

## 風影響下におけるトンボモデルの飛翔学習

北海道大学大学院情報科学研究科 ○徐 拓, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志

## 要 旨

近年の映画やゲームには多くの CG がアニメーションとして採用されている。しかしながら、これらの多くは、その動作をフレーム補間やフレームの分割数によって実施しており、莫大な時間を製作に要している、これらを物理仮想空間内で自律的に挙動生成できれば、より自然なアニメーションを作成可能である。本研究では、トンボモデルを物理仮想空間内にモデル化し、その環境として空気抵抗を用いることにより、より簡単で現実感のある 3D アニメーションの獲得を目的とする。この目的を実現するために、空気抵抗の計算に物理エンジン、トンボの飛行行動獲得には人工ニューラルネットワーク (ANN) 及び遺伝的アルゴリズム (GA) を採用する方法を提案する。また、数値シミュレーション実験により、容易に現実感のある 3D アニメーションを獲得したことを報告する。

## 1. はじめに

近年の映画やゲームには多くの CG がアニメーションとして採用されている。しかしながら、これらの多くは、その動作をフレーム補間やフレームの分割数によって実施しており、莫大な時間を製作に要している、これらを物理仮想空間内で自律的に挙動生成できれば、より自然なアニメーションを作成可能である。

本研究では、トンボモデルを物理仮想空間内にモデル化し、その環境として空気抵抗を用いることにより、より簡単で現実感のある 3D アニメーションの獲得を目的とする。この目的を実現するために、空気抵抗の計算に物理エンジン、トンボの飛行行動獲得には人工ニューラルネットワーク (ANN) 及び遺伝的アルゴリズム (GA) を採用する方法を提案する。また、数値シミュレーション実験により、容易に現実感のある 3D アニメーションを獲得したことを報告する。

## 2. 物理エンジンによる空気環境

## 2.1. 物理エンジン

本研究では現実に近いモデルの振る舞いを獲得するために、物理エンジン PhysX で衝突や回転の計算を行い、物理環境を構築した。今回の実験では重力を  $9.8 \text{ [N/kg]}$ 、摩擦係数を  $0.5$ 、跳ね返り係数  $0.01$  で物理環境を作成した。

## 2.2. 空気環境

紙飛行機の振る舞いを獲得するために、PhysX を利用して、下式に基づいた力を物体に加えることで、空気抵抗を構築した。

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 S \quad (1)$$

ここでは  $C_D$  を抗力係数、 $\rho$  を流体密度  $[\text{kg/m}^3]$ 、 $V$  を物体と流体の相対速度  $[\text{m/s}]$ 、 $S$  を物体の表面積  $[\text{m}^2]$  (各面への投影面積)、 $D$   $[\text{N}]$  を発生する抗力とした。力の作用点の選択方法は二つある。一つは、不安定性を表現するために、物体の各面にランダムに 100 点選択するランダム空気抵抗である。もう一つは再現性を保証するために、各面に平均間隔で 100 点を選択する均一空気抵抗である。また、今回の空気環境では、浮力と揚力を考慮しない。

## 2.3. コンピュータ環境

今回の実験では CPU は Intel(R)T9300 2.5GHz(2 CPUs)、メモリは 667GHz 2GB×2 ビデオカード GeForce 8600M GT のコンピュータを利用した。

## 3. トンボ

## 3.1. モデル

本研究では、図 1 で示す直方体と球を組み合わせたトンボを

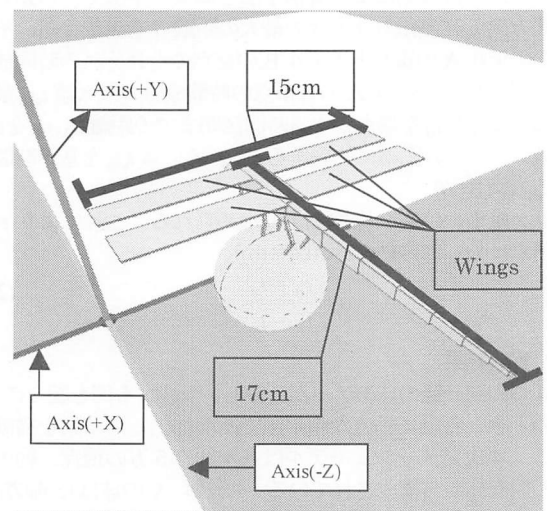


Fig. 1 Dragonfly model

モデル化した。モデル本体の密度は  $120 \text{ [kg/m}^3]$  とした。現在の PhysX では本物のトンボのサイズの物体に本研究で実装した空気環境をかけると、数字爆発を起こるため、今回のモデルは普通のトンボの 10 倍のサイズを採用し、横幅 (X 軸) は 15cm、縦幅 (Z 軸) 最大長 17cm とした。トンボモデルの尻尾の部分完全に固定化し、アクチュエータとする部分は四枚の翅だけである。

