

3次元物理空間内における犬モデルの遊泳行動獲得に関する研究

北見工業大学 ○三串邦明, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司

要旨

近年, 3次元空間内におけるロボットや人工生命の行動獲得に関する研究が盛んに行われている. 本研究では, 3次元物理空間内に犬モデルを生成し, 水環境における遊泳の自律的行動の獲得を目指す. 犬モデルの関節の制御には, 人工ニューラルネットワーク(ANN)と周期波形を生み出すCPGを用いる. 更に, ANNのパラメータを実数値型遺伝的アルゴリズム(RCGA)によって最適化することで, 学習によって自律行動の獲得を試みる.

1. はじめに

近年, 3次元コンピュータグラフィックス(3-Dimensions Computer Graphics, 3DCG)を用いた映画やアニメーションの普及により, 様々な3Dモデルの動作が表現されている. また, 以前と比較すると3DCGは筆者らの身近な存在となり, 個人単位でも3DCGを用いた作品の制作が容易となっている. しかし, これらのモデルの動作は, デザイナーが予め設定した動作に従ったものが多く, モデル自身が環境を認識し, 自律的な行動をしているものは少ない.

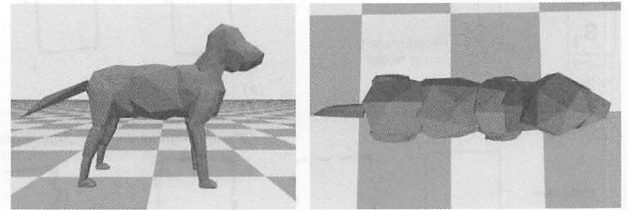
最近では, 3次元仮想空間内にロボットや人工生物モデルを作成し, 様々な環境や条件下において目的を満たすような自律行動を獲得させる研究が盛んに行われている¹⁾²⁾. これらの研究では, 与えられた環境下でモデルの動作の学習, シミュレーションを行うことで, 目標の達成や, 生物の自然な振る舞いを自律的に獲得することを目指している. また, 従来の犬モデルに関する研究では, 陸環境での犬モデルの起き上がり動作や, 歩行動作を自律的に獲得する方法が報告されている³⁾.

本研究では, 3次元物理空間内に犬モデルを生成し, 水環境における遊泳行動を自律的に獲得させることを目的とする. 犬モデルの各関節の制御には, 人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN)と中枢パターン発生器(Central Pattern Generator, CPG)を用いる. また, ANNのパラメータの最適化に実数値遺伝的アルゴリズム(Real Coded Genetic Algorithm, RCGA)を用いて, 学習による仮想生物の自律行動を獲得させる.

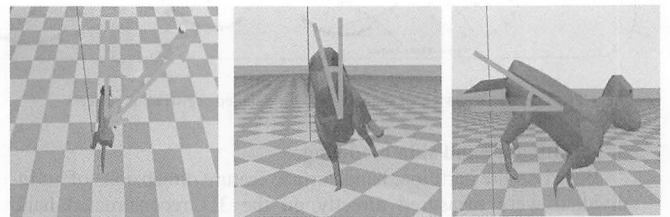
2. 犬モデル

図1は, 犬モデルの側面図(a)と上面図(b)を示している. 犬モデルは三角メッシュの組み合わせにより, 頭部, 胴体, 脚部, 尻尾を作成し, 各部位をジョイントで固定している. モデルは, 自身の情報を取得するセンサを備えており, 図2に示すようにモデルと光源との距離, 向き(c), 自身の傾き(d), (e)を取得できる. モデルのサイズは, 全長680mm, 全高400mmでモデリングされている. 胴体関節と首関節にはANNの出力を, 足関節にはCPGの出力を用いて各関節の制御を行う. 各関節の目標角度は式(1), (2)で決定する.

$\theta_{body\&neck}$ は, 胴体と首の目標角度, θ_{legs} は各足の関節の目標角度を示している. O_i はANNの出力, A_i は各関節の振幅の値, B_i は各関節の最低角度, y_i はCPGの出力を示している.



(a)側面図 (b)上面図
図1 犬モデル



(c)距離, 向き (d)左右の傾き (e)前後の傾き
図2 モデルの情報取得センサ

$$\theta_{body\&neck} = A_i O_i \quad (1)$$

$$\theta_{legs} = A_i y_i - B_i \quad (2)$$

3 制御方法

3.1 CPG

本研究では, 神経振動子のモデルに松岡の考案した式(3)~(5)に示す相互抑制モデルを用いる⁴⁾.

$$T_a \dot{x}_i = -x_i + \sum_{j=1}^n a y_j - b z_i + u_i + s_i \quad (i \neq j) \quad (3)$$

$$T_r \dot{z}_i + z_i = y_i \quad (4)$$

$$y_i = \max(0, x_i) \quad (5)$$

x_i はニューロン i の出力, y_j はニューロン j からの抑制入力を示している. a は抑制係数, z は疲労による順応効果, b は疲労係数である. T_r, T_a は時定数, u_i は外部入力, s_i は感覚フィードバックである. 生成される波形の周期は a, b の値によって決まり, 振幅は u_i の値によって決まることが分かっている⁵⁾. これらの値をANNの出力によって調整を行い, 遊泳のための波形を得る.

