

Animated Robot の研究-飛翔行動の獲得-

北海道大学大学院情報科学研究科 森長 誠, 鈴木 育男, 山本 雅人, 古川 正志

A Study on Animated Robot -Acquisition of the flying behavior-

Makoto MORINAGA, Ikuo SUZUKI, Masahito YAMAMOTO, Masashi FURUKAWA, Hokkaido University

This study aims at an acquisition of flying behaviors of an artificial object under the virtual air environment that models drag and buoyancy. The simple shape object model is modelled as various types of the wing, and controlled to acquire behaviors of the wing by a neural network. Simulation by these object models is carried out to obtain proper behaviors by genetic algorithm. A simulation results verify by that the object model can behave flying under virtual air environment.

1. はじめに

現在, 仮想生物, 物体の挙動に関するシミュレーションは多種多様な手法を用いて行われている。例えば, 生物の行動原理による振る舞いの学習¹⁾, 群れの行動²⁾, 進化³⁾のシミュレーションなどが研究されている。しかしながら, これらの研究では, 計算リソースの問題や簡略化のため厳密な物理法則に基づいているとは言えず, 仮想生物や物体が移動する際に発生する抗力や揚力などは省略して計算される場合が多い。

一方, 現実において空気から作用する力の影響は大きい。例えば, 空から降る雨の落下速度が終端速度で一定になることや砂漠の地形が風によって変化することなどがある。これらのように空気が地球環境と密接しているのは明らかである。したがって, 簡易的にでも空気から作用する力をモデル化すれば, 仮想生物, 物体は強く影響を受け, 挙動が変化する。例えば, 仮想的な鳥が空中を飛ぶ様子も空気環境との相互作用をより忠実にモデル化できれば, よりリアルに動く仮想的な鳥のシミュレーションを行うことができると考えられる。

そこで, 本研究では, 浮力, 抗力をモデル化した仮想空気環境上で物体モデルの飛翔行動獲得を目的とする。物体モデルには, 異なるタイプの羽と行動制約を与え, 簡単な形状で作成したモデルを用いる。このモデルを, 仮想空気環境内で, 人工ニューラルネットワーク (ANN) で制御し, 遺伝的アルゴリズム (GA) を用いたシミュレーションにより, その挙動を獲得する。これらの結果から, 仮想空気環境上で物体モデルが飛翔行動を獲得できたことを検証した。

2. 仮想空気環境の構築

本研究では, 空気の浮力と抗力をモデル化し, 揚力のモデル化は行わない。速度が高速のとき生じる力であり, 本モデルで想定する力の範囲では, 無視できる。

また, 本研究では, AGEIA 社の物理演算ライブラリ PhysX を利用して, 重力や物体間の衝突判定を計算する。この時, 仮想空気空間内は右手座標系で, xz 平面が地面となり, 正の y 軸方向が鉛直方向上向きとして設定される。

2.1 浮力

静止流体中では, 物体は鉛直方向上向きの力 F を受ける。この力 F は浮力であり, 流体の密度と物体の体積に比例する。静止流体中の物体に作用する浮力の大きさは, その物体が排除した流体の重量に等しいアルキメデスの原理により, 式 (1) で定式化される。ここでは, ρ は流体の密度, g は重力加速度,

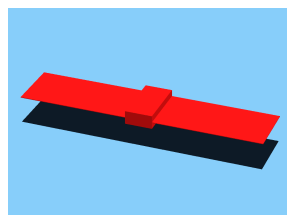


Fig. 1 Two wings model

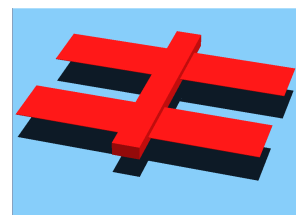


Fig. 2 Four wings model

また V は物体の体積を表す。

$$F = \rho g V \quad (1)$$

2.2 抗力

通常, 空気, 水, 油などの現実の流体には粘性がある。したがって, 物体と流体の間で相対的な運動がある場合, 物体は流体から力を受け, 流体の流れの方向, 又は物体の進行方向の平行な成分 D (抗力) と垂直な成分 L (揚力) に力は分解される。抗力, 揚力は簡単な形状の物体 (球, 直方体など) でも解析的に値を計算するのが難しい。一般的に, 抗力は式 (2) で表される。ここでは, C_d は抗力係数, ρ は流体の密度, U は物体と流体の相対速度, また S は投影面積を表す。

