照 2017-05).
- [5] "無人機に関する現状と課題", 国土交通省航空局安全部安全企画課, 2015.4.
- [6] 航空法の一部を改正する法律案について, 国土交通省, 2015.7.
- [7] Cooper Bills, Joyce Chen, and Ashutosh Saxena, "Autonomous MAV flight in indoor environments using single image perspective cues", IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2011, Shanghai, China, 9-13 May 2011.
- [8] "BE INTO DRONE", 入手先 (<https://drone.beinto.xyz/>), (参照 2017-07).
- [9] G.Bradoski, "The OpenCV Library", Dr.Dobb's Journal of Software Tools (2000).
- [10] "工学ナビ AR.DroneForP5", 入手先 (<http://kougaku-navi.net/ARDroneForP5/>), (参照 2017-07).
- [11] 北端 美紀, 持田 康弘, 仲地 幸之, 福井 竜也, "遠隔制御システムを用いた協調作業におけるネットワーク遅延が力覚による意思伝達に及ぼす影響", 電子情報通信学会技術研究報告 CQ, Vol.113, No.8, pp.5-10, 2013.