



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Animated Robotの研究 : 安定飛翔行動の獲得
Author(s)	森長, 誠; Morinaga, Makoto; 鈴木, 育男 他
Citation	精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2009, 555-556
Issue Date	2009-02-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51199
Type	journal article
File Information	H16_555556.pdf



Animated Robot の研究 -安定飛翔行動の獲得-

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 stable flying behavior-

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

This study aims at an acquisition of the stable flying under the virtual air environment that models the drag and the buoyancy. The designed model is inspired by existing creatures with several wings, and controlled by the artificial neural network. Simulations by these models are carried out to evolve the proper behaviors by genetic algorithm. Simulation results verify that these models can fly stably by using wingstroke and gliding under the virtual air environment.

1. 始めに

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, 現実において空気の抵抗の影響力は強い. 例えば, 空気の抵抗が存在することで, 鳥や飛行機は飛翔可能であり, また, 物体の慣性力は減衰されることが挙げられる. つまり, 空気の抵抗が地球環境と密接に関わっていることは明らかである. したがって, 簡易的ながらも空気による力を仮想環境内に導入することで, 仮想生物, 物体の挙動は大きな影響を受けることになる.

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を作成し, 安定した飛翔行動の獲得を目的とする. 物体モデルには, 2枚の翼と行動制約を与え, 簡単な形状で作成した物体モデルを用いる. この物体モデルを, 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, 安定した飛翔行動を獲得する. これらの結果から, 仮想空気環境上で物体モデルが安定飛翔行動を獲得できることを検証した.

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する. 揚力は, 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, モデル化しない.

また, 本研究では, NVIDIA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,

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-羽ばたき制御-

3.1 2枚翼モデル

本実験では物体モデルとして2枚の剛性直方体の翼と1つの胴体で構成された2枚翼モデル(図1)を作成する.

また, 2枚翼モデルにおける翼の制御方法を人為的に指定する. 制御方法としては, 羽ばたきの周期を左右で同期させ, 翼の振り下げ時に素早く振り下げ, 振り上げ時にゆっくり振り上げる. この制御方法により, 振り下げ時と振り上げ時に発生する抗力の差を産み出す.

3.2 実験条件

実験条件として, 2枚翼モデルの胴体部分のx及びz軸における回転を制限した場合, 制限していない場合を用いる. 従って, 条件(1)胴体回転を制限した2枚翼モデル, 条件(2)胴体回転を自由にした2枚翼モデル, の2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.

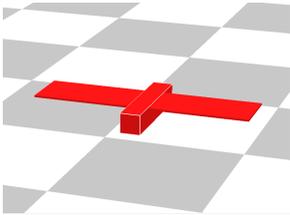


Fig. 1 Two Wings Model

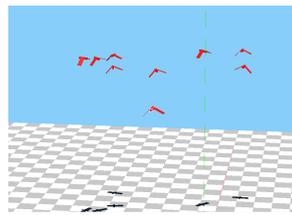


Fig. 2 Condition (1)

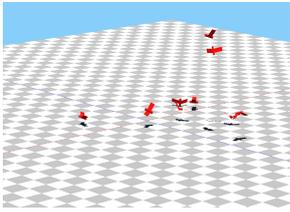


Fig. 3 Condition(2)

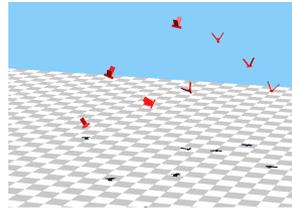


Fig. 4 200th generation

3.3 実験結果・考察

シミュレーション後、条件(1)では、2枚翼モデルは生成位置より高い位置に移動した。(図2)。条件(2)では、2枚翼モデルは、上昇を開始するが、空気の抗力の外乱によりバランスを崩し、落下した。(図3)。実験結果より、条件(1)では、仮想空気環境中で振り上げ時と振り下げ時の抗力の差を利用して、上昇していることが確認できた。回転を制限しているので、y軸方向の抗力差が重力より大きくなり、上昇可能となる。また、条件(2)では、回転を制限していないので、羽ばたきで発生した抗力の左右の差により2枚翼モデルがバランスを崩し、落下する。安定した飛翔を行なうためには、ANN等を用いて、2枚翼モデル自体の状況変化に対応可能にする必要がある。

