

AR.Drone2.0 による屋内自律飛行システムの基礎研究

土江田織枝*, 伊藤貴博**, 山田昌尚*, 小林一人***, 林 裕樹*

Fundamental Research for an Autonomous Indoor Navigation System using AR.Drone2.0

Orie DOEDA*, Takahiro ITO**, Masanao YAMADA*, Kazuhito KOBAYASHI***, Hiroki HAYASHI*

Abstract

We describe fundamental research to develop an indoor guide system using a drone, AR.Drone2.0. This research aims to achieve autonomous stable navigation of the drone without GPS. Markers which indicate flight path information are introduced for autonomous navigation. We discuss the configuration of the system and the results of the experiments for stable flights which involve take off, horizontal movements, and landing with the markers.

Key word: AR.Drone, AR マーカ, 自律飛行

1. はじめに

現在ドローンは、様々な目的で使用され開発が進められている。ドローンを使うことで、従来は難しかった視点からの撮影が可能となった。そのため、単に景色を楽しむだけが使用目的ではなく、建設物の記録用や、広大な土地での作物の生育状況の把握、また、災害などで人が辿りつけない場所の状態確認など、幅広い分野で使用されている。特に人が直接行うと準備に時間がかかり、危険を伴う確認作業はドローンを使うことで安全で比較的容易に行えるようになった。更に GPS を使用した安全な飛行の実現のための機能も開発が進み、随時搭載されてきているが、ドローンの墜落事故はなくなる。墜落の原因には、操縦ミスやバッテリー切れ、電波の混信が挙げられる。また、飛行中に GPS が受信できなくなった時の機体のコントロール不能による墜落も多い。

そこで本研究では、ドローンによる屋内案内システムの開発の基礎研究として、GPS が使えない屋内での安定した自律飛行の実現を目的とする。飛行経路の情報には AR(拡張現実) マーカ (以降、マーカとする) を使用する。ドローンの自律飛行に関する研究では、災害現場の情報収集と被災者の捜索を目的としたシステムの構築 [1] などがあるが、GPS を利用して屋外での利用を想定した内容となっている。屋内での自律飛行に関しては、仮想平面を表示しドローンの操縦を行っている研究 [2] がある。また、マーカをドローンの制御に使った研究では、マーカからの情報により誤差を

計算し、ドローンの姿勢制御を行って安定したホバリングを実現したものが発表されている [3]。本研究ではマーカはドローンの動作を示すことに使用した。ドローンは様々なセンサーを搭載しているが、センサーから得られたデータには多少の誤差もあるため、センサーを使う場合も AR 技術と組み合わせて使うことで、ドローンの制御を更に正確に行うことができる。

2. システムの開発環境

2.1 AR.Drone 2.0 の特徴

本研究では比較的安定した飛行ができ開発環境が整っている、Parrot 社の AR.Drone 2.0 (以降、AR.Drone とする) を使用した。機体には正面部 (図 1 の a) と底面部 (図 1 の b) にカメラが内蔵されており、リアルタイムで映像を取得することが可能である [4]。本システムは、底面部のカメラだけを使用した。

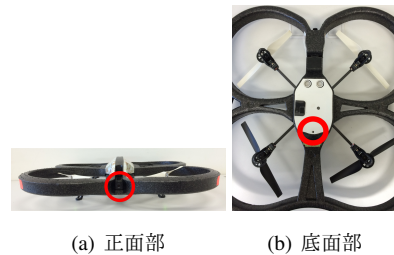


図 1: AR.Drone のカメラ

2.2 開発環境

AR.Drone は Wi-Fi 通信でスマートフォンやタブレット端末のアプリを使用して機体の操縦ができるが、マー

* 釧路高専創造工学科

** 北海道電力株式会社

*** 株式会社構研エンジニアリング

力による自動操縦の実現は難しいため、本研究では、ノートパソコンでARの処理や自動操縦のプログラムの開発・実行を行うこととした。ARの認識にはProcessing用のライブラリとして公開されているARDrone-ForP5 [5]を使用した。このライブラリはWi-Fi通信でAR.Droneに接続し、キーボードによって機体の手動操縦も可能であり、NyARToolkitを同時に使用することができる。

