HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	仮想環境内における飛行生物の行動に関する研究
Author(s)	大江, 亮介; 鈴木, 育男; 山本, 雅人 他
Citation	精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2010, 337-338
Issue Date	2010-03-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51210
Type	journal article
File Information	D79_337338.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

仮想環境内における飛行生物の行動に関する研究

北大　○大江 亮介，　北大　鈴木 育男，　北大　山本 雅人，　北大　古川 正志

Research on the Behavior of Flying Creatures in Virtual Environment

Hokkaido Univ. Ryosuke OOE,　Hokkaido Univ. Ikuo SUZUKI,　Hokkaido Univ. Masahito YAMAMOTO,
Hokkaido Univ. Masashi FURUKAWA

There are many flying creatures like the bird and a part of the insects which have wings in the world. They take the complex motions such as the circling over the upper air with no wing motion and the hovering over the flower by moving wings very quickly. The purpose of our research is to analyze these complex motions on the flying creatures through the computer simulation. We use the virtual environment to simulate the motion of creatures. It consists of the physical engine library, which processes the motion and collision of rigid bodies, and the drag force expressing the force from a fluid. The creatures receive the sensor signals from the environment and determine the output forces to move their bodies according to the signals. We use the artificial neural network (ANN) as the controller converting the input into the output. Changing the weights of ANN using the real coded genetic algorithm, we evolve the creatures to acquire the complex behavior.

1.　はじめに

自然界で一般的に見られる羽ばたき飛行は，ジェット機やヘリコプター等の人工物とは異なる特性を持つ飛行方法である．羽ばたきのメカニズムは，小型飛行ロボット等や，アニメーション等における動作の自動生成等に利用され始めている．

安斎ら[1]は，蝶の CG を自動生成するために準定常的な空気力を用いた飛翔モデルを用い，実際の蝶で見られる飛翔動作をリアルタイムで表現している．これに対して，複雑な流体変化を計算する非定常的な研究として，飯間[2]は離散渦法を用いた羽ばたきの解析を行い，羽から剥離した渦の影響で単純な羽ばたきから上昇力が生み出されることを示している．

上記のような多くの研究では，人間が設定した羽ばたき動作の解析を行っており，主に直進飛行に関する知見しか得られない．しかし，様々な応用においては，例えば方向転換時や空中での姿勢維持等の際に，どのように羽を動かすべきかといった情報が重要となる．そこで本研究では，直進飛行以外を含む様々な飛行の際の羽ばたきの生成と，その解析を目的とする．

本論文では，剛体物理計算のためのソフトウェアである物理エンジンと，準定常的な空気力を表現するための抗力計算を組み合わせた，仮想的な物理環境で羽ばたき現象の解析を行う．また，飛行生物の制御に人工ニューラルネットワーク（Artificial Neural Network : ANN）を用い，その重みを実数値遺伝的アルゴリズム（Real Coded Genetic Algorithm : RCGA）によって変化させることで，様々な飛行行動を生成する．

2.　仮想物理環境

2.1　物理エンジン

仮想物理環境では，各時間ステップごとに，物理エンジンを用いて物体の運動を計算し，そのときの速度に応じた抗力を物体に加えることで，流体の影響を考慮したシミュレーションを行う．本研究では，物理エンジンとして PhysX[3]を利用した．PhysX のタイムステップは 1/60.0[s]，計算精度は 1/240.0[s]，重力加速度 g は 9.8[m/s^2]とした．

2.2　抗力計算

準定常的手法では，あらかじめ解析的に求められている空気力を物体に加える．しかし本研究では，実際の昆虫以外の様々な形状を扱うために，以下のような抗力を空気力として用いた．なお，一般に，流体の流れと平行な方向に発生する力を抗力，垂直な方向に発生する力を揚力と呼ぶが，本研究ではこれら抗力と揚力を合わせた合力を単に抗力と呼ぶ．

一様流に対して垂直に置かれた平板は，流れの方向に，式(1)で表

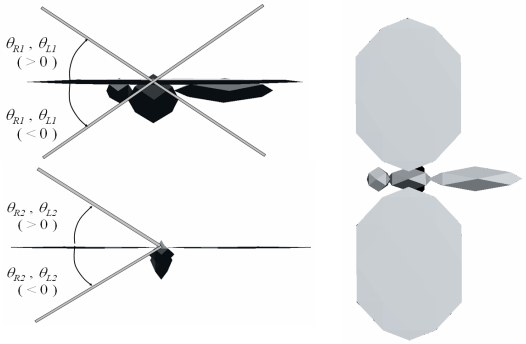

Fig. 1　Model of the flying creature

される抗力を受ける．

$$F = \frac{1}{2}\rho A C_d u^2 \qquad (1)$$

ここで，ρ は流体の密度，A は平板の面積，u は流速である．また，C_d は抗力係数であり，本来は物体の形状や寸法によって異なる値だが，本研究では全ての計算で $C_d = 1.1$ を用いた．

