

卒業論文 2019 年度 (令和元年)

QR コードを用いたナビゲーションシステムの開発

慶應義塾大学大学院 環境情報学部環境情報学科  
井手田悠希

QR コードを用いたナビゲーションシステムの開発
--------------------------

現在 UAV の自律飛行手法の多くは GPS での誘導が多く、GPS が利用できない環境下では LIDAR やステレオカメラ、RGBD カメラなど何かしらの測量センサを積載し、それらの情報を基に飛行経路計算や障害物回避を行っている。GPS が利用できない環境とは橋の下や倉庫等の屋内など遮蔽物がある環境が挙げられる。

キーワード:

1. MAV, 2. 自己位置推定, 3. SLAM, 4. QR コード

慶應義塾大学大学院 環境情報学部環境情報学科  
井手田悠希

Abstract of Bachelor's Thesis - Academic Year 20xx

Development of navigation system with QR code
---

I can't write English.

Keywords :

1. Thesis, 2. RG, 3. Jun Murai Lab., 4. L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Keio University Bachelor of Arts in Environment and Information Studies

Yuki Ideta

# 目 次

# 图 目 次

# 表 目 次

# 第1章 序論

本章では本研究の背景，課題及び手法を提示し，本研究の概要を示す．

## 1.1 はじめに

本研究は GPS が利用できないような環境での自律飛行制御を想定している。ここでいう GPS が利用できない環境というのは地理的要因と機体的要因の 2 つがある。地理的要因としては屋内や橋の下など遮蔽物が頭上にある環境、機体的要因としてはそもそも機体に GPS モジュールが無い、積載ペイロードが無い。などが挙げられる。

こうした地理環境においてもカメラは問題なく使え、機体にもカメラが付いていることは多い。これらのことを踏まえ、今回カメラでの自己位置推定手法を考えるに至った。その上でカメラで認識が簡単に行えるものとして QR コードを採用した。QR コードは汚れや傷みにも非常に強くまた、ある程度のサイズのデータの保存も可能である。更に QR コードは非対称な図面で正方形のため、マーカーとしての向きや歪みの検出が非常に容易に行える。これらの特徴を利用し、QR コードをマーカー件情報伝達媒体として採用した自律飛行手法を検討する。

## 1.2 本論文の構成

本論文における以降の構成は次の通りである。

??章では，導入を述べる．??章では，背景を述べる．??章では，本研究における問題の定義と，解決するための要件の整理を行う．??章では，本研究の提案手法を述べる．??章では，??章で述べたシステムの実装について述べる．??章では，??章で求められた課題に対しての評価を行い，考察する．??章では，本研究のまとめと今後の課題についてまとめる．

## 第2章 背景

本章では本研究の背景について述べる.



## 第3章 本研究における問題定義

カメラが搭載されている機体で、移動制御が行えるという事を条件にした自律制御を目的とする。また、本手法はカメラ映像と移動制御が自由に行える機体であればどのような機体であっても利用できることを目指す。

また、GPS が利用できない倉庫等の屋内での自己位置推定を行い、安定した自律飛行をできるようにする事を目的としている。

## 第4章 提案手法

本章では提案手法について述べる.

### 4.1 概要

基本の構成は以前作成した飛行モデルと変わらず、フラフープ検出部分を QR コードに変更したモデルで第一段階の実験を行う。

## 第5章 実装

本章では提案手法の実装について述べる。

### 5.1 概要

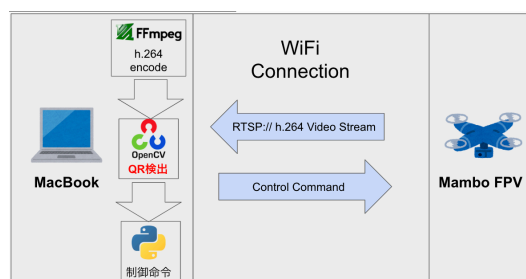


図 5.1: 構成図

## 第6章 評価

本章では、提案システムの評価について述べる。

評価方法としては段階をいくつかに分け、段階に応じた評価を行う。まず第一段階は各地点同士の距離をどこまで離しても飛行可能かを評価する。QRコード同士の距離が離れれば離れるほどマーカの未認識区間が広くなり、自己位置推定が難しくなる。そのため、QRコードでの経路制御の限界距離をここで記録し、距離とコース通りの飛行の成功率を計測する。ここでの飛行の成功、不成功は以下のように定義する。

「任意のQRコードAの正面からスタートし、次の地点Bへ到達し、QRコードを5秒以上フレームインし続ける事が出来るか。」

という条件を以って成功、不成功を定義する。

上記の評価に加えて、安定して地点間の移動が可能になった場合に次の段階に入る。次の段階では既存の他のシステムとの比較を行う。周回コースを用意し、同じコースを飛行する上でQRコードを用いた自己位置推定システムとVO(Visual Odometry)での自己位置推定と比較する。精度の比較はコースの周回速度と成功率で比較する。成功率は上記での定義を同様に用いる物とする。