## 3.2. 人工ニューラルネットワーク (ANN)

トンボの飛翔制御には ANN を使用した。

ANN は 3 層のフィードフォワードネットワークを採用した。ANN は、入力層 9 ノード、中間層 24 ノード、出力層を 6 ノードと 12 ノードの 2 種類を使用した。9 入力にはトンボの対地面角度 (4 つ)、高度 (1 つ)、羽ばたき方向 (4 つ) である。トンボの対地面角度はトンボの上向き垂直方向ベクトルと Y 軸正方向ベクトルの成す角とする。この角度の xy 平面および xz 平面の投影のそれぞれ正弦、余弦の値を入力として利用した。12 出力は 4 枚の羽のそれぞれの羽ばたきの周波数と幅と翅のひねり (図 1 の中の X 軸を回転軸とする翅の回転角度) である。6 出力はトンボの前部の 2 枚翅と後部の 2 枚の翅のそれぞれ同じ羽ばたきの周波数と幅と翅のひねりをとることである。

## 4. 数値シミュレーション実験

## 4.1 実験条件

本実験の目的はトンボを目標高度を維持しながら飛行させることである。トンボを制御する ANN の最適化に GA を適用す

る。

GA は以下のように設定する。個体数を 50, 進化戦略をエリート選択, 交叉方法を一点交叉, 交叉率を 90%, 突然変異を 5% とした。評価値は個体から目標高度までの累積距離、体勢角度とした。トンボの初期高度は 10[m] であり, 目標高度は 10[m] に設置した。

#### 4.2 実験方法

式(2)に基づきモデルと目標高度までの距離の 2 乗の逆数と体勢角度式の内積の和を最大化し, ANN を定める。

$$value = \sum_{i=1}^{stepNum} \left( \frac{w_1}{(dis_i \times dis_i) + 1} + w_2 YDot \right) \quad (2)$$

但し,  $dis_i$  はステップ  $i$  におけるトンボの高度と目標高度の差とする。YDot はトンボの上向き垂直方向ベクトルと Y 軸正方向ベクトルの成す角の内積とした。各重み定数を  $w_1=225$ ,  $w_2=2$  とした。学習では均一空気抵抗環境で行い, 学習後のモデルをランダム空気抵抗環境でシミュレーションする。

#### 5. 実験結果

学習する前のトンボの挙動は図 2 のようになる。トンボは黄色い球体の上部から出発しすぐに地面に落ちた。黄色い線(図 5 では黒い線)はトンボの飛行軌跡となる。

このような初期状態から, 6 出力と 12 出力それぞれ実験を行った。6 出力の場合の学習結果図 3 のようになる。図 1 の時と比べると滞空時間が長くなったが, すぐに落下する結果が変わらなかった。評価値の進化は表 1 のようになる。左右の翅が必ず同じ出力を出すため, 6 出力の場合ではトンボが自分の方向をコントロールできない。PhysX 内部の計算誤差で回っている。

12 出力の場合の 6 出力と同じの 80 世代の時には, 学習結果は図 4 のようになる。非常に安定するコースで地面に徐々に落ちていく様子を獲得できる。そして, 滞空時間が図 3 の時より延びた。この結果から見ると, 4 枚の翅にそれぞれコントロールをかけたほうが効果がよい結果を得られる。

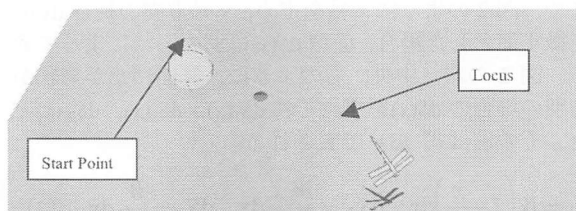


Fig. 2 Dragon fly's behavior (Before Learning)