PhysX では，多面体の形状は三角形のポリゴンで構成される．そこで，式(1)を拡張した式(2)を，多面体を構成する全ての三角形ポリゴンに対して計算することで，空気力を表現する．

$$F = \frac{1}{2}\rho A_p C_d \boldsymbol{v}^2 \qquad (2)$$

ここで，A_p は三角形ポリゴンの面積である．また，$\boldsymbol{v}$ は三角形ポリゴンと垂直な速度ベクトルである．

3.　飛行生物のモデル

図 1 に，本研究で用いる飛行生物のモデルを示す．頭部と胴体，胴体と尾の間は，それぞれほんのわずかな弾性を持つジョイントで接続されている．また，胴体と左右の羽の間は，羽の羽ばたき（フラッピング）と捻り（フェザリング）運動が可能な可動ジョイントで接続されている．右と左の羽のフラッピング角度 θ_{R1}，θ_{L1}，右と左の羽のフェザリング角度 θ_{R2}，θ_{L2} は，それぞれ式(3)，式(4)の制限範囲で動く．

$$-\pi/2 \le \theta_{R1} \le \pi/2 \ , \ -\pi/2 \le \theta_{L1} \le \pi/2 \qquad (3)$$

$$-\pi/4 \le \theta_{R2} \le \pi/4 \ , \ -\pi/4 \le \theta_{L2} \le \pi/4 \qquad (4)$$

飛行生物を構成する全ての剛体の密度は，バルサ材と同程度の 100.0[kg/m^3]の密度を持つが，変形や破損はしない．羽を水平に広げたときの横幅は 2.4[m]であり，実際の昆虫や鳥のサイズよりもやや大きい．サイズが小さい場合には PhysX のジョイントの挙動が不安

定となりやすいため，今回の実験ではこのようなサイズのモデルを用いた．

4. 飛行制御実験

4.1 実験の概要

飛行生物に飛行行動を獲得させるために，飛行生物の状態を入力信号，θ_{R1}，θ_{L1}，θ_{R2}，θ_{L2} の目標値を決定する値を出力とする ANN を制御器として用いる．目標地点まで飛行させるための目的関数を与え，RCGA を用いて目的関数を最大化するように ANN の重みを学習させる．

4.2 実験のパラメータ設定

空気の密度 ρ は，$\rho = 1.28[kg/m^3]$を用い，一様流に相当する風の影響はないとした．また，1 個体の最大シミュレーション時間を 20.0[s]，飛行生物の初期位置を高さ 20[m]地点である(0, 20, 0)，目的位置を(40, 40, 40)とした．

4.3 ANN の構成

入力信号は，頭部から目標地点までの垂直方向と水平方向の角度，目標地点までの距離，現在の θ_{R1} と θ_{L1}，θ_{R1} と θ_{L1} の変化量，胴体の垂直方向と水平方向の角度の，合計 9 入力である．中間層のニューロン数は 20 個とした．また，出力は 9 出力とし，θ_{R1}，θ_{L1}，θ_{R2}，θ_{L2} の目標値は以下の式(5)~(8)で決定した．

$$\theta_{R1} = \frac{4}{9}\pi o_1 \sin\{H(t) - o_2\} \quad (5)$$

$$\theta_{L1} = \frac{4}{9}\pi o_3 \sin\{H(t) - o_4\} \quad (6)$$

$$\theta_{R2} = \frac{2}{9}\pi o_5 \sin\{H(t) - o_6\} \quad (7)$$

$$\theta_{L2} = \frac{2}{9}\pi o_7 \sin\{H(t) - o_8\} \quad (8)$$

ただし，o_i（i = 0, 1, 2, …, 8）は ANN の出力であり，タイムステップ t の関数である $H(t)$は式(9)で計算した．

$$H(t) = \sum_{t=0}^{T} o_0 \quad (9)$$

ここで，T は現在のタイムステップである．

4.4 RCGA の設定

集団数は 40，選択手法としてエリート保存とトーナメント選択，交差手法としてブレンド交差（BLX-α），突然変異として確率 0.01 で乱数を加える方法を用いた．解ベクトルは ANN の重み係数と閾値，シグモイド関数のパラメータとした．

