

Bluetooth Low Energy を用いた 受信信号強度によるマルチコプター誘導手法

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[†] 岩手県立大学ソフトウェア情報学部[‡]

1 はじめに

近年、様々な分野で小型の無人航空機が活用されている。一般的な形状にマルチコプターと呼ばれる航空機がある。マルチコプターの運用には操縦訓練期間を要するため、自律制御技術の研究が多く進められている。

本研究では、マルチコプターを着陸地点まで誘導するタスクを自動で行う制御技術の実現を目的としている。しかしながら、未知の環境を想定した場合、既存のセンサシステムの使用は制限される。そのため、環境依存の小さい BLE (Bluetooth Low Energy) の受信信号強度 (RSSI) を用いた手法を提案する。

2 関連研究

マルチコプターの位置制御手法として全地球測位システム (GPS) が一般的である [1]。しかしながら、GPS は屋内では測位できず、屋外でもビル街等の構造物の近辺では十分な精度を得ることができない。

GPS を活用できない環境では、電波発信機を用いて測位を行う手法が考えられる。電波による測位技術には位相を分析することで到来方向 (DOA) を導出する手法がある [2]。しかしながら、位相を検出できるアンテナを機体に搭載する必要があり、導入は容易ではない。

3 着陸地点の決定手法

3.1 着陸地点までの誘導

図 1 に提案航法の飛行イメージを示す。飛行環境に着陸地点を示す着陸用電波発信機を一つ設置し、その周辺にも複数の誘導用電波発信機を設置する。マルチコプターは着陸用電波発信機と誘導用電波発信機から発信される電波信号を受信し、識別する機能を有する。マルチコプターが飛行中に受信した電波信号の RSSI を用いて進路を補正することで、着陸地点まで誘導する。

3.2 進路の補正

まず、進路補正の必要性を判断するために、着陸用電波発信機に対してマルチコプターが接近しているか否か

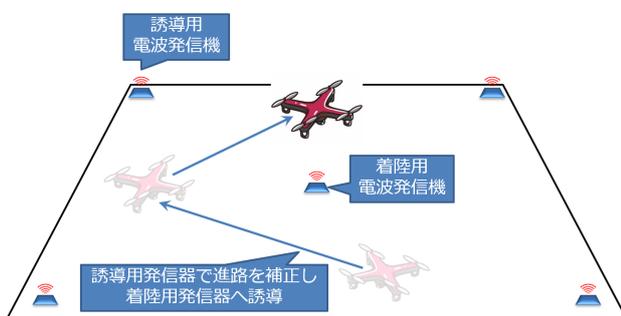


図 1 飛行イメージ

Multicopter Aircraft Guidance Method by Received Signal Strength Indicator using Bluetooth Low Energy
[†]Masanao Daimon, [‡]Azuma Okamoto, Mitsuyoshi Horikawa
[†]Iwate Prefectural University Graduate School of Software and Information Science
[‡]Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

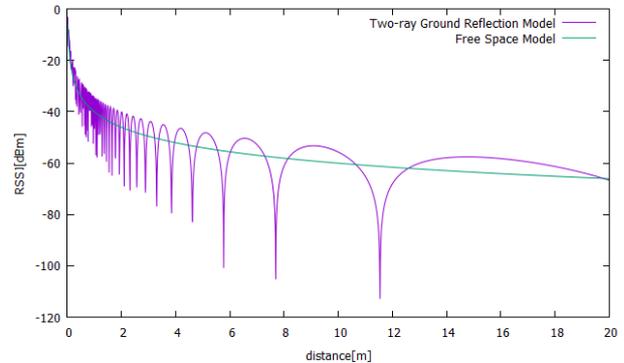


図 2 電波の減衰特性

を推定する。電波発信機が接近しているか否かの判断には電波の減衰特性を利用する。しかしながら、図 2 に示すように、地面による反射の影響を考慮すると RSSI のみでの判断は困難となる。そのため、近似曲線として自由空間における電波の減衰特性を利用する。自由空間における電波の減衰式を式 (1) に示す。

$$RSSI = -20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (1)$$

d [m] : 送受信機間の距離

λ [m] : 電波の波長

進路を補正するために、現在の進行方向と着陸地点の方向を推定する。現在の進行方向は各発信機の遠近をベクトル化し、合成することで推定する。まず、マルチコプターが近づいている組と遠ざかっている組に発信機を分類する。次に、遠ざかっている発信機から近づいている発信機に向かうベクトルを生成する。ベクトルの大きさは一定時間内に取得した RSSI を時系列データとした際の回帰直線の傾きである。このベクトル群を全ての発信機について生成した後、式 (2) を用いて合成ベクトルを生成する。合成ベクトル \vec{v}_a を極座標方式で表した際の角度成分がマルチコプターの現在の進行方向となる。

$$\vec{v}_a = \sum_{b^- \in B^-} \sum_{b^+ \in B^+} \{i_{b^+} + d_{b^-}\} \frac{b^- - b^+}{|b^- - b^+|} \quad (2)$$

b^- : 遠ざかっている発信機の位置 ($\forall b^- \in B^-$)

b^+ : 近づいている発信機の位置 ($\forall b^+ \in B^+$)

i_{b^+} : RSSI の増加量

d_{b^-} : RSSI の減少量

着陸地点の方向は各発信機の RSSI の大きさを用いて推定する。まず、着陸用発信機を原点とする二次元平面として飛行環境を考える。 x 軸、 y 軸それぞれについて、正側に存在する発信機の RSSI の平均と負側に存在する発信機の RSSI の平均を算出する。式 (3) より、マルチコプターの位置を推定する。 x 軸方向の結果と y 軸方向の結果を合成し、着陸地点の方向を推定する。

$$x = 1 - \frac{\min(\overline{r_x^+}, \overline{r_x^-})}{\text{ave}(\overline{r_x^+}, \overline{r_x^-})}, y = 1 - \frac{\min(\overline{r_y^+}, \overline{r_y^-})}{\text{ave}(\overline{r_y^+}, \overline{r_y^-})} \quad (3)$$

