

Bluetooth Low Energy の受信信号強度を用いた マルチコプターの自律航法

大門 雅尚[†] 岡本 東[†] 堀川 三好[†]
岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究所[†]

1 はじめに

近年、小型の無人マルチコプターが様々な領域で活用されている。しかしながら、運用には十分な操縦者育成期間が必要である。そのため、導入や運用の簡易化を目的とした自律航法の研究が進められている。自律航法には、主にウェイポイント飛行や自動着陸がある。これらを実現するための自己位置推定は一般的に GPS (Global Positioning System) が用いられるが、屋内や地下等では利用できない。そこで本研究では、実利用を想定し、利用環境やマルチコプターの種別を問わない手法で自律航法を実現することを目的とする。そのため、屋内外に関わらず設置できる小型で軽量の BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンを用いてマルチコプターを目標地点まで誘導する航法を提案する。また、あらゆる形状・重量のマルチコプターに対しても容易に適用できる汎用的な航法システムとするために、軽量のコンピュータデバイス (外部デバイス) に提案航法ロジックを実装する。

2 関連研究

電波を用いた航法では多くの場合、到達時間差か位相差によって自己位置推定を行う [1]。しかしながら、到達時間差を用いた手法では GPS のように発信源同士の時刻が高精度に同期されている必要があり、容易には実装できない。また、位相差を用いた手法では、必要となるアレーアンテナの軽量化が困難である。そのため、提案航法では電波の受信信号強度 (RSSI: Received Signal Strength Indication) を用いて自己位置推定を行う。

3 マルチコプター誘導航法

3.1 航法の概要

地面に BLE ビーコンを複数配置し、その周辺を誘導航法の適用エリア (誘導エリア) とする (図 1)。また、誘導航法は旋回と直進の順次実行を 1 ステップとし、この繰り返しを基本とする。

3.2 自己位置推定

目標地点にマルチコプターを誘導するには、旋回角度と移動距離で構成される誘導パラメータを決定する必要がある。旋回角度とは、現ステップにおいて旋回すべき角度であり、機体の進行方向と目標地点の有る方向のなす角である。また、移動距離とは、現ステップにおいて移動すべき距離であり、誘導エリアに対する機体の二次元座標と予め設定されている目標地点の二次元座標とのユークリッド距離として計算できる。これらの誘導パラメータを決定するためには自己位置推定 (機体の座標推定・進行方向推定) が必要となる。

座標推定は理論値と測定値を比較する手法で行う [2]。まず、電波が観測されている BLE ビーコン (以下、観

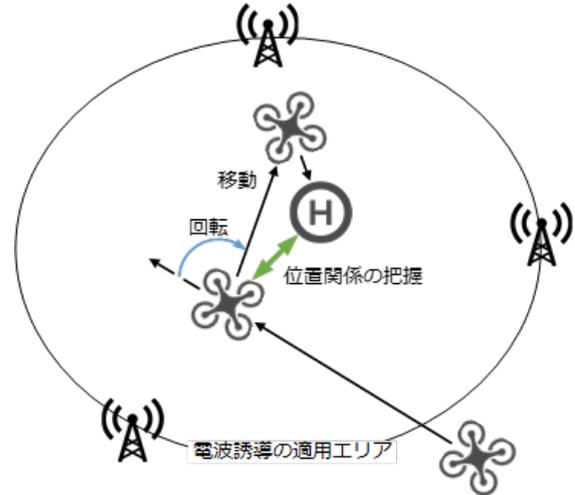


図 1 マルチコプター誘導航法の概要図

測ビーコン) を頂点とする凸多角形の内部に格子状の類似度算出点を設定する。次に各類似度算出点における理論上の RSSI を算出する。理論上の RSSI とは、自由空間における距離に対する RSSI の値であり、観測ビーコン毎に算出される。最後に各類似度算出点における理論 RSSI と実測 RSSI との類似度を算出する。算出された類似度の中でも最も大きい類似度が計算された類似度算出点の座標を機体の座標とする。

