

BLE ビーコンを用いたマルチコプターの新たな航法技術の実現

大門 雅尚[†] 堀川 三好[†] 岡本 東[†]岩手県立大学ソフトウェア情報学部[†]

1. はじめに

近年、様々な領域で小型の無人マルチコプターが活用されている。特に操縦に関しては、習熟までに訓練期間を要するため、自律航法や自動追尾航法に関する研究が多く進められている。

本研究では、手動操縦と自動追尾航法を併用したハイブリッド航法システムを実現することを目的としている。そのための自動追尾航法として、周辺環境への依存が小さい、BLE ビーコン（以後、ビーコン）の受信信号強度（以後、RSSI）を利用した手法を提案する。

2. 関連研究

飛行体の自律制御に関して、GPS やカメラを用いた手法が多く研究されている [1]。しかしながら、GPS は信号が十分に受信できない屋内等では利用できず、カメラは暗い場所での利用に適さないという課題がある。

3. BLE による相対位置推定

3.1 距離推定手法

自由空間における RSSI と距離の関係は式 (1) で表される。

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

$d[\text{m}]$: 発信器と受信器との距離,

$\lambda[\text{m}]$: BLE の波長 (約 0.125[m]), $C[\text{dBm}]$: 環境係数

但し、実際は環境の変化によって、バラつきが発生する。

3.2 方向推定手法

方向の推定は田澤ら [2] の手法を利用する。装置は 3 素子のアレーアンテナから 4 つのビーコン信号を発信する構成になっている。この手法では、RSSI より式 (2) を用いて相関行列 R を求め、 R に対して MUSIC 法を適用することで方向を推定する。各 RSSI は式 (3) によって表される。

$$R = \begin{pmatrix} |h_1|^2 & h_1 h_2^* & h_1 h_3^* \\ h_1^* h_2 & |h_2|^2 & h_2 h_3^* \\ h_1^* h_3 & h_2^* h_3 & |h_3|^2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} |h_{90,1}|^2 & |h_{90,2}|^2 \\ |h_{180,1}|^2 & |h_{180,2}|^2 \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} A - j h_1 h_2^* + j h_1^* h_2 & A + j h_1 h_2^* - j h_1^* h_2 \\ B + h_2 h_3^* + h_2^* h_3 & B - h_2 h_3^* - h_2^* h_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$A: |h_1|^2 + |h_2|^2, B: |h_2|^2 + |h_3|^2$

ここで、 h_1, h_2, h_3 はアレーアンテナの各素子から発信される電波の RSSI を示し、 $h_{90,1}, h_{90,2}, h_{180,1}, h_{180,2}$ は 4 つのビーコン信号の RSSI を示す。

4. 自動追尾航法の提案

4.1 提案航法の概要

提案航法の概要を図 1 に示す。提案航法では、離着陸等の単純な操作を手動で行い、移動や方向転換等の精密な操作を自動追尾で行う。

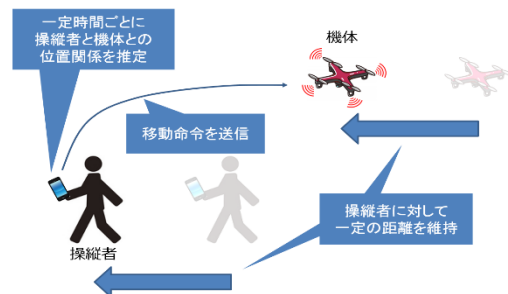


図1 航行イメージ

4.2 開発環境

本システムの開発環境を表 1 に示す。機体制御端末は XperiaZ3 を使用し、機体は DJI Matrice100 を使用した。開発言語は Java7 系を使用し、動作 OS を Android4.1 以上とした。また、機体制御用 API として DJI Mobile SDK を使用した。

表 1 開発環境

動作 OS	Android4.1 以上
開発言語	Java7 系
使用端末	SONY XpeariaZ3
使用マルチコプター	DJI Matrice100

4.3 ハイブリッド航法システム

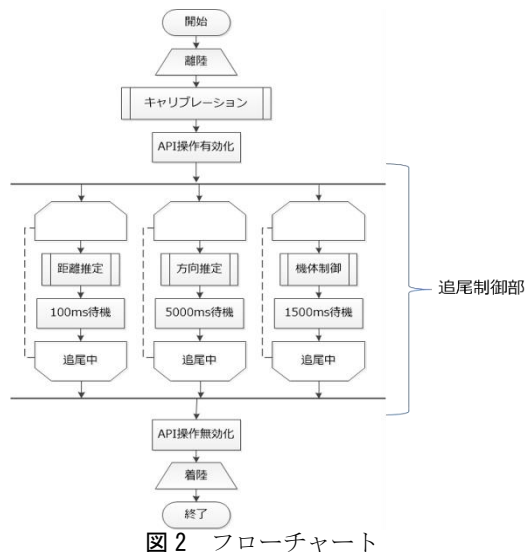
図 2 にフローチャートを示す。キャリブレーション後、追尾制御部内の距離と方向の推定、機体制御がそれぞれ並列に動作する。機体制御は移動命令決定と回転命令決定から構成される。

