

三次元物理空間における恐竜モデルの自律的な歩行動作の獲得

北見工業大学 ○成瀬幸史, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司

要 旨

本研究は、三次元物理空間内に大型仮想生物として地上に尻尾が地面に接触する恐竜モデルと尻尾が地面に接触しない恐竜モデルを生成する。これらの異なる恐竜モデルの二足直立と二足歩行に人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN), 遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, GA), 中枢パターン生成器(Central Pattern Generator, CPG)を用いて学習させて恐竜モデルの自律的な直立動作と歩行動作を獲得する。

1. 緒言

恐竜モデルの自律的な歩行動作の獲得は、近年、恐竜の歩行原理を分析し、シミュレーションとして再現するために用いられることがある。この生物の動作のシミュレーションを行う代表的な研究としては、アニボット(Animated Robot, Anibot)⁽¹⁾⁽²⁾の研究がある。アニボットとは、仮想物理空間内に作成された人工仮想生物である。この研究は、重力や浮力、空気抵抗等の現実世界の物理法則に近い環境を生成し、その環境内でアニボットが学習や進化を行い、自身で判断し動作を獲得することを目的としている。この代表的な研究には、犬モデルの起き上がり行動獲得⁽³⁾、カエルモデルの遊泳行動の獲得⁽⁴⁾、飛翔モデルの飛翔行動の獲得⁽²⁾等が挙げられる。

本研究では、三次元物理空間内に恐竜のモデルを生成し、恐竜モデルの二足歩行の周期生成に中枢パターン生成器(Central Pattern Generator, CPG), CPGのパラメータ調節に人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN), ANNのニューロン間のパラメータ調整に遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, GA)を用いることで最適化を行い、恐竜モデルに自律的な二足直立や二足歩行動作を獲得させることを目的としている。

2. 恐竜モデル

本研究では、恐竜として図1に示すティラノサウルス(Tyrannosaurus rex, T.rex)⁽⁵⁾を採用している。そして、図2, 図3に示すような尻尾と二足直立T.rexモデルと完全二足直立T.rexモデルの2つのモデルをそれぞれ別の環境に生成し、制御対象とする。両モデルは、モデルの胴体中心からモデルの尻尾と二足直立T.rexモデルは胴体中心の高さが4.5から5.0mに無いとき、前方15mに目的地を設定している。

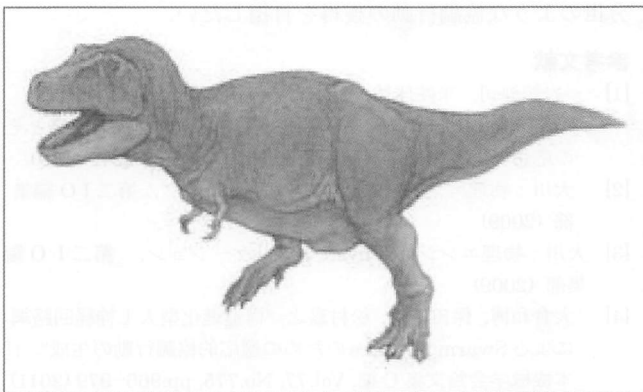


図1 ティラノサウルス

2.1. CPG

本研究では、恐竜モデルの歩行周期の生成にCPGを用いている。CPGには松岡氏によって提案され、多賀氏によって作られた以下の(1)式から(3)式を用いている。

$$\frac{1}{T_r} \dot{x}_i + x_i = - \sum_{j=1}^n a_{ij} y_j - b z_i + u_i + s_i \quad (1)$$

$$\frac{1}{T_a} \dot{z}_i + z_i = y_i \quad (2)$$

$$y_i = \max(0, x_i) \quad (3)$$

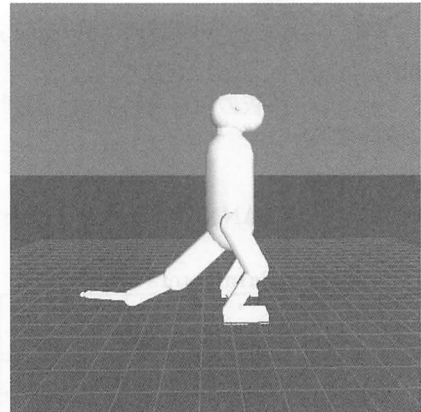


図2 尻尾と二足直立T.rexモデル

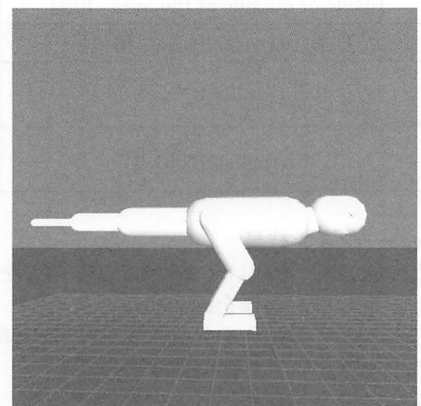


図3 完全二足直立T.rexモデル

2.2. ANN

CPGのパラメータを制御するためにANNを用いている。ANNには、3層の階層型ニューラルネットワークを採用し、入力層、中間層、出力層はそれぞれ6つ、7つ、4つの合計17ニューロンで構成されている。

