

物理モデリングに関する基礎研究 ーヘリコプタの飛行シミュレーターの開発ー

北見工業大学機械システム工学科 ○野田坂 佳, 渡辺 美知子
要 旨

本研究では、剛性体モデリングツールを用いて、ヘリコプタをモデリングし、そのモデルの自律的な振舞い獲得のためのツール開発を目的とする。実験では、自律的な行動獲得のためにニューラルネットワークと進化計算による学習を行い、その有力性を数値計算シミュレーション実験で検証する。

1. はじめに

近年、視覚的にリアルな生物、無機物、ロボット、機械などの行動や振舞いの獲得を目指して、水や空気環境下における物体の自律的な行動の振舞いに関する物理モデリングの研究が進められている。¹⁾ また、物理法則に基づいたプリミティブを自動生成し、このプリミティブの動作を任意の環境下でモデル化する研究も進んでいる。^{2) 3)} このように現在行われている研究では、生物や無機物の振舞い獲得は進んでいるが、三次元空間におけるロボットや機械に関する振舞い獲得はあまり行われていない。

本研究では、空中を飛行するヘリコプタを物理法則に基づく剛性体でモデリングし、ヘリコプタの自律的な振舞い獲得のためのツール開発を目的とする。また、ヘリコプタの自律的な振舞い獲得のためには、ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを適用する。最後に、有効性を確認するために数値計算シミュレーション実験を行う。

2. 物理モデリングの構成要素

ヘリコプタの機体を構成する各要素は、以下の3要素で構成されている。

2.1 剛性体データベース

剛性体は、モデルの生成時に使用するプリミティブ形状である。本研究では球と直方体の形状を使用する。

2.2 ジョイントデータベース

ジョイントは、以下の接合ジョイント、回転ジョイント、間接ジョイントの3種類を使用する。

- 1) 接合ジョイントは、複数の剛性体を接合し、一つの物体とするためのジョイントである。
- 2) 回転ジョイントは、剛性体を結び、1方向で回転運動が可能なジョイントである。
- 3) 間接ジョイントは、限られた範囲で稼働可能なジョイントである。

2.3 センサデータベース

ヘリコプタは、機体前方に光センサを装着する。このセンサは、作成した物理モデルの五感を担っており、本研究では操縦士の目にあたる光センサを使用する。

3. 物理エンジンとニューラルコントローラの導入

本研究で使用した物理エンジンとニューラルコントローラは以下のとおりである。

3.1 物理エンジン

物理エンジンとは、物理法則に従って各時間に於ける物体の振舞いをシミュレートするライブラリである。本研究ではAGEIA社が開発したNIVIDEA PhysXライブラリを使用している。PhysXライブラリを使用して、物理学に基づいた物体の振舞いを獲得する。

3.2 ニューラルコントローラ

ニューラルコントローラは、人工ニューラルネットワーク(ANN)を採用する。Fig.1は、ニューラルネットワークの構造を示す。

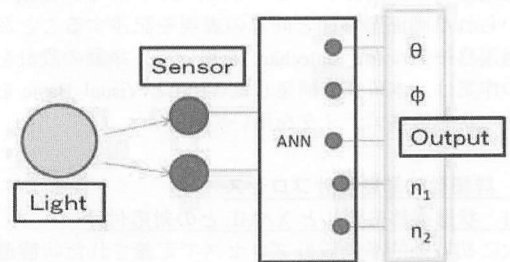


Fig.1 Structure of neural controller

ヘリコプタに装着された光センサは、任意の位置で光を発する光源を読み取り、光源とセンサの位置の差をニューラルネットワークの入力信号として入力される。この入力信号が与えられると、出力信号として機械の制御値が出力される。

3.3 進化計算による最適化

ニューラルネットワークのパラメータの探索に遺伝的アルゴリズムを適用して最適化を行う。重みを持った隣接行列をニューロのパラメータとし、評価関数として光源から機体までの距離とする。学習終了後、評価関数が最小となるように学習を行う。

進化学習の手順を簡単に述べる。

1. 初期スタート地と目的地を設定し、ランダムに個体を発生させる。
2. 任意のステップごとに光源と機体の距離を計算し、その総和が小さいほど高い評価となる。
3. 選択された個体に交叉、突然変異の遺伝オペレータを適用し、新たに個体を生成する。
4. 個体のソーティングを行い、評価の高い上位個体を評価の低い下位個体に加えて次世代の個体とする。
5. 2, 3, 4の処理を任意の世代数まで繰り返し、最終世代の最も評価の高い個体の振舞いを確認する。

4. 空気環境のモデル化

ヘリコプタの振舞いに必要な空気環境の構築方法を以下に述べる。本実験では、流体が物体に与える力として浮力と抗力を実装する。浮力は、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というアルキメデスの原理により式(1)で定式化される。

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

(ρ : 流体の密度, g : 重力加速度, V : 物体の体積)
式(1)から浮力の大きさを求め、物体の重心に作用

点を置き鉛直上向きに作用させる。空気の密度は浮力、抗力の計算ともに常温常圧 20℃, 1 atm 時の密度である $\rho=1.205(\text{kg}/\text{m}^3)$ とする。抗力は一般的な抗力の式 (2) を用いて大きさを計算する。

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

(C_d : 抗力係数, ρ 流体の密度, U : 物体と流体の相対速度, S : 投影面積)