2.3 AR マーカの認識

AR.Droneのカメラからマーカを認識するためのライブラリとしてNyARToolkitを使用する[6]。AR.Droneからパソコンに送られてきた画像は、大きさの変更などをした後にNyARToolkitによるマーカの識別の処理を行っている。

2.4 AR マーカの種類

本システムでは、AR.Droneの動き(進行方向)を示すマーカ(図2)を使用した。「H」は着陸、「F」は前へ進む、「B」は後ろへ進む、「L」は左へ進む、「R」は右へ進むことを表している。例えば、縦方向の直進部分が2m横方向の直進部分が1mの $\cap$ 型の飛行をマーカで表すと、出発点が $\cap$ の左側であれば、「前進・右に進む・後進・着陸」となるので、「F」「F」「F」「R」「R」「B」「B」「B」「B」「H」のようになる。



(a) 着陸 (b) 前進 (c) 後進 (d) 左進 (e) 右進

図2: AR マーカ



図3: マーカシート

2.5 マーカシートの作成

上述したようにAR.Droneの飛行経路は、図2のマーカを床面に一定の間隔をとりながら並べて作成する。当初マーカは紙に印刷したものを床面に紙の四隅をテープで留めて使用した。そのため設置や撤収に時間がかかり非常に使い難かった。また、飛行中のAR.Droneが起こす風によりテープが剥がれ、実験を中断しなければならないことがしばしばあった。これらを改善するために、裏面がゴム製で厚さ10mmのパネルカーペットを縦横14cmの大きさに切り、裏面に縦横11cmの大きさのマーカが印刷された紙を貼りマーカシートを作成した(図3)。これにより、飛行経路の作成は床面にマーカシートを置くだけで良くなり、設置の時間も短縮し撤収作業も容易になった。また、AR.Droneが床面にかなり近い位置で飛行しても、風によりマーカシー

トが持ち上がったたり位置が変わることもなかった。

3. システムの操作

本システムの操作方法について説明する。まず、AR.Droneを安全で水平な場所に置き電源を入れる。次に、制御用のプログラムを実行し、パソコンとAR.Drone間でWi-Fi接続を行う。接続後、図4のProcessingのプログラム実行画面の「プログラム実行」ボタンを選択する。約5~10秒ほどでパソコンとAR.Droneの接続が確認でき、AR.Droneの飛行が可能となる。この時点からAR.Droneの底面部のカメラが撮っている画像はリアルタイムでパソコンへ送られる。AR.Droneの飛行の開始はパソコンの操作により行う。その後はマーカを読み取ることでAR.Droneは自律飛行となり、着陸を表すマーカを認識するまでは飛行を続ける。プログラムの停止はAR.Droneが着陸をした後に行う。

Processingのプログラムを実行中の画面を図5に示す。AR.Droneはバッテリーの残量が少ないと飛行が不安定になることもあるため、飛行中においてもバッテリーの残量の確認が必要になる。そこで、確認が簡単に行えるように画面下の黒い部分にはバッテリーの残量を表示するようにした。飛行中のAR.Droneからの撮影画像をパソコン画面に表示した様子を図6に示す。カメラが捉えたマーカは、撮影画像の左上をX軸Y軸の原点としたときの、マーカの4隅の座標によって位置を示している。また、画面左上には、AR.Droneが認識中のマーカを表示した。これにより、ユーザは、現在認識されているマーカをパソコン画面(図6)で確認できる。しかし、AR.Droneの飛行中にはユーザはパソコンの画面を見るよりは機体の動きを目視していることが多いため、AR.Droneがマーカを認識した際にはパソコン側で音を鳴らす仕様も加えた。これにより、ユーザはAR.Droneの目視を続けながらマーカの認識状況も把握できるようになったため、飛行中のマーカが認識できないAR.Droneの状況について把握できるようになった。