4. シミュレーション実験-バランス制御-

4.1 2枚翼モデル

この実験では、2枚翼モデル自身にバランスの制御をさせる。2枚翼モデルは左右の翼の羽ばたきの加速度をANNを用いて制御することで、バランスを飛翔に適した状態に維持する。ANNはニューラルの個数が2-2-2の3層からなり、入力値は、初期状態における胴体から左右の翼へ向う単位ベクトルと鉛直方向下向きの単位ベクトルの内積とすることで、胴体部分の地面に対する傾きを入力する。また、出力値は左右の翼の羽ばたきの加速度の強さとする。

4.2 実験条件

GAを用いて、ANNの結合荷重を変化させ、2枚翼モデルを最適化する。GAは、個体数を10、親選択を優先度選択とエリート選択、交叉を一点交叉、突然変異率を0.05、評価値をステップ毎の2枚翼モデルの胴体の傾きとy座標値の累積とする。最適化後、2枚翼モデルの挙動を観察する。

4.3 実験結果・考察

シミュレーション後、2枚翼モデルは羽ばたきながら、上昇した(図4)。実験結果より、ANNで2枚翼モデル自身を制御することで、バランスを維持し、安定した飛翔行動が獲得可能である。胴体が傾くと、傾いた方向の羽ばたきを逆側の羽ばたきより強くすることで、胴体の傾きを修正する。この制御により、胴体は地面に対して平行を保つことができ、上昇に必要な抗力差を常にy軸方向へ発生させている。

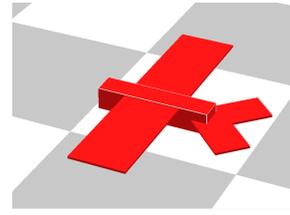


Fig. 5 Two Wings Model

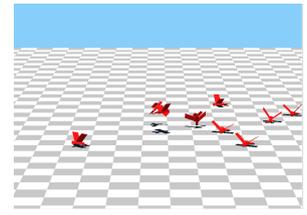


Fig. 6 400th generation

5. シミュレーション実験-移動方向制御-

5.1 2枚翼モデル

この実験では、2枚翼モデルに尾を新たに追加し、翼と尾をANNで制御し、バランスと飛翔方向の制御をする(図5)。また、2枚翼モデルの重心位置は、前方へ移動させる。ANNはニューラルの個数が3-3-3の3層からなり、入力値は、初期状態における胴体から左右の翼へ向う単位ベクトルと鉛直方向下向きの単位ベクトルの内積と尾の回転角度、出力値は左右の翼の羽ばたきの加速度の強さと尾の回転角度とする。

5.2 実験条件

GAを用いて、ANNの結合荷重を変化させ、2枚翼モデルを最適化する。GAは、個体数を10、親選択を優先度選択とエリート選択、交叉を一点交叉、突然変異率を0.05、評価値を目的地を設定し目的地から個体までの距離とステップ毎の2枚翼モデルの胴体の傾きとする。最適化後、2枚翼モデルの挙動を観察する。

5.3 実験結果・考察

シミュレーション後、2枚翼モデルは、回転しながら、落下した。(図6)。実験結果より、落下原因は尾の追加で方向制御は可能になったが、その分、バランス制御が困難になったことが原因と考えられる。例えば、尾が一定方向の角度に常に傾くと胴体のバランスも傾くので、そのバランスを戻そうとし、羽ばたきの強さが一定の方向だけ弱くなることなどが考えられる。この問題の解消方法として、物体モデルの上方向へ向う抗力差を生み出すのではなく、前方向へ向う抗力差を生み出すように物体モデルを構築することや尾の回転角度を小さくし尾の影響を弱くすることなどの方法が考えられる。

6. 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飛翔物体モデルの挙動をシミュレートし、これらの結果、飛翔物体モデルが安定した飛翔行動を獲得可能であることを検証した。今後は、空中でのホバリングや特定の位置へ移動可能なモデルや、Boidの行動ルールを組み込んだ群れ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 Iwadata, 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) 森長 誠, 鈴木 育男, 山本 雅人, 古川 正志: "Animated robot の研究-飛翔行動の獲得-". 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会, pp.883-884, 2008.