

バランス棒を持つロボットの安定化制御の獲得

北見工業大学 ○次原慧, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司

要旨

本研究は、三次元物理空間内で台車に載せた簡易人型モデルの腕部分に重りのついた棒を持たせたモデルを生成し、棒のバランスを保ちつつ走行し、かつ外乱等に対応する様な行動を獲得させることが目的である。モデルの安定化制御には、人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN)と遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, GA)を用いる。

1. はじめに

近年、物理モデリングを用いることによって3次元仮想空間内にロボットや人工生物モデルを作成し、様々な条件下において目的に沿った自律的な行動を獲得させる研究が盛んに行われている⁽¹⁾⁽²⁾。これらの研究では、与えられた条件下で行動の学習、シミュレーションを行い目的に沿った動作の獲得を目的としている。

本研究では、三次元仮想空間内で台車に載せた簡易人型モデルの腕の両端に重りのついた棒（以下バランス棒）を持たせ、この状態で走行時に自身のバランスを保ちながら棒を保持し続け、かつ外乱等に対応する様な行動を獲得させることを目的とする。本実験では、簡易人型モデルがバランス棒を保持したまま反対の支柱までたどり着くことを目標としている。安定化制御⁽³⁾には、人工ニューラルネットワーク(ANN)を、ANNのパラメータの最適化に進化計算の一手法である遺伝的アルゴリズム(GA)を採用する。

2. 物理環境

本研究では、NVIDIA社の物理エンジンであるPhysxを用いて物理環境を生成する。Physxでは重力や摩擦、衝突判定などを高速にシミュレーションすることが可能である。

3. モデル

図1はモデルの全体図、図2は正面図(a)と側面図(b)の簡易人型モデル等を示す。台車が走行するレールは2本とも左右の支柱で支えられ、支柱の高さ20m、レールの長さ60mとなっている。台車は前輪駆動で速度は4m/sに設定している。また、台車が反対側の支柱までたどり着くと停止するようになっている。

簡易人型モデルは、直方体と球のプリミティブを組み合わせた本体とカプセル2つを90度で組み合わせた2本の腕で構成されている。モデルの肘関節は完全に固定されているが、本体と左右の腕はそれぞれジョイントで接続されている。バランス棒は複数のカプセルを繋げて先端に球体の重りを装着し、初期状態では2本の腕で保持されている。簡易人型モデルは、腕を上下させることによって棒を傾けてバランスをとるようになっている。

台車や簡易人型モデル、バランス棒は、それぞれ互いに固定されていないので自由に動くことが可能である。

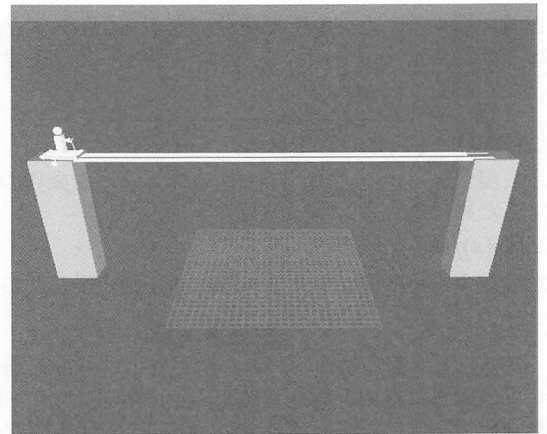
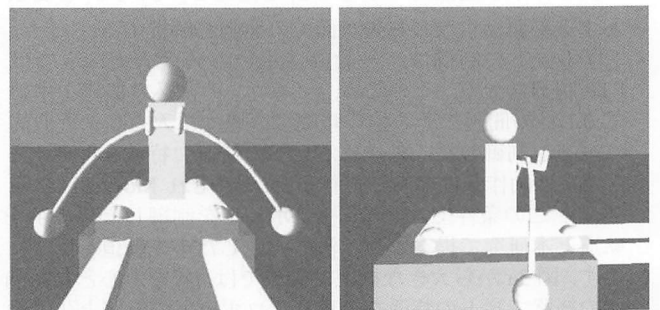


図1 モデルの全体図



(a) モデルの正面図

(b) モデルの側面図

図2 簡易人型モデル

4. 制御方法

4.1 ANN

簡易人型モデルの腕の制御には3層のANNを用いる。入力層2、中間層6、出力層2とした。ANNの入力には、簡易人型モデルの傾きとバランス棒の角度を与える。中間層と出力層は、結合しているニューロンからの入力総和を変換して出力する。

4.2 GA

GAは、ANNのニューロン間の重み係数 w を最適化するのに用いられる。GAの遺伝子は重み係数 w とし、交差、突然変異、淘汰の遺伝オペレータを採用した。交叉には1点交叉を用い、突然変異は遺伝子に乱数を加える方法を行った。GAの条件を表1に示す。