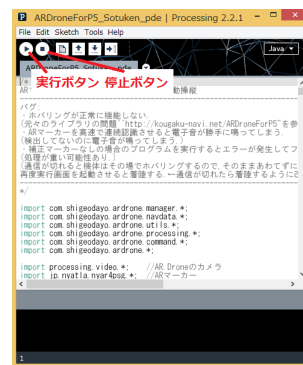


図4: 実行前のProcessing画面



図 5: 実行中の Processing 画面



図 6: 実行画面

4. 安定した飛行のための検証実験

4.1 マーカシートの設置間隔

飛行経路はマーカシートを並べることによって示すが、そのときのマーカシート間の前後左右の適切な間隔について、マーカシートの間隔を変えながら AR.Drone を飛行させて実験を行った。実験では、最初はマーカシート間の間隔を 20cm とし、そこから約 5cm ずつ離しながら各 5 回の飛行を行った。使用するマーカシートの個数はなるべく少ない方が設置や撤収が簡単なため、マーカ間の間隔はできるだけ広くとれることが望ましい。実験の結果、マーカ間が縦 40cm、横 62cm がマーカを認識できる最大の間隔だった。これよりも広いとマーカを捉えることができずに機体が経路を逸れて制御不能のまま直進してしまった。

4.2 機体の高さについて

天井から吊り下げるように機体を紐で固定し、図 7 の (a) のように床に置いたマーカシートと機体の高さを最初は 50cm に固定し、そこから 5cm ずつ手動で変化させながら、マーカを正しく認識できる飛行の高さについて実験を行った。その結果、床から約 1.5~2m での飛行が適切であるとの結果が得られた。

4.3 飛行速度について

飛行中にマーカを読み取るための飛行速度についての実験を行った。実験内容は、飛行速度を変えながら、図 7 の (b) のように AR.Drone を飛ばした状態でのマーカの認識率により適切な速度を判断した。速度を変えてそれぞれ 5 回実験した。実験の結果、人が普通に歩く

程度の速さの、秒速約 1.25m/sec(以降、速度レベル 8 とする)と、人がゆっくりと歩く程度の速さの、秒速約 1.0m/sec(以降、速度レベル 7 とする)がマーカの認識率が高かった。飛行速度が 1.25m/sec 以上ではマーカを認識する前に機体がマーカの上を過ぎてしまいマーカの認識ができなかった。また、飛行速度が 1.0m/sec 以下では速度が遅すぎるため安定した飛行ができずに機体が経路から大きくずれた。



(a) 高さの実験



(b) 速度の実験

図 7: 飛行に最適飛行条件の検証実験の様子

5. 自律飛行の精度実験

AR.Drone が飛行する際は機体が左右に揺れるため、目標としていた経路と実際の飛行経路にずれが生じる。そのため、マーカを使って自律飛行を行うためには、機体の位置を修正しながら飛行しなければならない。本研究では、ずれてしまった機体の位置を正しい位置へ修正するために補正マーカを使う方法と、カメラで捉えたマーカが画像の中心となるように機体を修正する方法を提案する。これらの方法により、図 8 と図 10 の飛行コースでの自律飛行を行ったときの精度を検証した。実際のコースは全長約 11m で、縦に 13 個、横に 8 個のマーカを並べたため、図とはマーカの個数は異なる。実験はそれぞれのコースで、速度レベル 8 と 7 について各 5 回ずつ行った。速度レベルで指定した速度は、あくまでもマーカの認識や機体の修正を行わずに自由に飛行した時の速度を示す。自律飛行の際には、マーカの認識や機体の修正を行いながら飛行するため、速度レベルで指定した速度を保ったままの飛行はできない。

5.1 評価実験 1

評価実験 1 では、機体の進行方向を示す中央部分のマーカシートの位置から左右にずれた場合には、補正用のマーカにより機体の位置を修正する。飛行するコースは図 8 のようにマーカシートを横に 3 列で、列の中央部に AR.Drone の進行方向を示すマーカシートとし、

第2コーナー

B	B	B	B	B	B	B	L
R	B	L	L	L	L	L	L
R	B	L	F	F	F	F	L
R	B	L					
R	B	L					
R	B	L					
H	H	H					

第1コーナー

B	B	B	L
L	L	L	L
F	F	F	L



5.2 評価実験1の結果

5.3 評価実験 2

5.4 評価実験2の結果

第2コーナー

第1コーナー

B L L L L

B F

B F

B F

H F

A large, empty room with a green floor and wood-paneled walls. A small, dark, rectangular object is visible in the distance, possibly a robot or a small vehicle.

