

遺伝的アルゴリズムを用いたダイナミックソアリングの最適軌道設計

Trajectory Design of Dynamic Soaring by Genetic Algorithm (GA)

○高田蓮也<sup>1</sup>, 高橋伸英<sup>1</sup>, 佐々修一<sup>2</sup>, 安部明雄<sup>2</sup>

\*Renya Takada<sup>1</sup>, Nobuhide Takahashi<sup>1</sup>, Shuichi Sasa<sup>2</sup>, Akio Abe<sup>2</sup>

UAVs are attracting much attention for many applications, and the extension of endurance time is required. Dynamic soaring is a method for extending the endurance time by obtaining energy from the wind shear. From the results of recent studies, a trajectory of a circular flight around an observing point can be obtained by minimizing the flight time of the circular orbit. Two years ago, steepest descent method and Sequential Quadratic Programming (SQP) were applied. However, their methods sometimes plunge into a local solution. Therefore, in this research, we propose a new optimization method using Genetic Algorithm (GA) to search for the global optimal solution.

1. はじめに

インフラ点検, 災害時の被害調査などの需要の高まりを受けて, 昨今は無人機(UAV)の活躍する場面が大幅に増えた. そして無人機に求められる性能の1つに長時間飛行できることがあげられる. そこで風速勾配を利用して無推力で飛行するダイナミックソアリングという飛行法が提案されている.

本研究は, 後述する遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて, ダイナミックソアリングにおける最適軌道を設計することを目的としている.

2. 遺伝的アルゴリズム(GA)

遺伝的アルゴリズム(GA)とは生物界の進化に倣った最適化アルゴリズムである. 生成した遺伝子群の中で, 適合度の高い個体が高確率で生き残れるように再生した後, 交叉や突然変異を経て次世代の新しい遺伝子群を生成する. このような遺伝的法則を Figure1 のように終了条件が満たされるまで繰り返し, 最終世代の個体のうち最も適合度が高い個体を最適解とする.

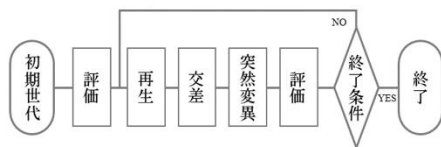


Figure1. The process of GA

3. ダイナミックソアリングに GA を適用

地球固定座標系における Y 軸方向にのみ風が吹いている仮定での運動方程式は式(1)のように表される.

ただし風のモデル  $\dot{W}_y$  は, 式(2)のように定義した. また, 式(1)(2)で用いた変数の定義は Figure2 に準じている.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_a \\ \dot{\gamma} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{D}{m} - g \sin \gamma \\ \left(\frac{g}{V_a}\right) \cos \gamma + \frac{L \cos \sigma}{(mV_a)} \\ -\frac{L \sin \sigma}{(mV_a \cos \gamma)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\dot{W}_y \cos \gamma \sin \psi \\ \frac{\dot{W}_y \sin \gamma \sin \psi}{V_a} \\ -\frac{\dot{W}_y \cos \psi}{V_a \cos \gamma} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\dot{W}_y = B\dot{h} = BV_a \sin \gamma \quad (2)$$

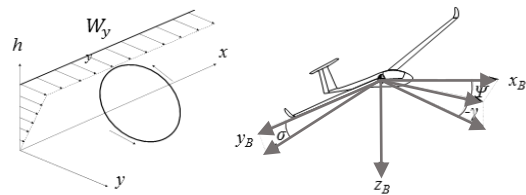


Figure2. Definition of each variable

そして GA を用いて, 式(1)にあるいくつかの変数の最適解を求めることで, ダイナミックソアリングの最適軌道を求める.

ただし, 揚力係数  $C_L$  とバンク角  $\sigma$  は以下の式のようにフーリエ級数を利用して近似する.

$$C_L = a_0 + \sum_{i=1}^n \left( a_i \cos \frac{2\pi}{t_f} it + b_i \sin \frac{2\pi}{t_f} it \right) \quad (3)$$

$$\sigma = c_0 + \sum_{i=1}^n \left( c_i \cos \frac{2\pi}{t_f} it + d_i \sin \frac{2\pi}{t_f} it \right) \quad (4)$$

以上のことから GA で求める変数を, 揚力  $L[N]$ , バンク角  $\sigma[\text{deg}]$ , 機首方位角  $\Psi[\text{deg}]$ , 対気速度  $V_a[m/s]$  の4つであるとした. これらを含む遺伝子群を Figure3 のようなイメージで作成する.

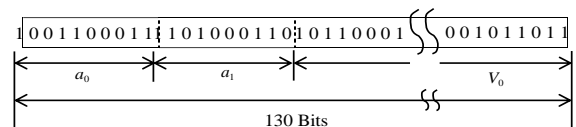


Figure3. The image of genes

4. 研究結果

4.1 フーリエ級数・遺伝子数の軌道への影響

式(3), (4)で示すフーリエ級数は, 次数  $n$  をあげることにより正確な近似を得ることができる.

そこで, 次数  $n=2, 3, 5$  でそれぞれ GA を適用させた結果を下図に示す.

Figure4 は遺伝子数を 3000 に設定した時の軌道を表す. 青線, オレンジ線, 黄色線は, それぞれフーリエ級数の次数が 2, 3, 5 の時の軌道である.