進行方向推定は $t-1$ 時から t 時にかけての観測ビーコンから取得した RSSI の変化量を用いて行う [2]。前提条件として、同一ステップ内において $t-1$ 時の機体座標が既知であるとする。推定手順は、まず、 $t-1$ 時から t 時にかけての観測ビーコンの RSSI の変化量から各観測ビーコンそれぞれに対して変位ベクトルを生成する。変位ベクトルの大きさは $t-1$ 時から t 時にかけての RSSI の変化量とし、方向は $t-1$ 時の機体座標から各観測ビーコンに向けた方向とする。次に生成した変位ベクトルを合成する。この合成ベクトルの向きを機体の進行方向として扱う。

3.3 目標地点への誘導

自己位置推定の結果に基づいて誘導パラメータを決定し、マルチコプターを目標地点に誘導する。ここで、マルチコプターは平行移動のためのパラメータとして移動速度値を、旋回のためのパラメータとして角速度値を受け取る。1 ステップで動作すべき量は動作速度と動作させる時間の積によって表すことができるため、動作させる時間の分だけ一定の速度値を与え続けることで動作すべき量だけ機体を動作させることができる。

3.4 ステップ間処理

ステップ間処理とは、誘導航法の終了判断をするために実行する処理であり、基本的に目標地点の直上または付近にたどり着いているかどうかを判定するものである。そのために、予め目標地点の座標としてビーコンの設置座標を登録する。目標ビーコンは誘導エリアを構成

Autonomous Navigation for Multirotor Aircraft
using Received Signal Strength Indication
of Bluetooth Low Energy
[†]Masanao Daimon, Azuma Okamoto,
Mitsuyoshi Horikawa
[†]Iwate Prefectural University Graduate School
of Software and Information Science

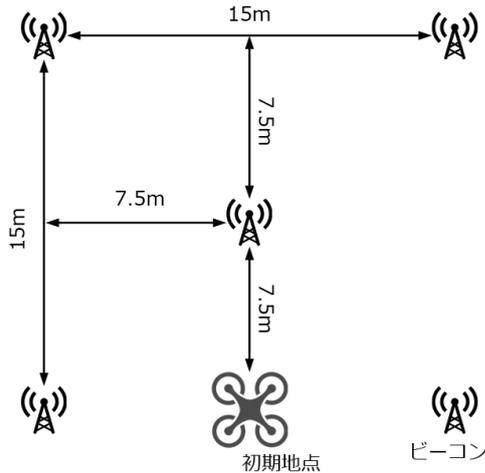


図2 誘導航法に関する実験の環境設定

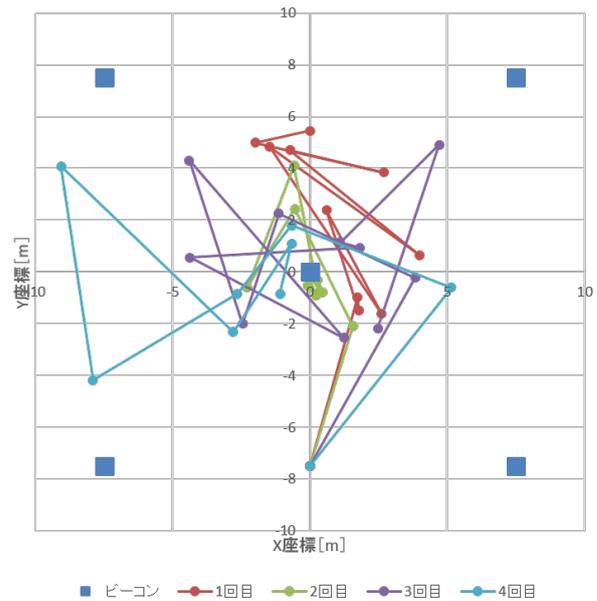


図3 誘導航法の実施軌跡

するビーコンに追加して設置するか、誘導エリアを構成するビーコンの中から選ぶ。RSSIの強弱情報を用いて、その差に有意性があるかどうかを統計的に検定することで、機体がどのビーコンに最も近接しているかを判定する [3].