6. 検証結果

表1, 表2より, 補正用マーカを使用した場合は, 速度レベルを8から7に変更することで自律飛行による完走が実現できた。しかし, 補正用マーカを使用しない場合については, 表3, 表4に示す結果から, 速度レベル7については, 全て第1コーナーまでは飛行できているので, 直線的な飛行は可能であることはわかった。しかし, どちらの速度レベルもコーナー部分で, マーカを見失い完走はできなかった。これについては, 速度が落ちないままコーナー部分を通過するため, 機体がコーナー部分のマーカを通り過ぎて, 前方へ進んでしまうことで経路から外れることが原因であった。

表 1: 評価実験 1 (速度レベル 8) の結果

試行回数	結果	所要時間 [sec]	見失った場所
1 回目	成功	74	-
2 回目	失敗	-	第 2 コーナー
3 回目	失敗	-	第 1 コーナー
4 回目	成功	38	-
5 回目	失敗	-	第 2 コーナー

表 2: 評価実験 1 (速度レベル 7) の結果

試行回数	結果	所要時間 [sec]	見失った場所
1 回目	成功	54	-
2 回目	成功	48	-
3 回目	成功	65	-
4 回目	成功	52	-
5 回目	成功	73	-

表 3: 評価実験 2 (速度レベル 8) の結果

試行回数	結果	所要時間 [sec]	見失った場所
1 回目	失敗	-	第 2 コーナー前
2 回目	成功	74	-
3 回目	失敗	-	第 1 コーナー前
4 回目	失敗	-	第 2 コーナー
5 回目	失敗	-	第 1 コーナー前

表 4: 評価実験 2 (速度レベル 7) の結果

試行回数	結果	所要時間 [sec]	見失った場所
1 回目	失敗	-	第 1 コーナー
2 回目	失敗	-	第 1 コーナー後
3 回目	失敗	-	第 1 コーナー
4 回目	失敗	-	第 1 コーナー
5 回目	失敗	-	第 1 コーナー

7. 改良版の評価実験

機体のずれの修正に、補正用マーカを使用する場合と、マーカの位置座標を使用する場合では、同じマー

カでも機体の動きが異なる。例えば、前進を表す「F」は補正用マーカを使用するときには、機体は前進だけの動きとなるが、マーカの位置座標を使用するときには、前進の他に機体のずれを修正する動きも加わる。そのため、コーナー部分で進みすぎた機体を経路に戻すためには、位置座標を修正する動作の入らない動きを表すマーカが必要である。そこで、コーナー補正用のマーカを作成し評価実験を行った。評価実験 2 の結果から、本実験は速度レベル 7 のみで行った。

7.1 コーナー補正用のマーカ

コーナー補正用のマーカとして、図 12 に示す 4 種類のマーカを新たに追加する。

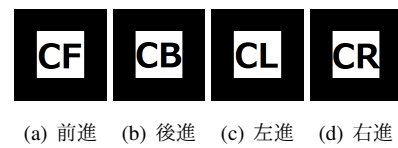


図 12: コーナー補正用 AR マーカ

7.2 改良版の評価実験

改良版の評価実験では、図 13 のように第 1 コーナーと第 2 コーナーの部分に補正用のマーカシートを設置する。評価実験 2 のマーカシートにコーナー用のマーカシートを増やすだけなので、使用するマーカシートを大幅に増やす必要はない。評価実験は評価実験 2 と同様に、機体の位置の修正にはマーカシートの位置座標を使用した。