ANNの入力層には、目的地からモデルの左右の目までの各距離、モデルの左右の目と目的地の角度、左右の脚の各関節角度を入力し、出力層からはCPGのパラメータを出力している。ANNの出力関数には、式(4)に示すシグモイド関数を採用している。

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x}{\tau}}} \quad (4)$$

2.3. GA

ANNの各ニューロン間の結合荷重を最適化するためにGAを用いる。本研究では、GAの操作として、交叉、突然変異、選択を行い、交叉には多親交叉REX(Real-coded Ensemble Crossover)、突然変異には境界突然変異、選択にはルーレット選択を採用した。

評価関数は式(5)を用いる。Eは評価値、nはシミュレーションステップ数、 D_{1t} 、 D_{2t} は、それぞれモデルの左右の目から目的地までの距離、 θ_{1t} 、 θ_{2t} はそれぞれ左右の目と目的地の角度、 μ 、 ω はそれぞれモデルのピッチ角、ロール角、 α 、 β 、 γ は重み定数、Pはペナルティを表わしている。Pは尻尾と二足直立T.rexモデルは胴体中心の高さが4.5から5.0mに無いとき、完全二足直立T.rexモデルは胴体中心の高さが2.2から3.5mに無いときに、ペナルティとして100を与える。モデルが体勢を維持しつつ真つすぐに目的地へ向かうことで評価が高くなるように設定した。

$$E = \sum_{t=0}^n \left(\alpha \left(\frac{1}{D_{1t}} \cos \theta_{1t} + \frac{1}{D_{2t}} \cos \theta_{2t} \right) + \beta \cos \mu_t + \gamma \cos \omega_t - P \right) \quad (5)$$

表1 GAのパラメータ

個体数	200
シミュレーションステップ数 1/60[s]	3000
世代数	600
突然変異率	0.1
選択率	0.1

表2 評価関数の重み定数

	α	β	γ
尻尾と二足直立T.rexモデル	1	1	2
完全二足直立T.rexモデル	10	8	9

3. シミュレーション実験

表1、表2に示すような実験条件において、シミュレーション実験を行うことで、T.rexモデルの自律的な歩行動作が可能かを検証する。図4はシミュレーション環境を表し、図の中央にT.rexモデルの初期位置に尻尾が地面に接触して二足で立っている状態を示している。

シミュレーション実験では、異なるT.rexモデルの二足直立と二足歩行に人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN)、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, GA)、中枢パターン生成器(Central Pattern Generator, CPG)を用いて学習させてT.rexモデルの自律

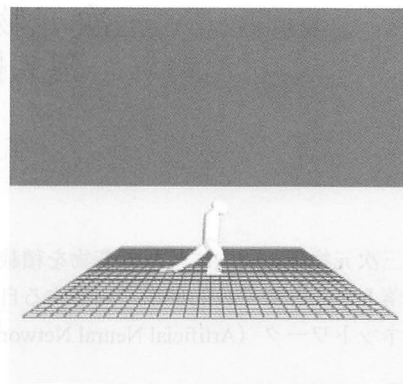


図4 シミュレーション環境

的な直立動作と歩行動作を獲得することを試みる。

4. 実験結果

尻尾と二足直立T.rexモデルは、前方に進み、目的地付近で倒れて目的地で脚を動かすような動作を確認した。これは重心が前に傾いたことで前に進み、目的地付近で傾いた重心を脚が支えられなくなったためだと考えられる。

完全二足直立T.rexモデルは、胴体を前に傾かせ、前に数m進んだのち、倒れてしまう動作を確認した。これは尻尾と二足直立T.rexモデルと同じように重心を前に傾けることで前に進んだが、安定性がこちらの方が低いため早く倒れてしまったためと考えられる。

5. 結言

本研究では、T.rexモデルの歩行制御にCPGとANN、最適化にGAを用いた三次元物理空間における恐竜モデルの自律的な歩行動作の獲得を行った。その結果、以下の3つの結果が得られた。

- 1). 両モデルは、共に二足直立を獲得した。
- 2). 尻尾と二足直立T.rexモデルは、目的地付近まで歩行し、その後前方へ倒れる動作を獲得した。
- 3). 完全二足直立T.rexモデルは、目的地へ向かうように少し歩行してから、前に倒れこむ動作を獲得した。

モデルの構成している部品の大さき、密度等の各パラメータや、重み定数などの評価関数の値を改善させ、両モデルに直立を維持しつつ前方を向いたままの目的地へ歩行する動作を獲得させることが今後の課題として挙げられる。

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-G19(1)-(4), 2008
- (2) 森長誠, 鈴木郁男, 山本雅人, 古川正志, Animated Robotの研究-仮想空気環境における飛翔行動の獲得-, 第10回システムインテグレーション部門講演会, pp2042-2043, 2009
- (3) 村瀬元起, 渡辺美知子, 物理モデリングによる犬モデルの自律行動-起き上がり動作と姿勢の安定化-, ロボティクス・メカトロニクス講演会2011, 1A1-P04(1)-(4), 2011
- (4) 福本晃宏, 鈴木郁男, 山本雅人, 古川正志, 水中環境における仮想筋肉を用いた人工生物の遊泳獲得, 第12回システムインテグレーション部門講演会, pp400-402, 2011
- (5) 川崎悟司, ティラノサウルス, <http://www.geocities.co.jp/NatureLand/5218/tirano.html>