

遺伝的アルゴリズムによる歩行動作のアニメーション

上田 剛* 李 七雨** 谷内田 正彦*

*大阪大学 基礎工学部
システム工学科

**イメージ情報科学研究所

最近、コンピュータグラフィクスによる人間の動きのアニメーションが様々な分野で利用されている。しかし、人間の動きのCGアニメーションを生成するにはいろいろと問題があり、容易ではない。本論文では仮想生物の動きを自動生成するセンサアクチュエータネットワーク (SANs) を利用して人間の動きをコントロールして、CGアニメーションを自動生成するアルゴリズムについて記述する。実験では、SANsを使うことによってパラメータを変えるだけで、人間の様々な歩行パターンを簡単に作り出せることを確認した。

Human Walking Animation with Genetic Algorithm

Takeshi Ueda* Chil-Woo Lee** Masahiko Yachida*

*Department of System Engineering **Laboratories of Image Information
Faculty of Engineering Science Science and Technology
Osaka University

Recently, animation of human motion with computer graphics is used in many software application fields. However, it is difficult to create dynamically human motion animation due to computational complexity. This paper describes a new algorithm which can create automatically human walking animation with Sensor-Actuator Networks. In this experiment, we have checked we can animate human motion easily with changing control parameters.

1 はじめに

コンピュータグラフィックスの発達により、リアルなアニメーション画像が映画やゲームなどいろいろな所で利用されている。特に人間の動きのCGアニメーションは最近さまざまな分野でよく利用されて注目を集めている。

人体のアニメーションの生成方法としては、モーションキャプチャーにより3次元データを取り、そのとおりの動きを作り出す方法や、逆運動学、動力学を利用した方法などがある。

しかし、多関節である人体の動きを生成するには、いろいろな問題点が残っている。決まった動きのアニメーションをリアルに作り出す場合にはモーションキャプチャーが有効であるが、多様な動きを作る場合には、データを取る手間がかかり、データ量も多くなる。また逆運動学は全体のバランスをとるのが困難であり、動力学による方法では計算量が多くなるとともに不連続部分の安定性が問題になる。そこで、我々はパラメータを変えることで簡単にいろいろな動き方ができるCGアニメーションの自動化の手法の開発を目指している。

仮想生物の形態や動きのコントロール系をどんどん進化させて、いろいろな動きのCGアニメーションを自動生成する研究が行われている^[1]。

本論文では、同様な考えに基づき人間の歩行運動を自動生成するためにセンサーアクチュエータネットワーク^[2]をどのように利用すればいいかを考え、また遺伝的アルゴリズムを用いることによって、人間の様々な歩行パターンを作り出すパラメータを見つける手法について述べる。

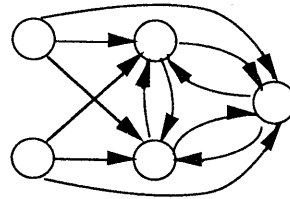
2節ではセンサーアクチュエータネットワークの説明を、3節ではセンサーアクチュエータネットワークを利用した歩行動作の生成方法を、4節では遺伝的アルゴリズムによるパラメータの探索方法を説明し、5節で実験結果を示して、6節でまとめを行う。

2 センサーアクチュエータ ネット

文献[2]で述べられているセンサーアクチュエータネットワークについて簡単に説明を行う。

2.1 ネットの構成

センサーアクチュエータネットワークはニューラルネットワークの用にノードと結合で構成されている。ノードにはセンサノードと隠れノードとアクチュエータノードがある。センサノードと同じ数だけ隠れノードを作る。センサノードの出力は全ての隠れノードとアクチュエータノードに結合し、隠れノードとアクチュエータノードの出力は互いに結合し合っている。図1に簡単なネットワークの例を示す。センサノードの出力はセンサの出力と同じである。隠れノードとアクチュエータノードの出力は図2に示す関数で1か0が出力される。結合には-2から2までの整数の重みがつけられる。この重みを変えることにより、モデルの動き方が変化する。k1とk2はノードの出力が変化するときの時間遅れをコントロールする係数である。



センサノード 隠れノード アクチュエータノード

図1 センサ-アクチュエータ ネット

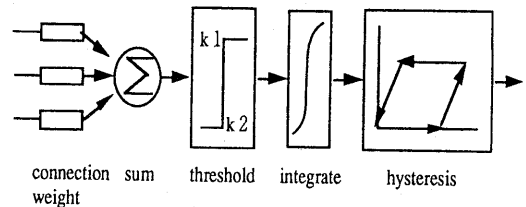


図2 隠れノードとアクチュエータノードの関数

2.2 センサ

センサとして、タッチセンサとアングルセンサを用いる。タッチセンサは地面に接しているかどうかを検出する。地面に接していれば1を接していないければ0を出力する。アングルセンサはあらかじめ設定された角度の範囲まで関節が曲がっているかどうかを検出する。曲がっていれば1を曲がっていないければ0を出力する。

