無人機の屋内運用のための位置推定の検討

Study on position estimation for UAV indoor operation

○岩城昌志¹, 佐々修一², 安部明雄² Masashi Iwaki¹, Shuichi Sasa² and Akio Abe²

Abstract: In the indoor UAV operation, GPS signal cannot be used for position measurement, and automatic flight is difficult to realize. In this paper, real-time position estimation method using Wi-Fi stations on the ground and a Wi-Fi receiver on board is evaluated. The intensities of received signals are used for range measurement, and the UAV position is calculated by numerical optimization method. Flight simulation using simple point-mass model of UAV to follow a specified circle flight path was executed.

1. 諸言

近年,屋外での位置情報の取得には GPS(Global Positioning System)が一般的に用いられている.一方, 屋内では電波減衰などの影響から GPS 情報が使えない ため,位置情報の取得には様々な技術が検討されてい るが明確なものが定まっていない.

そのため本稿では軽量で入手の容易な市販の Wi-Fi 端末(XBee)を複数用いた.屋内位置情報取得に関する 手法について提案する^[1].

即ち想定飛行領域の地上周辺部に複数の XBee モジ ュール(送信用)を設置し,機上に搭載された XBee モジ ュール(受信用)と相互通信を行う.距離減衰を受けた電 波強度により,機体と各地上モジュールの距離を求め, その情報から機体位置を最適化手法で推定するという ものである.

本稿では,提案する位置推定手法を評価すると共に, その位置推定結果を用いた無人機の軌道追従シミュレ ーションを行い,屋内での無人機の位置計測の評価を 行った.

2. 推定手法

Fig.1 のように地上に設置した4点(P₁, P₂, P₃, P₄)に Wi-Fi 端末を設置しそれらに囲まれた領域を無人機が 飛行する状況を考える.

本稿では簡単のため,無人機の高度変化は無視し, 水平面の飛行を考える.また P 点を飛行する無人機に も Wi-Fi 端末が搭載され,各地上端末からの電波の受 信強度を計測できるようになっている.電波強度は送 信機-受信機間の距離の2乗に反比例するため,電波強 度には機体と各地上端末間の距離(r₁, r₂, r₃, r₄)の情報 が含まれるため, P 点の x-y 座標を最適化手法(Gauss-Newton 法)で求めることができる.

2.1. Gauss-Newton 法

各地上端末の位置座標をベクトル表示し P₁:(x₁, y₁), P₂:(x₂, y₂), P₃:(x₃, y₃), P₄:(x₄, y₄)とし, 無人機 の位置座標(x, y)とする.端末と無人機の位置座標を次 式で示し, *p*の非線形関数になる^[2].

$$r_{im} = f_i(\mathbf{p}) = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}$$
(1)
これをベクトルで並べると、

$$\mathbf{R}_{\mathbf{m}} = \begin{bmatrix} r_{\mathbf{im}} & r_{\mathbf{2m}} & r_{\mathbf{3m}} & r_{\mathbf{4m}} \end{bmatrix}$$
(2)
次に,位置の推定値を $\hat{\mathbf{p}}$ として次式で表す.

 $\hat{r}_{i} = f_{i}(\hat{p}) = \sqrt{(\hat{x} - x_{1})^{2} + (\hat{y} - y_{1})^{2}}$ (3) 同様にこれを並べて

$$\hat{\boldsymbol{R}} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \end{bmatrix}^T \tag{4}$$

評価関数は次のようにする.

$$J = \left\| \boldsymbol{R}_{m} - \hat{\boldsymbol{R}} \right\|^{2} = (\boldsymbol{R}_{m} - \hat{\boldsymbol{R}})^{T} (\boldsymbol{R}_{m} - \hat{\boldsymbol{R}})$$
(5)

このとき評価関数を最小化にする \hat{p} はGauss-Newton法 で次の繰り返し計算で求まる.

$$\hat{\boldsymbol{P}}_{n+1} = \hat{\boldsymbol{P}}_n + \boldsymbol{dZ} \tag{6}$$

$$d\mathbf{Z} = (d\mathbf{R}^{T} d\mathbf{R})^{-1} d\mathbf{R}^{T} (\mathbf{R}_{m} - \mathbf{R})$$
(7)

Gauss-Newton 法は Newton-Raphson 法と比べヘッセ行 列が必要なく,安定的に最適解が求まるなど,工学的 に優れた最適化アルゴリズムである.



Fig.1 Object and the four-point coordinates

Fig.2 に Gauss-Newton 法による,X座標の真値と推定 値の推定結果を示す.グラフからもわかるように初期 値から始め,5回目の推定では目標点と一致している.

^{1:}日大理工・院(前)・航宇 2:日大理工・教員・航宇



3. 軌道追従

位置推定値を用いて,目標軌道に追従する制御シミ ュレーションを行う.目標軌道は[Xt.Yt]を中心とする半 径 R_s の円とする.ここでは機体を一定速度Vで運動す る質点で近似し,その方位 Ψ を制御することで位置の 制御を行う.



Fig.3 Determination of the moving point angle

よって Fig.3 で示されているΨに関する式として次の関係を与える.

$$\dot{\Psi} = K_p (R_s - R) + K_I \int_0^t (R_s - R) dt + K_D \dot{R}$$
 (8)

(8)式の関係を用いて,原点からの距離を R とし,円の 半径との差を利用し,PID 制御的に方位コマンドを生 成するものである.

3. シミュレーション結果

XBee を配置する各4点の座標を次のようにまとめる.

Table1. Four-point coordinates

\mathbf{X}_1	-50	X2	-50	X3	50	X_4	50
\mathbf{Y}_1	-50	Y_2	50	Y ₃	50	Y_4	-50

この 4 点は Fig.4 でそれぞれ角に相当する水色の点 に配置している.目標軌道は,原点を中心とする半径 $R_s = 40[m]$ の円である.また,(8)式に含まれるゲインの 値を Table2 にまとめた.このシミュレーションのサン プリング時間は 0.1 秒とし,一定速度V は 6.5[m/s]とし た.Fig.4 で,推定点は \triangle を始点とする黒の実線,機体の 位置は×を始点とする青の実線である.



Table3 Three orbit data

Tables. Three orbit data				
赤	目標軌道			
青	機体軌道			
黒	推定点軌道			

推定点軌道が物体軌道と同じ動きをしており,位置 推定ができていることがわかる.また,(8)の制御則で目 標軌道に追従させることができた.

4. 結論

本稿では無人機の屋内運用のため、Wi-Fi端末(XBee) の電波強度を用いた位置推定手法を提案し、簡易な質 点モデルのシミュレーションを行い、位置推定、およ びそれを用いた円軌道への追従特性を評価した.

今後の課題として詳細な機体モデルを用いたシミュ レーション評価を行うと共に,外乱特性を含めたもの を評価することも行いたい.また,実際の機器を用いた 実証システムの構築を行い屋内飛行実験を行う.

5. 参考文献

- [1] XBee マニュアル https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zi gbee/XBee-Manual.pdf
- [2] 中溝 高好:「信号解析とシステム同定」, コロナ社, pp.14~17