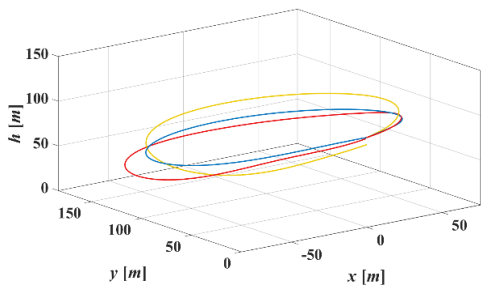


Figure4. Flight trajectory

ダイナミックソアリングの最適軌道としては、初期位置と最終位置に近いほど良好な結果と言えるが、上図に示すように次数を上げた場合に不良な結果が得られた。そこで、次数を上げるとともに、遺伝子数も増やした。

Figure5は遺伝子数を3000と5000に設定した時の軌道を表す。青線、オレンジ線、黄色線は、遺伝子数は3000で、それぞれフーリエ級数の次数が2, 3, 5の時の軌道である。紫線は遺伝子数が5000でフーリエ級数の次数が5の時の軌道である。

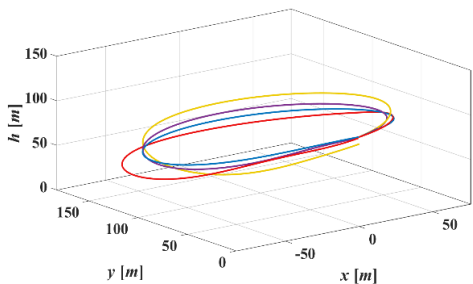


Figure5. Flight trajectory

遺伝子数を3000から5000に増やすと、次数を上げた場合にも良好な結果が得られた。より詳細な結果を得る場合は、遺伝子数を増やせばよいと考えられる。

また Figure6 の点線は線形補間による結果であるが、そこから遺伝子数を増やすと飛行時間が短縮されるという結果が得られた。

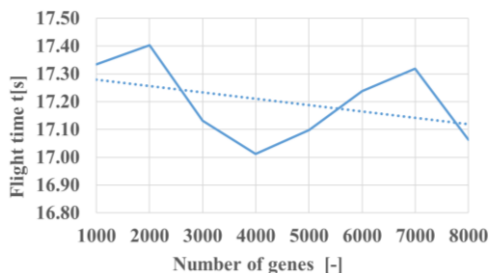


Figure6. Optimal time v.s. number of genes

#### 4.2 突然変異の影響

GAにおける突然変異という手順では、2進数で表される遺伝子のうちの1つが、一定の確率で数字(0か1)を入れ替えられる。

今回、突然変異が起こる確率(p.m.)と飛行時間の関係に着目したところ、Figure7, Figure8で示すように、突然変異確率を下げることによって点線の結果のように概ね飛行時間が短縮される傾向となることがわかった。

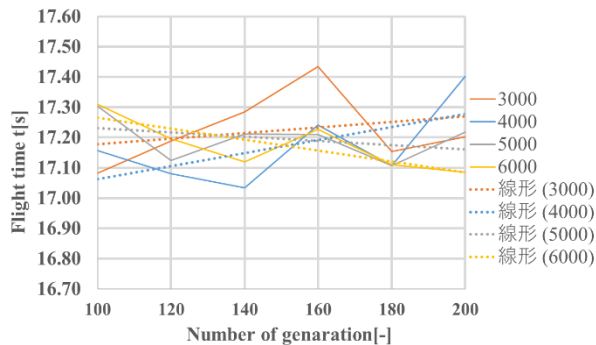


Figure7. Optimal time v.s. number of generation (p.m. = 0.05)

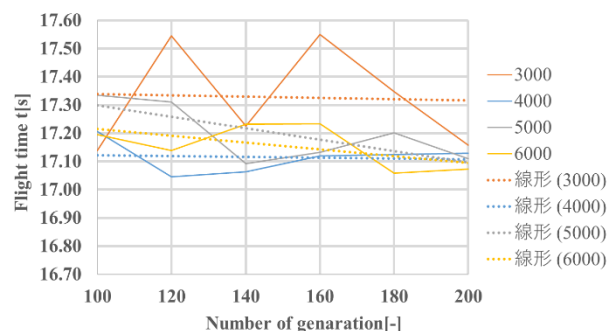


Figure8. Optimal time v.s. number of generation (p.m. = 0.03)

#### 4.3 交叉点のランダム化の影響

GAには、生成した遺伝子群の中で交叉点を設定し、遺伝子配列を入れ替える「交叉」という手順がある。

研究初期では、交叉点を1点で固定していた。そこで2点の交叉点がランダムに選ばれるようプログラムを修正した。この結果、以下の表のように飛行時間を短縮することができた。

Table1. Optimal flight time by change of crossover method

	First	Second	Third	Ave.	SD
One point fixed crossover [s]	17.5	17.8	17.3	17.5	0.25
Two points random crossover[s]	17.4	17.2	17.1	17.2	0.15

#### 5. 結論

- GAにおいて、近似式の級数を上げて詳細な結果を得るときは、遺伝子数も上げる必要がある。
- 遺伝子数を増やすと飛行時間の短縮ができる。
- 突然変異確率を下げると飛行時間の短縮ができる。
- ランダム交叉により飛行時間が短縮できる。

#### 参考文献

[1] 坂本正敏, 田中雅博: 朝倉書店: 「遺伝的アルゴリズム」, pp. 13-31, 1995.