2.3 アクチュエータ

アクチュエータは目標角まで関節を曲げるトルクを発生させる。トルクを与える式は

$$T = k_s(\theta_d - \theta) - k_d\dot{\theta} \quad (1)$$

である。 k_s と k_d は定数で、 θ_d は目標角が与えられる。関節の角度が目標角から離れている程大きな力が、角速度が大きければそれを抑えようとする力が生じる。目標角はアクチュエータノードの入力値によって決まる。アクチュエータには目標角の最大値と最小値が設定されており-2から2までに制限された入力値をマッピングした値が目標角となり、トルクが算出される。

2.4 ネットの評価

リンクと関節で構成される仮想生物の形、センサやアクチュエータの位置、数を人間が考える。センサの範囲などのパラメータもあらかじめ与えておく。ネットの重みをランダムに与え、物理シミュレーションをしたときの一定時間の移動距離を評価として移動距離が大きくなる重みの組み合わせを見つける。見つかった重みの組み合わせに対し、パラメータを変化させたものを物理シミュレーションをして評価がよくなるようにパラメータを調節する。

2.5 ネットの問題点

センサーアクチュエータネットには、以下のような問題点がある。

重みの組み合わせの数がかなり大きいのでよい結果が得られる可能性は低く、仮想生

物の構造が複雑になると、よい結果を得るのが困難になる。

センサーアクチュエータネットにより生成した動きはコントロールできないので、キーフレーム方式の様に決まった動きを作ることはできない。

モデルの設定の仕方が悪ければうまく動く重みの組み合わせが存在しない可能性もある。

3 センサーアクチュエータ ネットによる歩行動作の生成

2.4で述べたようにセンサーアクチュエータネットを使っても、人間の動きを生成するのは大変難しい。また、ある程度の動きが生成できたとしても、動きの制御方をわからなければ利用できない。本論文では、人体の動きを歩行動作に限定し、人間らしい歩行をする可能性が高くなるような変更をセンサーアクチュエータネットに加え、パラメータや重みを変えることにより、違った動きが生成できるように考えた。また、センサーアクチュエータネットは構造が複雑なモデルを扱うと、よい結果が得られないので、モデルをシンプルなものにする。

3.1 モデル

歩行運動に限定したので、図3に示す下半身だけの簡単なモデルを扱う。タッチセンサを両足の先につける。アングルセンサを左右の足それぞれの股関節の前後、膝関節の後方につける。アクチュエータを各関節につける。従って、このモデルは8-8-4のネットにより動きが制御される。図3のL1~L5はリンク、A1~A4はアクチュエータ、S1,S2はタッチセンサ、S3~S6はアングルセンサを示す。

人間のような動きをさせるためにモデルを以下の様に設定する。リンクには重さを設定するのだが、腰には仮想的に上半身があるものとして上半身の重さを加える。膝の関節が逆に曲がらないように関節の曲げることができる角度の範囲を設定しておく。腰から順に階層的につながっていて、関節の角度変化が上位から下位に伝わるものとし、腰は前後に傾かないものとする。

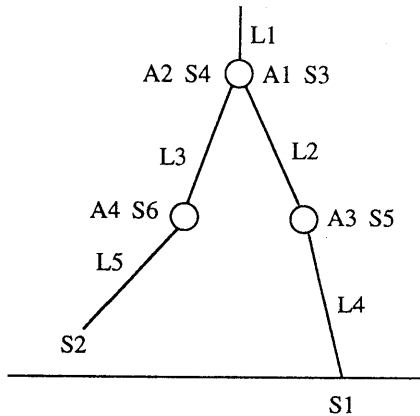


図3 下半身モデル

3.2 歩行運動の計算

歩行運動だけを対象として、簡単な計算式でモデルの動きを計算する。各関節に発生するトルクと重力による回転運動だけを考慮して各関節ごとに運動方程式を立てる。歩行運動は片方の足が必ず地面に着いているのでモデルも片方の足が地面に着いていてその足を基準として各関節の位置が変化するものとする。地面に着いた足は地面を滑ることはないとし、摩擦は考慮しない。実際には両足が地面に着くことがあるのだが、両足が地面に着いたままモデルを動かすには、逆キネマティクスを用いなければならない。そこで、もう一方の足が地面に着いた瞬間に地面に着いていた足が浮き上がるものとして計算することにする。地面に着いている足を軸足、浮いている足を振り足として軸足の時と振り足の時で運動方程式を変えて計算を行う。