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho U^2 S \quad (2)$$

2.3 浮力, 抗力のモデル化

浮力の大きさはアルキメデスの原理で定式化された式 (1) を用いて, 計算する。浮力の作用する向きは鉛直方向上向きに, 作用点は物体の重心に設定する。

抗力の大きさは式 (2) を用いて計算する。本来, 抗力係数 C_d は物体の形状, 流速方向に対する面などにより可変であるが, ここでは, モデル化を簡略化するために直方体の抗力係数を $C_d = 2.0$, 球の抗力係数を $C_d = 0.47$ と固定する。

3. シミュレーション実験-制御モデル-

3.1 2枚羽モデルと4枚羽モデル

本実験では, 2枚羽, 4枚羽の2つのモデルを作成する。第1のモデルは2枚の剛性直方体の羽と1つの胴体で構成された2枚羽モデル (図1), 第2のモデルは4枚の剛性直方体の羽と1つの胴体で構成された4枚羽モデル (図2) である。

3.2 実験条件

2枚羽, 4枚羽モデルともに羽の制御方法を人為的に指定した。2つのモデルにおいて胴体部分の x 及び z 軸における回転をしないように制限した場合, 制限していない場合を用い

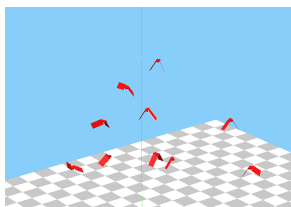


Fig. 3 Condition (1)

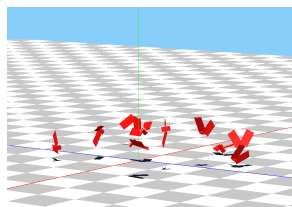


Fig. 4 Condition (2)

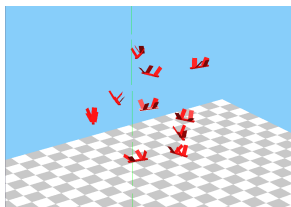


Fig. 5 Condition (3)

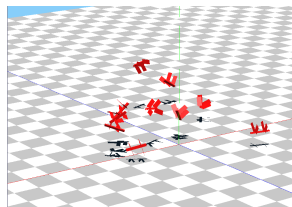


Fig. 6 Condition (4)

る．従って，条件（１）胴体回転を制限した２枚羽モデル，条件（２）胴体回転を自由にした２枚羽モデル，条件（３）胴体回転を制限した４枚羽モデル，条件（４）胴体回転を自由にした４枚羽モデル，の４つの条件でシミュレーションを行い，仮想空気環境下で飛翔行動を獲得可能であるかを観察する．羽の制御方法は，羽を振り上げ時に初期状態（図 1）から胴体から羽に向かう軸を中心に羽を 90° 回転してから振り上げ，振り下げ時には，羽を初期状態の向きに戻るよう回転してから，振り下げる．この制御により，振り上げ時と振り下げ時に発生する抗力の差が最大になると考えられる．

3.3 実験結果・考察

シミュレーション後，条件（１）と（３）では物体モデルは生成位置より高い位置に移動した（図 3, 図 5）．しかし，条件（２）と（４）ではバランスを崩し，回転しながら落下した（図 4, 図 6）．

実験結果より，条件（１）と（３）では羽を振り下ろした瞬間に上昇していることから，仮想空気環境中の抗力を利用して，上昇していることが分かった． x 及び z 軸における回転を制限しているので，羽を振り上げ時と振り下げ時の y 軸方向の抗力の差が重力に打ち勝ち，飛翔行動を獲得可能である．条件（２）と（４）では，回転を制限していないので，羽ばたきにより発生した抗力の左右，または，前後の差によりモデル自身がバランスを崩し，落下する．人為的に羽ばたきを制御すると周辺状況の変化についていくことができず，飛翔することは困難である．また，２枚羽モデルでは前後のバランスを維持することは不可能である．そこで，４枚羽モデルで ANN 等を用いて，状況変化に対応が可能にする必要がある．