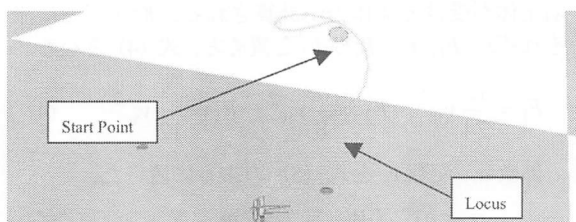


Fig. 3 Dragon fly's behavior (6 outputs After learning)

Table 1 Transition curve of fitness function(6 outputs)

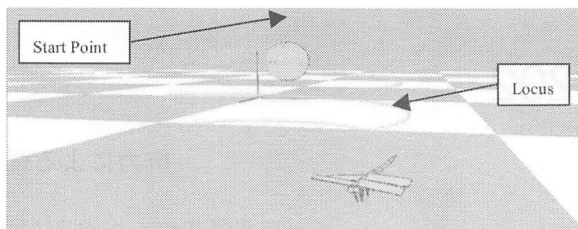
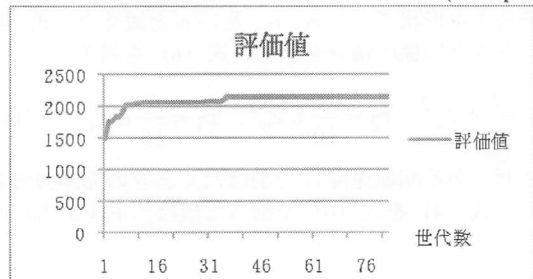


Fig. 4 Dragon fly's behavior (12 outputs After learning)

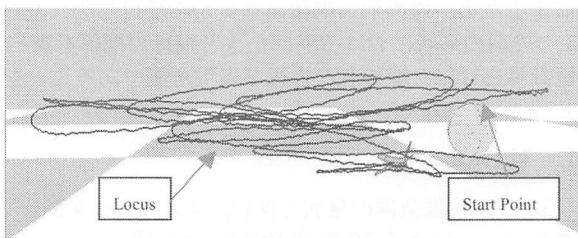
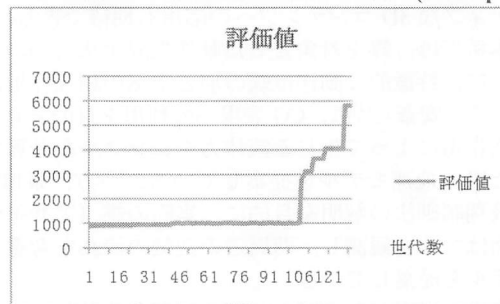


Fig. 5 Dragon fly's behavior (12 outputs at 120<sup>th</sup> generation)

Table 2 Transition curve of fitness function (12 outputs)



さらに学習が進むと図 5 のように長時間滞空できる固体を獲得できた。図 5 の場合では約 90 秒滞空できる。すべての学習結果においてはトンボが目標高度の高度で回しながら, 滞空していた。今回の実験結果ではまだ安定に空中での飛行行動を獲得できていない。一番よい世代でも約 90 秒が地面に落ちる。その理由は学習時間が短いだと考えられる。現在の学習時のシミュレーション時間は 5 秒である。この時間と長くすると, 学習時間がなくなる代わりに, もっと滞空時間が長い固体を獲得できると考えられる。

#### 6. おわりに

GA の評価関数を調整するにより, 仮想物理空気環境内で, トンボの飛行動作を獲得できた。今回の実験の目的の一つである風について, モデルの移動速度+風速で実装したが, 実験途中で数値爆発が起きて, 実験が失敗した。数値爆発の理由は現在の計算方法は PhysX との合性が悪いと考えている。これからは他の PhysX で適用できる方法で風を導入することは課題として挙げられる。

#### 参考文献

- 1) 森長誠, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志: Animated Robot の研究, 物理モデリングに於ける空気環境の構築, ROBOMEC2008, 08(4), 2P2-G17(1)
- 2) 須藤誠一, 露木浩二, 井小荻利明, 太田福雄, 信田重成, 谷順二: トンボの翅構造に関する研究, 第 2 報, トンボ翼とはばたき, 日本機械学会論文集(C 編)64 巻 625 号(1998-9), 論文 No.97-1533, 3526-3533