評価値を計算するための目的関数 F を式(10)で与え，最大化を目的とした．

$$F = \sum_{t=0}^{1800}\left\{\frac{900}{1+d(t)^2} + \mathrm{sgn}(g(t))g(t)^2\right\} \quad (10)$$

ここで，$d(t)$はタイムステップ t における頭部と目標位置の距離，$g(t)$は頭部の前向き単位ベクトルと目標位置向きの単位ベクトルの内積，sgn( )は符号関数，1800 はシミュレーションの最大タイムステップであり，20.0[s]に相当する．ただし，飛行生物の頭部の高さが 10[m]以下となった場合は，その個体のシミュレーションを終了し，終了時点までの評価値を用いた．

5. 獲得された飛行行動

図 2 に，RCGA の世代数ごとの評価値の推移を示す．800 世代前後までは 10000 以下の低い評価値であるが，その後急激に増加し，徐々に目標地点に近づく行動が獲得された．なお，最小値は 1200 世代前後でやや高い値となっている以外はほぼ 0 付近で推移しており，グラフ上ではほとんど視認できない．

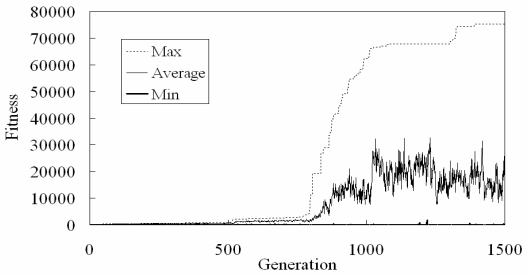

Fig. 2 Fitness of each generation

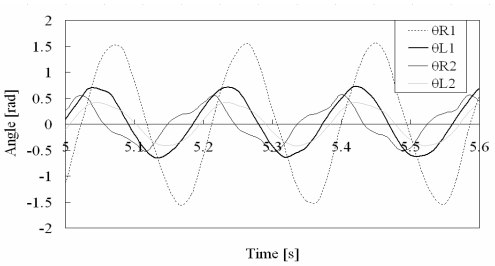

Fig. 3 Flapping and feathering angles for the best creature

図 3 に，最良個体の θ_{R1}，θ_{L1}，θ_{R2}，θ_{L2} の履歴の一部を示す．最良個体の羽ばたきは，ほぼ一定の周期ではあるが，左右異なる角度・位相差で推移している．しかし，フラッピング角度に関しては，胴体が回転してしまっているためにこのような羽ばたきとなっており，地面と水平な平面を基準としたフラッピング角度は左右でほぼ同じであった．これは，θ の目標値に向かって羽を動かすための力に制限を設けなかったために起こった現象と考えられ，今後改善すべき点である．

最良個体の羽ばたきは，図 3 に示したのとほぼ同じ波を繰り返し，左旋回を繰り返すだけだった．旋回の半径や，上昇・下降のパターンには変化があったが，θ の波の変化はごく微小であり，羽ばたきによる飛行動作の変化までは解析できなかった．

5. おわりに

本論文では，様々な飛行行動を生成し，羽ばたきと飛行パターンの関係を解析することを目的としてシミュレーションを行った．ANN と RCGA を用いて飛行行動を獲得させた結果，左旋回飛行が出現し，左右のフラッピング・フェザリング角度の位相がずれていることが観察できた．

今回得られた実験結果では，θ_{R1}，θ_{L1}，θ_{R2}，θ_{L2} の目標値を決定する際に sin 関数を用いたため，容易に飛行が可能となり，結果的に ANN の出力はほぼ一定値しか出力されなかった．また，羽ばたきに用いる力を制限しなかったため，胴体が回転するような不自然な動作が出現した．今後はこのような問題点を解決するとともに，空中でのホバリング等の飛行動作を生成する予定である．

参 考 文 献

(1) 安斎祐一, 村岡一信, 千葉則茂, 齊藤伸自 : 翅のはばたきによる力を考慮した蝶の飛翔モデル, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.3 (2000) 658-667

(2) 飯間信 : 昆虫飛翔と渦―翅相互作用, ながれ 21 (2002) 153-160

(3) PhysX : http://www.nvidia.com