4. シミュレーション実験-学習・進化モデル-

4.1 4枚羽モデル

この実験では，物体モデル自身のバランスを制御させるために，４枚羽モデルのみ（図 2）を用いる．４枚羽モデルは羽の回転，羽ばたきの加速度を ANN を用いて制御する．ANN は 3 層からなり，入力値は，胴体部分の法線ベクトルと速度ベクトル，羽毎の胴体から羽の先端方向へ向かう単位ベクトルと羽の 1 ステップ前の羽ばたきの加速度ベクトル，出力値は回転と羽ばたきの加速度ベクトルとした．

4.2 実験条件

実験条件として，４枚羽モデルを同時に 10 体生成する．10 個体は各自 ANN で自身を制御し，ステップ毎の y 座標値の

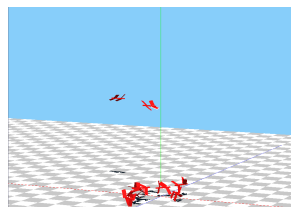


Fig. 7 Condition (5)

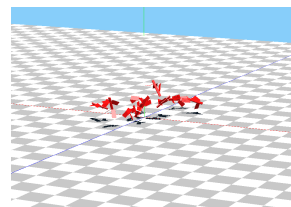


Fig. 8 Condition (6)

累積と胴体の向きを評価値にする．10 個体の評価終了後，GA を用いて次の世代 10 個体を生成する．これらの処理を繰り返した後，４枚羽モデルの挙動を観察する．また，５章と同様に４枚羽モデルにおいて胴体部分の x, z 軸における回転をしないように制限した場合と制限していない場合を用いて，条件（５）胴体回転を制限した４枚羽モデル，条件（６）胴体回転を自由にした４枚羽モデル，この２つの条件でシミュレーションを行う．

4.3 実験結果・考察

シミュレーション後，条件（５）では，４枚羽モデルは生成位置より高い位置に移動した個体が現れた（図 7）．しかし，条件（６）ではバランスをあまり崩さず，落下した（図 8）．

実験結果より，条件（５）では ANN で４枚羽モデル自身を制御することにより，飛翔行動が獲得可能である．回転を制限しているので，結果として５章と同様に振り上げ時と振り下げ時に発生する抗力の差が大きければよい結果になる．条件（６）では，前後左右の羽を胴体部分の傾きにより制御し，バランスを保つことが可能となった．しかし，その制御を行うために振り上げ時と振り下げ時に十分な抗力の差が発生せず，上昇が不可能になった．この改善には，十分な大きな抗力差を発生させるための大きな羽を取り付けることなどが考えられる．

5. 終わりに

本研究では，空気の浮力，抗力をモデル化した仮想空気環境上で物体モデルの挙動をシミュレートし，これらの結果，物体モデルが特定の条件下で飛翔行動を獲得可能であることを検証した．今後は，バランスを保つように制御しながら飛翔可能なモデル，空中でのホバリングや移動可能なモデルや，また揚力を適用し飛行機のようなモデルの構築に取り組む予定である．

参考文献

- 1) Demetri Terzopoulos, Xiaoyuan Tu, Radek Grzeszczuk: "Artificial fishes", *Artificial Life*, vol.1-4, pp.327-351, 1994.
- 2) Craig W. Reynolds: "Flocks, herds, schools: A distributed behavioral model", *SIGGRAPH'87: Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.25-34, 1987.
- 3) Karl Sims: "Evolving virtual creatures", In *SIGGRAPH'94: Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.15-22, 1994.
- 4) Keisuke Yoneda, Kenji Iwadate, Ikuo Suzuki, Masahito Yamamoto, Masashi Furukawa: "Development of Modeling Tools for Animated Robot", *The 4th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines*, 2008
- 5) Keita Nakamura, Makoto Morinaga, Kenji Iwadate, Keisuke Yoneda, Ikuo Suzuki, Masahito Yamamoto, Masashi Furukawa: "Studies on Modeling Environment for Physics Modeling", *The 4th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines*, 2008