### 6.1 評価内容

## 第7章 関連研究

基本的にドローンが自律飛行を行う際に必要とされる処理がいくつかある。そのうちの2つが自己位置推定と姿勢推定である。自己位置推定とは、ドローンが飛行している空間の中で自分がどの位置にいるのかを認識する事である。姿勢推定とは自分が水平方向に対してどの程度傾いているのか、鉛直方向に対してどの程度回転しているかといった事を認識することある。

### 7.1 Nanomap

これらを行なっている関連研究として Nanomap<sup>?</sup>という飛行モデルがある。においては 2D-LIDAR を用いた飛行経路探索手法が取られており、取得した点群データを過去数フレーム分を記憶しておき、過去の数フレーム分のデータと現在のフレームとの点群の変量によっておよその障害物の位置を認識している。こちらの手法では、物体を正確に捉えることは放棄し、不確実な部分を物体の存在している可能性のある範囲として捉えている。視野にある物体のある可能性も含めて1番物体が少ない方向を飛行経路として選定し、飛行している。

### 7.2 Octomap

他に、ドローンに限らずロボット工学全般で利用されてきた Octomap<sup>?</sup>がある。こちらも Nanomap と同様に LIDAR を用いて周辺的环境情報を扱うものであるが、こちらは LIDAR を用いて実際に周囲を点群からモデリングして周辺状況を把握する。

Octomap ではモデリングする際に近い点群同士を同じ物体としてまとめ1つのブロックにするということを繰り返し、樹構造的にブロックを生成する為、生成後のデータは繰り返す回数等のパラメータによっては小さく圧縮することもできる。しかし、実際に点群からモデルを生成するとなるとその計算量は非常に多く、高性能な小型コンピュータが現れている現在においても処理負荷が大きく、特にドローンにおいては積載量に制限がかかりやすい為扱いにくいものとなっている。

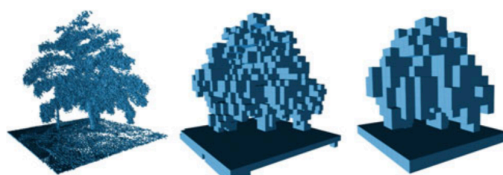


図 7.1: 圧縮率の違いによる生成物の違い

### 7.3 実用性を備えた手のひらサイズ・完全オンボード処理 UAV

また, これらのように LIDAR を使用せず, CMOS センサーのみで自律飛行を行なっている例もある.

実用性を備えた手のひらサイズ・完全オンボード処理 UAV のための 3 次元自己位置推定手法の提案と全自動飛行の実現<sup>2)</sup>では自己位置推定で使用するセンサーは CMOS センサーを利用した自律飛行を実現している. CMOS センサーからの映像を FPGA にストリームして FAST<sup>3)</sup>による特徴点抽出処理を行い, その結果を Brief<sup>4)</sup>を用いて表現し, MCU に流し込み処理している. この研究での目的は外部処理系に依存せず, ドローン上で全て完結する自律飛行可能な小型ドローンの開発で, 限定条件下 (新聞紙を敷き詰めた床面) の上で飛行させ, 特徴点を十分に検出できるようにした上で, 飛行させ想定通りの飛行を実現している.

### 7.4 DeepDrone

他に今回の研究のベース物として DeepDrone<sup>5)</sup>が挙げられる. こちらではドローンレースを自律飛行で行う為に自律飛行モデルを提案している. ドローンレースとは基本的にゲートを順に潜りながら飛行することが条件となっているドローン競技である. このゲートを RGB カメラで撮影した映像を推定モデルに対し, 200\*300 の画像を所与として  $\{\vec{x}, v\}$ , を推定結果として得る.  $\{\vec{x}$  は  $\vec{x} \in [-1, 1]^2$  と定義され正規化された入力画像の中にある目標とするゲートへの方向を表していおり,  $v \in [0, 1]$  は飛行速度を正規化して表している.

DeepDrone では訓練にシミュレータでのデータと現実世界でのデータを使っている. 両者とも理想とする軌道とのズレを計算しそのズレを損失関数に入力し学習を進めていく. シミュレータ上では直接理想とする軌道とのズレを取得し, 実空間では実際に手動で実際のコース上を運び, ゲートを通過させるなどしてデータを収集していた.

### 7.5 TDOA を用いた UAV の自己位置推定

他に屋内でドローンの位置測位を行っている例として Scalable and Precise Multi-UAV Indoor Navigation<sup>6)</sup>が挙げられる. これは TDOA-UWB という方式を用いたものである.