表1 開発環境

マルチコプター	DJI Matrice100
電波発信機	ERi BLUETUS BLU-250
受信装置	Raspberry Pi 3 model B
開発言語	C++
コンパイラ	gcc 4.9.2
使用 SDK	DJI Onboard-SDK

r_{*}^{+} : 正側に存在する発信機の平均 RSSI

r_{*}^{-} : 負側に存在する発信機の平均 RSSI

3.3 着陸地点の検知

着陸地点を検知することは、着陸用発信機の上空を飛行しているかかを判定することと同義である。そこで、工藤らの手法 [3] を利用し、マルチコプターに最も近接する電波発信機を判定する。最近接発信機が存在する時、マルチコプターはその発信機の上空を飛行しているとすると、着陸用発信機が最近接発信機として選択された場合、その位置が着陸地点の上空であると言える。

4 着陸地点検知システムの実装

表1に開発環境を示す。DJI社の製品である Matrice100にはBLEの受信装置としてRaspberry Pi3を取付ける。また、電波発信機としてERi社製のBLEビーコンであるBLUETUSを使用する。Raspberry Pi3は一定時間間隔でBLUETUSの信号を受信し、最近接発信機の判定を行う。Matrice100のコンピュータでは一定時間間隔でRaspberry Pi3に最近接発信機の判定結果を問い合わせる。最近接発信機が着陸用発信機である場合は着陸を行い、それ以外の場合は直進する。

5 評価

5.1 実験目的

図3に飛行環境を示す。二つの実験で実装した着陸地点検知システムと提案した進行方向及び着陸地点の方向推定手法について評価する。一つ目の実験では、着陸地点検知システムを動作させ、本来の着陸地点と機体が実際に着陸した地点との誤差を測定する。二つ目の実験では、計測したRSSIに進路補正手法を適用し、算出される回転角と理論値とを比較する。

5.2 実験内容

(1) 着陸地点検知システム評価

本来の着陸地点より10m離れた地点から着陸地点検知システムを動作させる。電波発信機で示す本来の着陸地点と機体が実際に着陸した地点との距離を計測する。

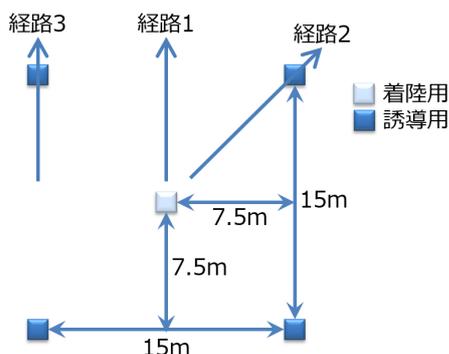


図3 飛行環境

表2 着陸地点検知精度

回数	1	2	3	4	5
計測値 [cm]	53.8	129.8	81.1	156.3	107.9
回数	6	7	8	9	10
計測値 [cm]	117.9	80.8	106.2	128.4	141.2

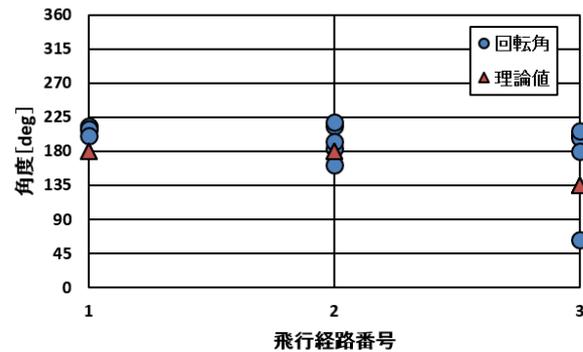


図4 回転角推定精度

(2) 方向推定精度評価

実験機体を図3の3本の経路に従って飛行させる。経路ごとにRSSIを計測し、提案手法を適用する。提案手法による推定角度と理論値を比較し、誤差を算出する。

5.3 実験結果

(1) 着陸地点検知システム評価

表2に着陸地点検知精度を示す。誤差平均が110.3 [cm]、標準偏差が31.2 [cm]となった。これらの値から安定して正確に着陸地点が検知できることが分かる。

(2) 回転角推定精度評価

図4に回転角推定精度を示す。経路1及び2の誤差平均はそれぞれ28.76度、21.04度となった。一方、経路3の誤差平均は63.48度であった。経路1及び2のような着陸用発信機付近を飛行する経路に比べて、経路3のような着陸用発信機付近を飛行しない経路では著しく精度が低くなっている。

6 おわりに

本研究では、マルチコプターを着陸地点へ誘導する制御技術を実現するために、進路補正手法と着陸地点検知手法を提案した。また、それらの内の着陸地点検知手法を航法システムとして実装した。着陸地点に関しては高精度な検知を行うことができたが、回転角推定については十分な精度を得られたとは言えない。今後の課題として、回転角度推定の高精度化が必要となる。その上で進路補正機能を実装し、誘導航法システムを構築する。

参考文献

- [1] 鈴木智, 野波健蔵: 拡張カルマンフィルタを用いたGPS/非GPS空間における自律飛行ドローンのナビゲーション, 計測と制御, Vol.56, No.9, pp.675-678 (2017)
- [2] 多田羅一昂, 李根浩, 丁洛榮: 移動ロボットの目標追従タスクに適した電波到来方向探知手法, Vol.81, No.829, pp.15-00109 (1)-15-00109 (12) (2015)
- [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)