抗力係数 C_d は物体の形状, 流速方向によって可変であるが, 計算を簡略化するため球の抗力係数を $C_d = 0.47$, 直方体の抗力係数を $C_d = 2.0$ と固定する。

直方体の計算では, まず物体の重心から各面に垂直な 3 つの単位ベクトルを仮定する。次に直方体の表面上に複数の任意の点を作成し, その点における速度ベクトルを獲得する。単位ベクトルに沿って, 速度ベクトルを分割し, 任意の点が存在する面に垂直な速度ベクトルを式 (2) に適用して計算する。このときに確率 0.2 で選択する任意の点をランダム選択することで, 気流のゆらぎと回転の減衰を表現する。球の形状では, 抗力係数の関係上回転の減衰を考慮しない。

5. ヘリコプタの構成

機体の形状は, Fig. 2~Fig. 4 に示す。ヘリコプタの機体コックピット部分のみ球のプリミティブ形状とし, 他の部位は直方体のプリミティブ形状を用いて構成する。ヘリコプタの光センサは, コックピット前方に 2 つ配置する。

ヘリコプタの制御点は, 以下のとおりである。

- 1) メインロータの回転数. 上昇, 下降. ロータヘッドとコックピットの接続に回転ジョイントを使用する。
- 2) メインロータのブレード迎え角. 前進, 後退. ロータヘッドとブレードの接続に関節ジョイントを使用する。
- 3) テールロータの回転数. 左右への旋回. テールロータヘッドとテールの接続に回転ジョイントを使用する。

6. シミュレーション実験

6.1 飛行シミュレーション

本実験では, 物理モデリングで生成したヘリコプタを用い, 各振舞いの制御値を入力し, 三次元仮想空気環境下で地上からの上昇, 下降, ホバーリング, 前進, 後退, 右旋回, 左旋回などの飛行シミュレーション実験を行う。

6.2 数値計算実験

上記のヘリコプタがニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを用いた学習により振舞い獲得を行い, 自律的に目的地へ到達可能であることを検証する。

三次元空間の指定した目的地に光源を置き, 機体の光センサによって位置情報を獲得し, ニューラルコントローラによって機体を制御する。

7. おわりに

本研究では, 物理モデリングで生成したヘリコプタを用い, 三次元仮想空気環境下で地上からの上昇, 下降, ホバーリング, 前進, 後退, 右旋回, 左旋回などの飛行シミュレーション実験を行い, ヘリコプタの様々な振舞

い獲得が得られることが分かった。また, 空気の性質を利用した機械であるヘリコプタの制御にニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムの適用することにより自律的な振舞い獲得が可能であることが分かった。

今後の課題として, 揚力の実装と機体の形状を実際使用されているヘリコプタに近づけることが挙げられる。そのことにより, 三次元空気環境下で稼働する機械の制御をよりリアルに制御可能と思われる。

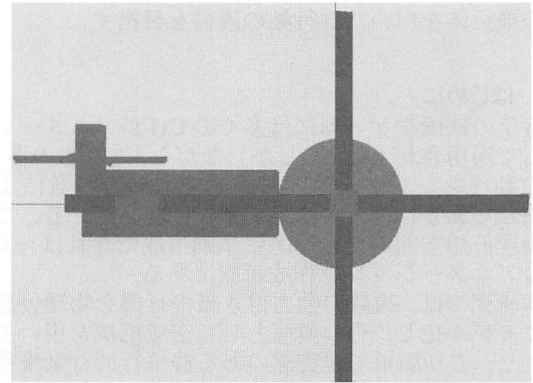


Fig. 2 A top view of helicopter

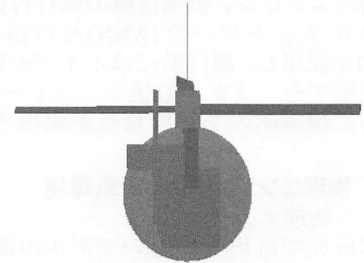


Fig. 3 A front view of helicopter

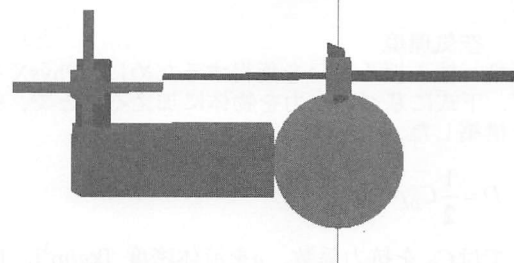


Fig. 4 A side view of helicopter

参考文献

- 1) 森長誠, 鈴木郁男, 山本雅人, 古川正志, 物理法則に基づく物体の空気環境の構築, 2008年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, L20 (2008)
- 2) 岩館健司, 米陀佳祐, 鈴木郁男, 山本雅人, 古川正志, Animated Robot の研究—剛性体モデルの学習と制御—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008, 2P2-G21(1)-(4) (2008)
- 3) 米陀佳祐, 岩館健司, 鈴木郁男, 山本雅人, 古川正志, Animated Robot の研究—弾性体モデルの学習と制御—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008, 2P2-G19(1)-(4) (2008)
- 4) 渡辺美知子, 岩館健司, 古川正志, エージェント学習のためのニューラルネットワークの構造に関する研究, 精密工学科会誌74巻8号, (2008.)