

K7-88

仮想ポテンシャル場を用いた UAV の誘導実験
Experiments on Guidance and Control of UAV by Virtual Potential Field

○天野貴裕¹, 岩崎桂誠¹, 鈴木真之², 内山賢治³

*Takahiro Tenno¹, Keisei Iwasaki¹, Masayuki Suzuki², Kenji Uchiyama³

This paper attempts to design control law that uses artificial potential guidance method and optimal regulators for autonomous flight of Unmanned Aerial Vehicles (UAV). We develop a UAV system consists of CPU, IMU, GPS module, Radio communication module. Demonstration of straight and level flight is performed in order to verify the validity of the proposed control method.

1. はじめに

UAVは人的要素の観点から災害時の監視など様々な分野で利用が期待され、開発が進んでいる。本研究室においても UAV の自律飛行制御系の設計を行っており、本稿では障害回避などが容易に行えるポテンシャル関数誘導法、最適レギュレータを用いて誘導・制御系を構築する。また設計した制御系を開発した UAV に適用し、その有効性を検証する。

2. システム

2.1 UAV

誘導実験を行うために、図 1 に示す機体を開発した。開発した機体は EPP 製で重量が 500g である。製作した機体にマイコン、無線機、IMU、GPS module 等のアビオニクスを搭載した。マイコンは株式会社ベストテクノロジー製の SH7145F マイコンボードを使用し、UAV と地上局の通信に用いる無線機は株式会社サーキットデザイン製の MU-2-429 を使用する。IMU は、2 軸角速度と 3 軸加速度が計測できる有限会社ストロベリー・リナックス製の IMU 5Degree of freedom を 2 個搭載した。GPS は有限会社ストロベリー・リナックス製の FV-M8(EB-85A)を使用する。各アビオニクスの仕様をそれぞれ表 1~3 に示す。

Table1. Radio comunication module (MU-2-429)

Supply voltage	3.0~5.0[V]
Dimensions	36×26×8[mm]
Frequency range	429.250~429.7375[Hz]
Sensitivity	-110[dBm]
Communication interface	SCI

Table 2. IMU (IMU 5 Degrees of freedom)

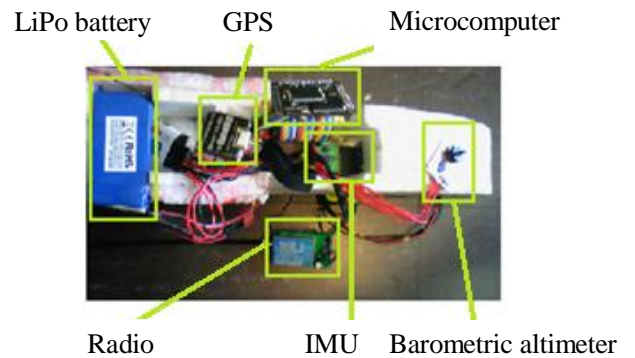
Supply voltage	3.0~3.3[V]
Dimensions	18.4×23.5×3.15[mm]
Acceleration	-29.4~+29.4[m/s ²]
Angular rate	-500~+500[deg/s]

Table 3. GPS module (FV-M8(EB-85A))

Supply voltage	3.3~5.0[V]
Dimensions	30×30×8.6[mm]
Update rate	5 [Hz]
Positional accuracy	2.6~3.3[m]



(a) Overview of UAV



(b) Sensor system

Figure 1. Developed UAV

2.2 ダイナミクス

自律飛行制御系を設計するために、式(1), (2)に示す UAV の線形モデル^[2]を用いる. 各状態量, 入力 of 定義は図 2 の通りである.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u & X_w & -W_0 & -g \cos \theta_0 \\ Z_u & Z_w & U_0 + Z_q & -g \sin \theta_0 \\ M_u & M_w & M_q & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\delta_e} & X_{\delta_r} \\ Z_{\delta_e} & Z_{\delta_r} \\ M_{\delta_e} & M_{\delta_r} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_e \\ \delta_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_p & Y_r - U_0 & g \cos \theta_0 & 0 \\ L_v & L_p & L_r & 0 & 0 \\ N_v & N_p & N_r & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \tan \theta_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sec \theta_0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ p \\ r \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{\delta_a} & Y_{\delta_r} \\ L_{\delta_a} & L_r \\ N_{\delta_a} & N_{\delta_r} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_a \\ \delta_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