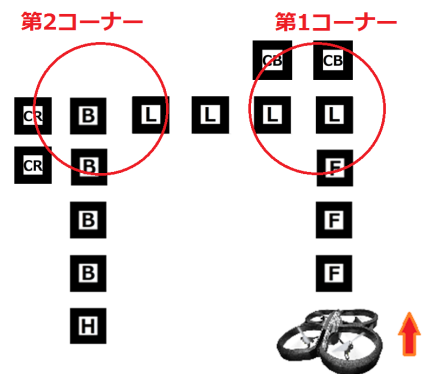


図 13: コーナー補正用のマーカを使用したコース

7.3 改良版の評価実験の様子

評価実験の結果、5 回中 2 回成功した。しかし、失敗した 3 回のうち 1 回は着陸直前にマーカを見失ったが、コーナー部分については順調に飛行が行えた。残りの 2 回は第 1 コーナーでマーカを見失った。

表 5: 評価実験 (速度レベル 7) の結果

試行回数	結果	所要時間 [sec]	見失った場所
1 回目	成功	77	-
2 回目	成功	45	-
3 回目	失敗	-	第 1 コーナー後
4 回目	失敗	-	第 1 コーナー後
5 回目	失敗	-	着陸直前

7.4 考察

コーナー補正用マーカを使用した場合では、1 回目と 2 回目は成功したものの 3 回目以降は失敗に終わった。しかし、コーナー部分でのマーカの見失いを改善することはできたため、一定の効果はあったと考えられる。評価実験の際に、飛行中に機体の向きが変わるとマーカを正しく読み取ることができないという現象が生じた。今後はマーカを認識した直後の機体の位置の修正についても検討する。

8. 今後の課題

本研究では、マーカを用いた AR.Drone の自律飛行について、飛行中に生じる AR.Drone の位置のずれの修正を、補正マーカを使用する方法とマーカの位置座標による修正の方法を提案し飛行実験を行った。位置の修正にマーカを使用する方法では、飛行速度が適切である場合には自律飛行が行えることが確認できた。しかし、修正にマーカの位置座標を使用する方法では、コースのコーナー部分でマーカを見失ってコースを外れることが多かった。そのため、コーナー用の補正用マーカを使用して実験を行った。その結果、コーナー部分のマーカの見失いは軽減された。

AR.Drone では、搭載した 2 つのカメラを同時に使用することはできないが、カメラを切り替えて使用することは可能であるため、現在使用していない正面部のカメラを使用することで、コーナー部分でのマーカの見失いを改善し、より安定した飛行が実現できるように改良を進め、屋内案内システムの実用化に向けたシステムの構築を行う予定である。

9. 謝辞

本研究を行うにあたり、本校校長の岸徳光先生、株式会社構研エンジニアリングの川瀬様、牛渡様、長沼様、保木様、そして株式会社シンタニの新谷様には、マルチコプターに関する基礎知識や注意点などのご指導をいただきました。ご協力いただいた皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 石川直樹・森脇克己・大島拓海, "小型無人飛行装置 AR.Drone の自律飛行制御法の研究", 日本機械学会東海支部第 65 期総会・講演会講演論文集, No.163-1, Mar.2016
- [2] 米澤和也・小川剛史, "仮想平面を利用した飛行ロボット操作システム", 「マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム」論文集, pp1904-1909, July.2014
- [3] 羽根嘉宣・武田敦志, "カメラ画像に基づいた AR.Drone の姿勢制御手法の開発", 情報処理学会東北支部研究会講演論文集, pp1-3, Feb.2015
- [4] Parrot 社公式ウェブサイト, <http://www.ardrone.com>, (accessed2016-11-02)
- [5] 工学ナビ ARDroneForP5 Processing で AR.Drone をコントロールしよう, <http://kougaku-navi.net/ARDroneForP5>, (accessed2016-11-02)
- [6] 橋本直, AP プログラミング Processing でつくる拡張現実感のレシピ, オーム社, 2013