

物理モデリングによる紙飛行機のボイドの研究

北海道大学 ○徐 拓, 鈴木 育男, 山本 雅人, 古川 正志

要旨

これまでに「PhysX」開発環境により、ランダムな空気抵抗を実装することで物理計算を軽減するとともに、現実に近いモデルの振る舞いを実現してきた。本研究では、この環境中における飛行体の飛行制御を獲得し、さらに、複数の飛行体を用いた群行動の獲得を目指す。

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、複数の動力付き紙飛行機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、より簡単に現実感のある群飛行の行動獲得を目的とする。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、紙飛行機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)を採用し、群行動にはボイドの原理を使用した方法を提案する。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群飛行が実現されたことを報告する。

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、 ρ 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 667GMHz 2GB×2 ビデオカード GeForce 8600M GT のコンピュータを利用した。

3. 紙飛行機

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 Paper Plane をモデル化した。モデル本体の密度は $1200[\text{kg/m}^3]$ とし、横幅(X軸)は 28cm、縦幅(Z軸)最大長 24cm とした。各部分の役割は以下のように設定した。水平尾翼を紙飛行機の上昇、降下コントローラ、

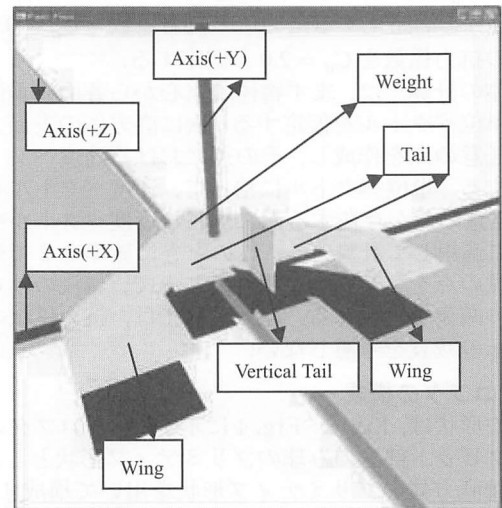


Fig.1 Paper Plane Model

垂直尾翼を紙飛行機の体勢コントローラ、側翼を紙飛行機の回転コントローラとした。また、重み(Weight)を付加して、紙飛行機を初期化する時に重心の位置を調節を可能とした。

3.2. 人工ニューラルネットワーク(ANN)

紙飛行機の姿勢制御には ANN を使用し、各紙飛行機に全て同じ ANN を設定した。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 10 ノード、中間層 10 ノード、出力層を 4 ノードとした。10 入力ターゲットまでの角度(4 つ)、紙飛行機の対地面角度(4 つ)、速度(1 つ)、地面までの距離(1 つ)である。入力角度について、ターゲットまでの角度は A1 と A2 とする。A1 は紙飛行機中心からターゲットへのベクトルと紙飛行機の進行方向ベクトルが XZ 平面での投影の成す角である。A2 は紙飛行機中心からターゲットへのベクトルと紙飛行機の進行方向ベクトルが YZ 平面での投影の成す角である。紙飛行機の対地面角度は B1 と B2 とする。B1 は紙飛行機の進行方向ベクトルと地面の成す角とし、B2 は紙飛行機の進行方向から 90 度逆時計周りにしたベクトルと地面の成す角である。以上 4 つの角度にそれぞれ正弦、余弦の値を入力として利用した。4 つの出力は側翼角度、水平尾翼角度、垂直尾翼角度と動力(紙飛行機正面にかける力)である。

4. 数値シミュレーション実験

4.1 実験条件

本実験の目的は紙飛行機を特定のターゲットに向けて飛行させることである。紙飛行機を制御する 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 31、進化戦略をエリート選択、交叉方法を一点交叉、突然変異を 5% とした。評価値は個体からターゲットまでの累積距離、

体勢角度、及びターゲットまでの角度とした。

紙飛行機モデル及びターゲットは高度 100[m]に設置し、紙飛行機後方 200[m]先のターゲットに向かう飛行制御を学習するシミュレーションを行った。

4.2 実験方法

以下の様な 3 実験を実施した。

実験 1 式(2)に基づきモデルとターゲットとの累積距離を GA に基づき最小化し、ANN を定める。

$$value = \sum_{i=0}^{stepNum} dis_i \quad (2)$$

但し、 dis_i はステップ i におけるモデルとターゲットとの距離とする。

実験 2 実験 1 に加えて体勢角度式(3)も GA の評価に考慮する。

$$value = \sum_{i=0}^{stepNum} (dis_i - w_1 \cos \phi_y) \quad (3)$$

但し、 w_1 は重み定数とし、 ϕ_y は体勢角度[rad]であり、紙飛行機の法線ベクトルと地面の垂直方向が成す角度とする。

実験 3 ターゲットへ直進する学習を目的として、実験 2 に加えてモデルからターゲットへの角度 A_1 及び A_2 も考慮する(式(4))。

$$value = \sum_{i=0}^{stepNum} (dis_i - w_1 \cos \phi_y - w_2 \cos A_1 - w_3 \cos A_2) \quad (4)$$

本実験では各重み定数を $w_1=100$, $w_2=50$, $w_3=50$ 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