4 評価実験

4.1 実験概要

誘導航法全体としての挙動を検証した。この実験によって、実利用を想定した場合の許容ステップ数や移動制御手法の最適なパラメータ等の検討に役立てることができる。

図2に機体の初期位置、ビーコンの設置位置の関係を示す。この実験では、所定の位置から10ステップだけ航法を実行し、ステップ毎の機体位置を記録した。実験には、実験機体としてDJI社製のMatrice 100を使用し、外部デバイスにRaspberry Pi 3を使用した。また、機体の初期進行方向は目標地点の方向と一致する方向に固定とした。

4.2 実験結果

この実験で記録された4回分の移動軌跡を図3に示す。尚、4回目のみ強風による影響で飛行困難となり、8ステップまでとなっている。

どの試行でも3ステップ目までで目標地点に3m以内に接近していた。その後、4ステップ及び5ステップの時点を目標地点から遠ざかっていた。目標地点に接近した後遠ざかる要因として、機体が目標地点に接近することで相対的に周囲の他のビーコンから遠ざかり、RSSIの減衰量が少なくなったことが関係していると考えられる。ビーコンから遠ざかるとRSSIの大小関係が安定しなくなるため、自己位置推定の性能が低くなり、誘導パラメータが正確に算出されていないと考えられる。

4.3 考察

いずれの試行でも3m以内まで目標地点に接近しており、カメラの画像情報から目標地点へさらに接近する航法も利用可能になると考えられる。また、BLEによる誘導航法としては3ステップが目標地点に接近するのに必要なステップ数であり、そこから多少余裕を持たせて4~5ステップ程度を許容ステップ数とするのが妥当だと考えられる。

5 おわりに

本研究ではBLEビーコンを用いた誘導航法を提案した。実験から、3ステップほどの現実的なステップ数で目標地点に接近しており、提案航法の実用性が示された。提案した誘導航法の特徴は、容易に取り外し可能な外部デバイスに誘導ロジックを実装している点とBLEビーコンが誘導エリアの形成に用いられており、マルチコプターそのものに取付ける必要がないという点である。また、BLEビーコンを誘導エリアに配置するため、屋内外に関わらず適用できる。よって、既にマルチコプターが導入されている業務や作業に対しても専用の機体が必要な手法と比べると比較的容易に導入することができると考えられる。

提案した誘導航法は以下の点において改善が可能である。使用するRSSIのデータ量の調整をはじめとする自己位置推定の精度向上と誘導パラメータ等の補正である。特に誘導パラメータ及び飛行制御に利用する移動パラメータ及び旋回パラメータの決定に関しては、現状では単純な算出方法になっているため、時点毎の状態を確認しながらリアルタイムに誘導パラメータを決定できれば、航法自体の安定化に繋がる。

参考文献

- [1] 三輪勝二, 三輪綾香: 日本における通信の現状や利用の仕方について (<特集>航法システム研究会AUNAR500回記念国際シンポジウム報告”小型船と海難防止”), Vol.175, pp.39-42 (2010)
- [2] 古館達也, 堀川三好, 岡本東: Bluetooth Low Energyの通信特性を考慮した測位システムに関する研究, 情報処理学会第79回全国大会講演論文集, Vol.2017, No.1, pp.29-30 (2017)
- [3] 工藤大希, 堀川三好, 古館達也, 岡本東: BLEビーコンを用いたエリア推定による屋内位置測位手法の提案, 情報処理学会第78回全国大会講演論文集, Vol.2016, No.1, pp.425-426 (2016)