(1) キャリブレーション

距離算出には式 (1) が利用できるが、実環境の変化によって環境係数も変化する。そのため、システムにとって既知な位置から数十秒間の RSSI 計測を行うことで環境係数を決定する。

(2) 移動命令決定

移動命令は前後の移動速度によって構成される。進行方向は現 RSSI と維持用 RSSI との大小比較によって決定する。前提条件として、操縦者が機体前方にいる状態から追尾を開始する。よって、現 RSSI が維持用 RSSI より弱い場合は前進



し、強い場合は後退する。また、速度は停止を含めた複数段階分の値を用意し、距離に応じて値を選択することで決定する。

(3) 回転命令決定

回転命令は角速度によって構成される。角速度は一定とし、回転時間を変化させることで回転角を決定する。また、安全のため、一定以上回転しないよう制限する。

5. 評価実験

5.1 実験内容

図3に使用する機体を示す。それぞれの脚にビーコンを取付け、機体上部と前方にはそれぞれ特殊ビーコン本体とアンテナを取付ける。

(1) 距離推定

15mの直線経路を一定速度で歩行し、操縦者が5m移動する毎に機体の移動距離を計測する。

(2) 方向推定

機体の正面方向に対して、 ± 40 [deg] の範囲で、10 [deg] ごとに角度推定を行う。

(3) 航法システム

400mの陸上用トラックに沿って一定速度で歩行し、一定間隔で機体の実位置を記録する。

5.2 実験結果

実験の結果を図4、図5、図6に示す。距離推



図3 Matrice100とビーコンの取付け

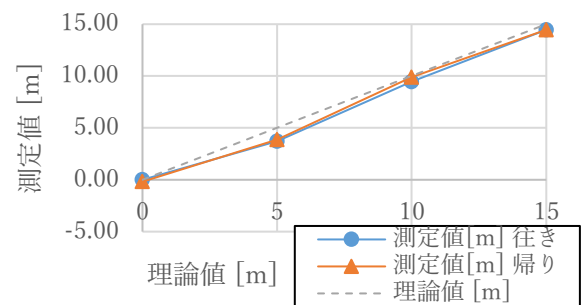


図4 距離推定評価結果

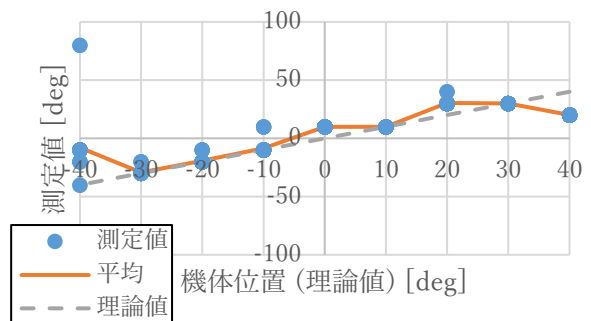


図5 方向推定評価結果

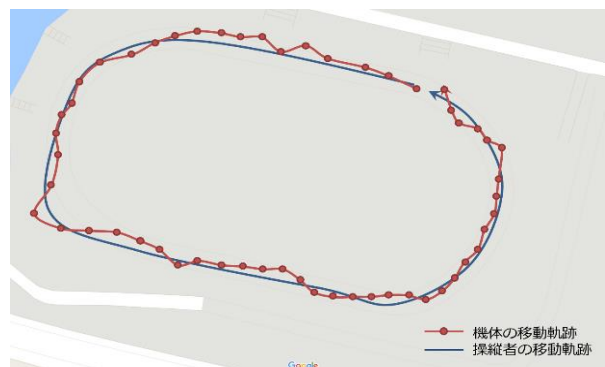


図6 航法システム評価結果

定における理論値との誤差平均は往復路共に 1 [m] 以内となった。また、方向推定において ± 30 [deg] の範囲で誤差平均 3.33 [deg] となった。航法システムの追尾精度は図6のようになった。

6. おわりに

本研究では、BLE ビーコンの RSSI を用いた移動体同士の連続的な相対位置推定の手法を確立した。また、その推定に基づく小型無人マルチコプターの自動追尾航法を実現した。

参考文献

- 1) 中村心哉, 佐藤彰, 柴田英貴, 菅野道夫: 画像情報および GPS を用いた無人ヘリコプタによる自動探索, 追従システムに関する研究, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.6, pp.862-872 (2000)
- 2) 田澤遼太, 石井知貴, 本間尚樹, 三浦淳, 南澤博仁: RSSI による 3 素子アレーを用いた屋内位置推定手法, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol.2016, p.B-1-201 (2016)