均一空気抵抗環境で 50 世代を GA で学習させた。各実験結果の表示には 6 機の紙飛行機を使用した。初期位置は図 2 のように設置する。各紙飛行機間の距離は 2[m] である。シミュレーション描画では Paper Plane(Draw Line)の飛行軌跡を線で記録した。Paper Plane(Draw Line)に近づくほど線の色は黒くなる。ターゲットは空中の球が示した位置にある。

実験 1 では向きと位置を固定したので、同じニューロンなら同じ出力値が得られた。図 3 より、紙飛行機は出発点から回りながらターゲットに近づいた。ターゲットに十分近いところまで行くと、初期位置のわずかな差により、各々紙飛行機はランダムに移動することになった。

実験 2 では体勢状態を評価関数に考慮したので、図 4 から、実験 1 よりターゲットに向かう時の回転半径が大きくなり、より早く直進に近づく方法でターゲットに向かった。

実験 3 では紙飛行機の進行方向から、ターゲットまでの角度を評価値に考慮したので、角度の余弦値に一定な重みにかけることによりターゲットへの距離が遠い時には距離を優先して学習し、距離が近づく場合には角度により次世代の個体を決めた。式(4)の適用によりターゲットへ向かう時の回り回数が減少し、ほぼ直線にターゲットへ向かい、ターゲットの周りで規則的に円運動する個体を獲得した。ランダム空気抵抗環境で実験 3 の紙飛行機を飛ばした場合、飛行軌跡は実験 2 より小さい範囲内に押さえた。図 5 より均一空気抵抗環境内に式(4)で学習した紙飛行機はほぼ直進ができた。図 5 の左下の図は紙飛行機がターゲットの周りで円運動する時の軌跡だけの図である。

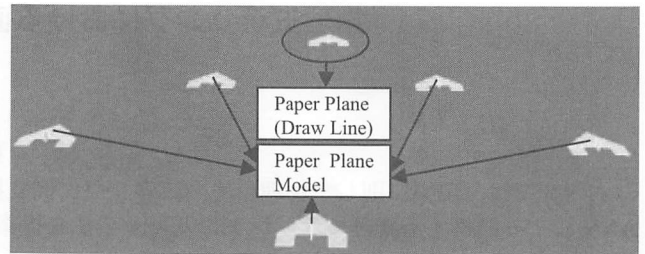


Fig.2 Start Formation

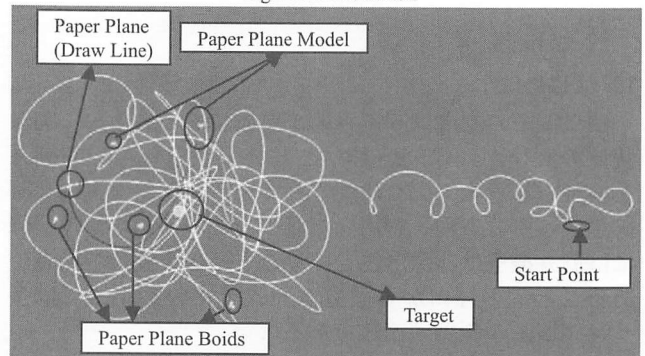


Fig.3 Experiment 1

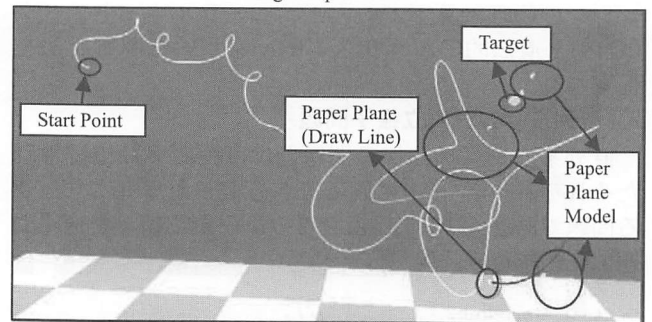


Fig.4 Experiment 2

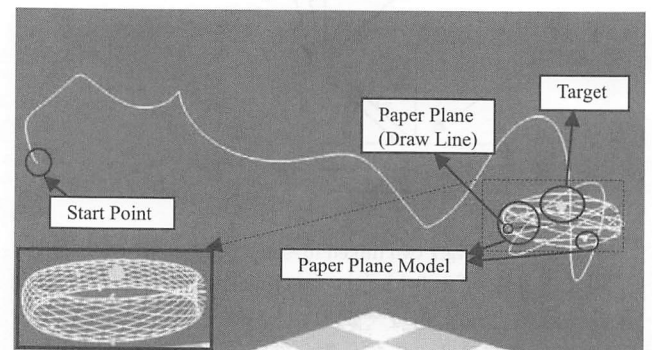


Fig.5 Experiment 3

6. おわりに

GA の評価関数を調整することにより、弧を描く個体や、水平に飛ぶ個体も獲得可能である。適切なモデルを作成し、評価関数を定義すると、研究背景にふさわしい挙動を獲得できる。しかし、今回はボイドを採用していないので、個体は回りの状況を考慮せず飛行するため、群行動はできない。今後の課題として、学習した紙飛行機がターゲットに飛行する特性を利用して、ボイドの導入を行った紙飛行機の群行動が挙げられる。

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, ROBOMECH2008, 08(4), 2P2-G17(1)