3.2 ANN

ANNの入力は、モデルから光源までの距離，向き，関節角度を与える．ANNの構造は，入力層，中間層，出力層の各ニューロン数を8，13，9に設定した．中間層，出力層の出力値は，結合しているニューロンからの入力に総和に重み係数 w を乗じた値を式(6)のシグモイド関数に入力することで得る．ここで， T は温度係数を示している．

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x}{T}}} \quad (6)$$

3.3 RCGA

ANNの各ニューロン間の重み係数 w をRCGAによって最適化する．パラメータは，個体数を60，世代数を200とした．遺伝オペレータは，BLX- α 手法による交叉，突然変異，エリート保存を用いる．交叉は α を0.25として全個体の40%に対して行う．突然変異は，全個体の10%に対して遺伝子の中に乱数を与える方法と微小な値をたし合わせる方法で行う．エリート保存は，評価値の良い20%の個体を残す方法を採用している．GAの評価式には式(7)を用いる．

$$F = \sum_{t=0}^N (D_t - 10\cos\theta_t + P_t) \quad (7)$$

ここで， F は評価値， D_t は光源までの直線距離， θ_t は犬モデルと光源との角度を示している． P_t は犬モデルが転覆した時に加えられるペナルティを示している．

4. 数値実験

水環境において，犬モデルが遊泳によって光源に向かう行動を獲得させるため，位置が異なる3つの光源に対して学習を行った．図3は，光源とモデルの初期位置を示している．光源はモデルの初期位置に対して右前，左前，真後ろに配置した．実験条件は，シミュレーションステップを3000[step]，1[step]を1/60[sec]に設定した．図4は，光源が真後ろにある場合のモデルの軌跡を示している．この図からは，初期位置から光源へ向かう行動が獲得できたことがわかる．図5は，前足のCPG出力とモデルと光源の角度を示している．図6は，後ろ足のCPG出力を示している．図5からは，犬モデルが光源を正面に捉えていないときは前足を動かし，光源を正面に捉えているときはほとんど前足を動かさない行動が獲得されていることがわかる．図6からは，モデルと光源の角度に関わらずに周期的な出力によって後ろ足を動かしていることがわかる．

また，遊泳の途中で光源を変更した場合でも，前足を動かすことで光源を正面に捉えるように向きを変え，その後後ろ足で光源へと向かうという行動が確認できた．

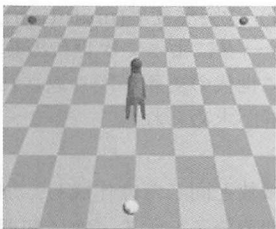


図3 モデルの初期位置



図4 遊泳時の軌跡

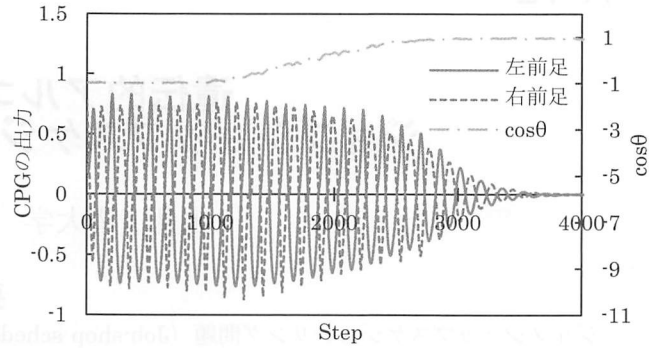


図5 前足のCPG出力，モデルと光源の角度

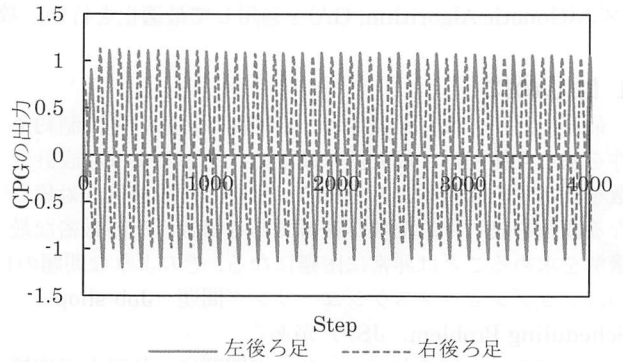


図6 後ろ足のCPG出力

5. まとめ

本研究では，3次元物理空間内に水環境と犬モデルを生成し，モデルが自立的な遊泳動作を獲得するための学習を行った．その結果，以下が得られた．

1. モデルは，ANNの出力を用いてCPG波形を制御することで光源へ向かう遊泳動作を獲得した．
2. モデルは，任意の光源に追従するような行動を獲得した．
3. モデルの遊泳は，前足を方向転換時のみ活発に動かし，それ以外の時にはあまり動かさないような行動が獲得された．

以上の結果から光源に追従する行動は獲得できても，現段階ではそれが犬らしい遊泳とは言いがたいのが現状である．

今後はCPGのニューロンの繋ぎ方の変更，各パラメータの改善，学習の最適化，モデルの改良等により，関節制御の最適化，自然な遊泳動作の獲得を行う予定である．

参考文献

- 1) K. Sims, "Evolving Virtual Creatures", *Proceedings of the 21st Annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp.15-22, 1994
- 2) 中村啓太，鈴木育男，山本雅人，古川正志，仮想水中環境下における人工生物の形状と遊泳能力の関係，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2010，"2P1-G05(1)-2P1-G05(4)"，2010
- 3) 村瀬元起，渡辺美知子，CPGの最適化による犬モデルの自立歩行動作の獲得，情報処理シンポジウム2011講演論文集，pp157-160，2011
- 4) Kiyotoshi Matsuoka, "Sustained Oscillations Generated by Mutually Inhibiting Neurons with Adaptation", *Biological Cybernetics*, vol.52, pp.367-376, 1985
- 5) 伊藤宏司，身体知システム論，共立出版，2005