評価値は、簡易人型モデルが落下せずに進めた距離の総和として、式(1)で求める。

$$E = \sum_{i=0}^n (x + p_1 + p_2) \quad (1)$$

ここで、 E は評価値、 x は簡易人型モデルが進んだ距離、 n がステップ数となっている。 p_1 、 p_2 は、それぞれ簡易人型モデルとバランス棒がそれぞれ落下した時のペナルティである。初期状態の高さを0とした場合、高さが-5以下になった時に落下したと判断し、落下していない時は0、それぞれの落下後は値を-10000とした。

表1 GAの条件

個体数	40
世代数	50
交差率	0.4
突然変異率	0.1
淘汰率	0.2
ステップ数	1800

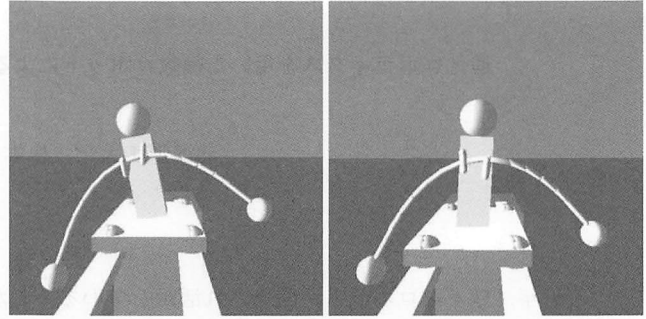
5. 数値実験

簡易人型モデルがバランス棒を保持したまま、外乱等に対応した行動を獲得させるために学習を用いて安定化制御を行った。実験条件は、1 step を 1/60sec として表1の実験条件に基づいてシミュレーション実験を行った。実験開始時は図1の左側の支柱上に台車、その上に簡易人型モデルを静止した状態でバランス棒を保持した状態である。シミュレーション実験では台車の前輪に動力を与え、4m/sで右の支柱まで移動させる。この時、外乱として今回のシミュレーションでは、5m進むごとに図1の奥から手前に向かって簡易人型モデルに力を加えた。この時、簡易人型モデルに加える力は小さいと実験にならず、大きすぎても現状ではモデルが耐えることができずすぐ落ちてしまうので、その都度モデルがデフォルトの状態でもギリギリ耐えられない大きさの力を加えた。

6. 実験結果

図3は、外乱が加わった状態(c)とその後の状態(d)の簡易人型モデルを示している。

図4は、簡易人型モデルの左右の腕の動きをグラフに示している。外乱は図3の右から左の方向に作用している。これらの図からは、簡易人型モデルの外乱に対する行動が獲得されていることがわかる。また、毎stepごとの腕の動きを示しているのが、通常時は左腕を上げているが外乱が加わり簡易人型モデルが傾くと左腕を下げて右腕を上げることでバランスをとっていることがわかる。更に、step100付近まで腕が大きく上下しているのは、シミュレーションの失敗を防ぐ為にバランス棒の初期位置が腕よりも多少高く設定されているからであり、棒をキャッチした際に腕が動くからである。



(c) 外乱が加わった状態 (d) 外乱後の状態
図3 簡易人型モデルのシミュレーション実験

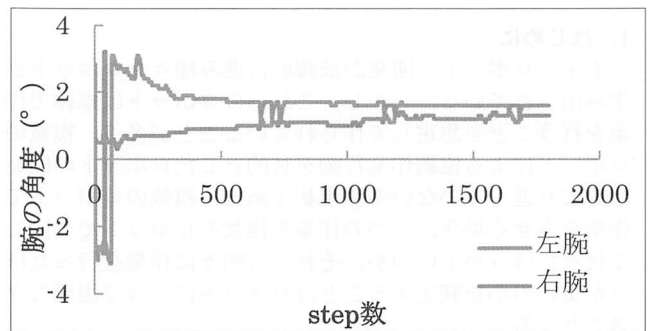


図4 簡易人型モデルの腕の動き

今回の実験では、簡易人型モデルが初期状態ではギリギリ耐えられない程度の力しか加えていないので、力を大きくすると直ぐに耐えられなくなってしまった。この原因は、GAの個体数や世代数を増やしても改善されなかったため、他の要因で何らかの改善が必要であると思われる。

7. 終わりに

本研究では、三次元空間内で台車に乗せた簡易人型モデルの腕部分に重りのついた棒を持たせ、棒のバランスを保ちつつ走行し、かつ外乱等に対応する様な行動の獲得を行った。その結果、限定的ではあるが外乱に対する行動を獲得することができた。しかし現状では、外乱の力を大きくするとすぐに耐えられなくなってしまいう結果となった。

今後は各実験条件の変更、安定化制御に用いるANNやGAの改善、モデルの改良等を行い、様々な条件の外乱に耐えられる動作の獲得を目指す。

参考文献

- (1) 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-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008, 2P2-G21(1)-(4), 2008
- (2) 福原隆宏, 渡辺美知子, 仮想空間におけるAGVの自律搬送, 2010年度精密工学会北海道支部学術講演会, pp59-60, 2010
- (3) 佐藤航, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司, 学習による倒立振子の安定化制御に関する研究, 情報処理北海道シンポジウム 2012, pp35-36, 2012