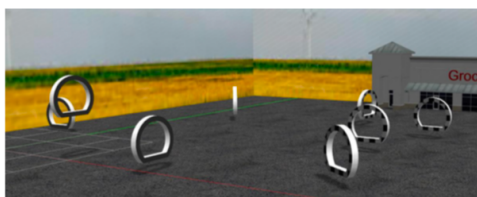


図 7.2: シミュレータ上のゲート

TDOA(Time Differences of Arrival) とは電波を用いた位置推定手法であり TOA(Time of Arrival) とよく比較される。Time of Arrival では電波を発信する送信機と位置推定を行う受信機との構成で行われる。送信機と受信機で時刻同期を行った上で、各送信機からの伝播時間を計測。この電波時間から距離を計算し、複数の送信機を用いると位置推定を行う事が出来る。

一方で TDOA では時刻同期の必要はなく、送信されてくる電波の時間差を用いて位置推定を行う。今回挙げているこの例では TDOA による位置測位を行うのに UWB を電波として用いている。

## 7.6 TERM プロジェクトでの成果

他に関連研究として自身の以前作成した飛行モデルをここで紹介したい。前回作成したモデルは黄色のフラフープをターゲットとしてフラフープをハフ変換とカラーフィルターを利用して検出し、そのフラフープを通過するというものである。実際のシステム概略図は以下のようにになっている。

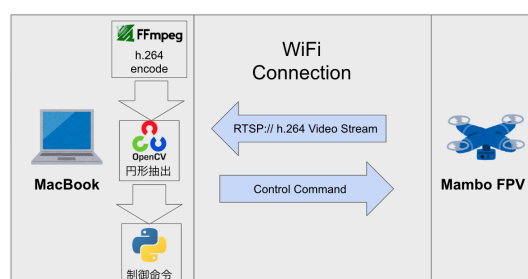


図 7.3: フラフープ通過飛行モデル

この飛行モデルでは歪み補正や傾きを考慮しておらず、地図情報を生成してもいない為一度フラフープがフレームアウトしたり、フラフープの正面方向に対して  $30^\circ$  以上角度がついてしまうと通過率が著しく落ちる事がわかっている。

## 第8章 結論

本章では，本研究のまとめと今後の課題を示す．

### 8.1 本研究のまとめ

今回のこのシステム実際に使う上では間違って他の QR コードを認識してしまったり、悪意ある人間によって QR コードがすり替えられていないかの検証システムが必要になってくる。その場合には jwt などの方式で QR コード内のデータに署名をする。という事で対応できるが、QR コードの場所が置き換えられてしまう、複製されてしまう。という問題は残る。

これらの事より本システムは悪意のある人間がいない環境での利用が制約として加わることになると考えられる。

### 8.2 本研究の課題



## 付 録 A 付録だよ

### A.1 付録内容だよ

書くよ

## 謝辭

## 参考文献

- Janis Tiemann Christian Wietfeld, Scalable and Precise Multi-UAV Indoor Navigation using TDOA-based UWB Localization, 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 18.21 September 2017, Sapporo, Japan
- Sebastian Thrun Michael Montemerlo, The GraphSLAM Algorithm with Applications to Large-Scale Mapping of Urban Structures
- Arun Annaiyan, Miguel A. Olivares-Mendez, Holger Voos, Real-time graph-based SLAM in unknown environments using a small UAV, 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) June 13.16, 2017
- Peter R. Florence<sup>1</sup>, John Carter<sup>1</sup>, Jake Ware<sup>1</sup>, Russ Tedrake<sup>1</sup>, NanoMap: Fast, Uncertainty-Aware Proximity Queries with Lazy Search over Local 3D Data
- A. Hornung, K. M. Wurm, M. Bennewitz, C. Stachniss, and W. Burgard, “Octomap: An efficient probabilistic 3d mapping framework based on octrees,” *Auton. Robots*, vol. 34, no. 3, pp. 189 – 206, Apr. 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s10514-012-9321-0>
- H. Oleynikova, Z. Taylor, M. Fehr, J. Nieto, and R. Siegwart, “Voxblox: Building 3d signed distance fields for planning,” *arXiv preprint arXiv:1611.03631*, 2016.
- 此村 領, 堀 浩<sup>1</sup>, 実用性を備えた手のひらサイズ・完全オンボード処理 UAV のための 3 次元自己位置推定手法の提案と全自動飛行の実現, 東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻
- E. Rosten, R. Porter, and T. Drummond. “Faster and better: A machine learning approach to corner detection.” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32:105.119, 2010.
- M. Calonder, V. Lepetit, C. Strecha, and P. Fua. “Brief: Binary robust independent elementary features.” In *European Conference on Computer Vision*, 2010.

Deepa Kaufmann, Antonio Loquercio, Rene Ranftl, Alexey Dosovitskiy,  
Vladlen Koltun, Davide Scaramuzza, ‘Drone Racing: Learning Agile  
Flight in Dynamic Environments,’ University of Zurich and ETH Zurich  
Intel Labs

Daniel Mellinger, Vijay Kumar, ‘Minimum Snap Trajectory Generation and  
Control for Quadrotors,’ Shanghai International Conference Center, IEEE  
International Conference on Robotics and Automation. 2011

Matthias Muller, Vincent Casser, Neil Smith, Dominik L. Michels, Bernard  
Ghanem, Teaching UAVs to Race: End-to-End Regression of Agile Controls  
in Simulation, Visual Computing Center at King Abdullah University of  
Science and Technology

横山 利夫, 武田 政宣, 藤田 進太郎, 安井 裕司, Honda の運転支援および自動運転の現状  
と今後, 本田技術研究所四輪 R & D センター 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