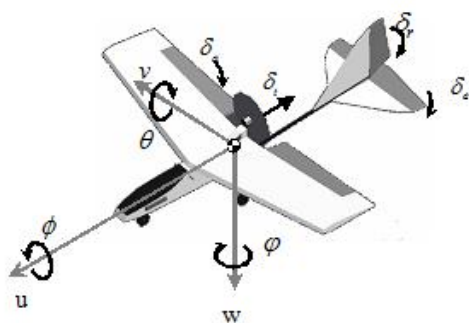


Figure 2. Definition of state variables and control inputs

3. 誘導制御則

UAV を所望の位置へ誘導するための誘導則としてポテンシャル関数誘導法^[3]を用いる. ポテンシャル場 U_p を次式で定義する.

$$U_p(\mathbf{r}) = U_{wp}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_{wp}) + U_{obs}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_{obs}) \quad (3)$$

ここで U_{wp} は誘導ポテンシャル, U_{obs} は反発ポテンシャル, \mathbf{r} , \mathbf{r}_{wp} , \mathbf{r}_{obs} はそれぞれ慣性座標系での機体の位置ベクトル, 目標地点の位置ベクトル, 障害物の位置ベクトルを表す. また U_{wp} と U_{obs} は以下の式で定義される.

$$U_{wp} = \|\mathbf{r} - \mathbf{r}_{wp}\| \quad (4)$$

$$U_{obs} = \frac{A_{obs}}{\|\mathbf{r} - \mathbf{r}_{obs}\| + \epsilon_{obs}} \quad (5)$$

ここで A_{obs} と ϵ_{obs} はそれぞれ障害物の危険度と大きさを決める変数である.

誘導に用いる機種方位角指令 ψ_d は, 機体の位置ベクトル \mathbf{r} と仮想ポテンシャル場 U_p より計算される.

$$\psi_d = \tan^{-1} \left(\frac{\partial U_p(\mathbf{r}) / \partial y}{\partial U_p(\mathbf{r}) / \partial x} \right) \quad (6)$$

この指令値を用いて最適レギュレータを設計し UAV の姿勢を制御する. しかし, 開発した UAV のセンサ系では全ての状態量は観測できない. そこで, 制御入力 \mathbf{u} および機体の角速度 p, q, r を用いカルマンフィルタ^[1]を通して状態量を推定する(図 3).

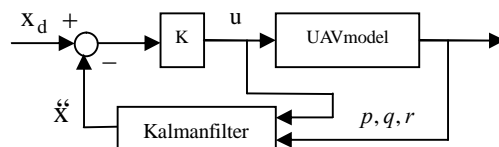
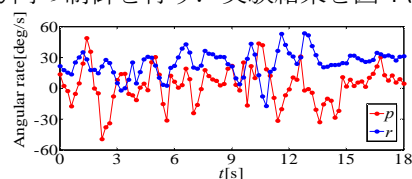


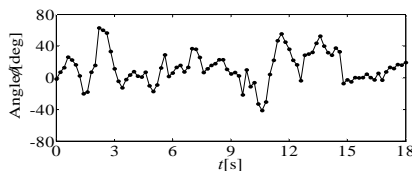
Figure 3. Autonomic flight control system of UAV

4. 実験結果

ここでは, 開発した UAV に最適レギュレータのみを実装し自律飛行制御実験を行う. 前述した運動モデルの縦方向はすべて安定な極を持つので, 不安定極を有する横方向の制御を行う. 実験結果を図 4 に示す.



(a) Time history of p and r



(b) Time history of ϕ

Figure 4. Experimental results

図 4(a)の角速度の時間履歴を見ると, 角速度 p は $0[\text{deg/s}]$ を中心に値が変化しているが, 角速度 r は実験中ほとんど正の値を示している. 実際, UAV の高度はほぼ維持されていたものの右に旋回していた. これは風などの影響により直線飛行が出来なかったものと思われる. 提案した誘導則を実装した実験を行う際には風などの影響を考慮した制御系を設計する必要がある.

5. まとめ

ポテンシャル関数誘導法と最適レギュレータを用いて UAV の飛行制御系を設計した. また, 開発した UAV に最適レギュレータを実装し, 安定した飛行を実現した. 今後は誘導則を実装することで, 障害物回避などの実験を行う.

参考文献

- [1] 片山徹; 「応用カルマンフィルタ」, 2000 年
- [2] Andrew M.Hyslop and J.Sean Humbert ; «Wide-Field Integration Methods for Autonomous Navigation of 3-D Environments», AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, AIAA-2008-7252,
- [3] 藤永仁; 「小型無人航空機の開発および飛行制御系の設計」, 大阪府立大学大学院工学研究科平成 19 年度修士論文