3.3 歩行運動のためのネットの改良

センサーアクチュエータネットを利用して人間の歩行を生成する場合の問題点を考え、人間らしい歩行に近づくようにシステムに変更を加える。

人間は左右の足を協調させて歩行を行う。しかし、センサーアクチュエータネットは重みの変化により、どのような動き方をするのかはまったくわからない。望むような歩行してくれる重みの組み合わせが見つかるかも

しれないが可能性は低い。そこで、システムを変更することで、左右の足をバランスよく変化させて、協調した歩行を生成されやすくする。

3.3.1 ネットの対称化

人間は歩行するとき、左右の足を交互に前に出す。この時、位相は異なっているがほぼ同じ動きを左右の足が行う。左右の足の状態が左右逆になれば、発生するトルクも左右逆になるようにしたい。そのために、ネットを左右対称にする。ネットのセンサノードやアクチュエータノードは左足、右足についているものである。隠れノードもセンサの数と同数としているので半分は右足、もう半分は左足に対応していると考えられる。そこで、対になっている結合の重みを同じにすることで左右の入力が逆になれば、出力も逆になるようにする。こうすることによって、重みの数は半分になるので組み合わせの数をかなり少なくすることができる。

3.3.2 軸足、振り足への対応

左右の足のバランスをとるためには、軸足と振り足のバランスも考慮しなくてはならない。軸足は上半身を支えなくてはならないので、当然、軸足の関節に発生するトルクは振り足のそれよりも大きくなるべきではない。そこで、トルクの大きさを決める定数の k_s と k_f を変えればよい。振り足の k_s 、 k_f に何倍かしたものを軸足で用いた。

また、軸足と振り足では曲げる角度の範囲が異なると考えられるので、センサやアクチュエータの目標角の範囲を軸足と振り足とでそれぞれ2つずつ設定しておく。

3.3.3 トルクの式の変更

トルクを与える式は(1)式で示されているが、この式はトルクが発生する関節の状態だけで決まる。普通、人間は膝を伸ばした状態では力が入りにくいが、(1)式をそのまま使ったら、膝を伸ばしたままでも平気で動くことが可能である。膝を伸ばした状態に近いかどうかを見て、近

い場合は膝をまっすぐに伸ばしていればいるほど力がでないようにする。

また、(1)式は関節の角度が目標角に近づくのとトルクが0に近づくので重力と逆向きの運動ができなくなり、振り足は目標角まで振り上げることができず、軸足は目標角で体を支えることができない。

振り足の場合は足を振り上げる時、軸足の場合は倒れ始めた時に補助的な力を加えることにする。

4 GAによるネットの最適化

左右の足のバランスをとるためにシステムを変更した。しかし、バランスがとれるかどうかはパラメータと重みの組み合わせによるところが大きいと考えられる。人間が調節するのは手間がかかるし、最適な歩き方のパラメータが一意に決まるわけではない。また、探索空間が膨大であるため全てを探索するのは不可能なので遺伝的アルゴリズムを使って人間らしく歩くことのできるパラメータと重みの組み合わせを見つける。

パラメータには遅れをコントロールする係数 (k_1 , k_2)、軸足と振り足の k_a , k_d 、アングルセンサの範囲、アクチュエータの目標値の最大値、最小値がある。これらの各パラメータに相当する部分と重みの一つ一つに相当する部分からなる遺伝子をランダムに生成し、シミュレーションをして評価をする。そして評価の高いものが交叉や突然変異などをしながら生き残るようにする。

評価の方法として、膝や腰の位置が低すぎるものは歩き方が不自然すぎるものとして除外する。一定時間で歩いた距離があるしきい値より高いものは高い評価を得る。さらに、入力した歩幅に近ければ近い程高い評価を得るようにする。

5 実験

5段階の歩幅の入力を行った。1つの歩幅に対し、1000個の集団を作り、100世代まで進化を繰り返した。入力した歩幅で歩くアニメーションが生成された。また、一つの歩幅でも歩き方がパラメータと重みの組み合わせによって異なったものとなった。歩幅

は同じだが歩き方の違いを図4に示す。しかし、中には評価が高くて歩き方が不自然なものもあった。これは、入力した歩幅で歩く以外は歩き方を指定せずにいろいろな歩き方を生成するものなので、最後はやはり人間が見て気に入った歩き方を利用すればよいと考えられる。

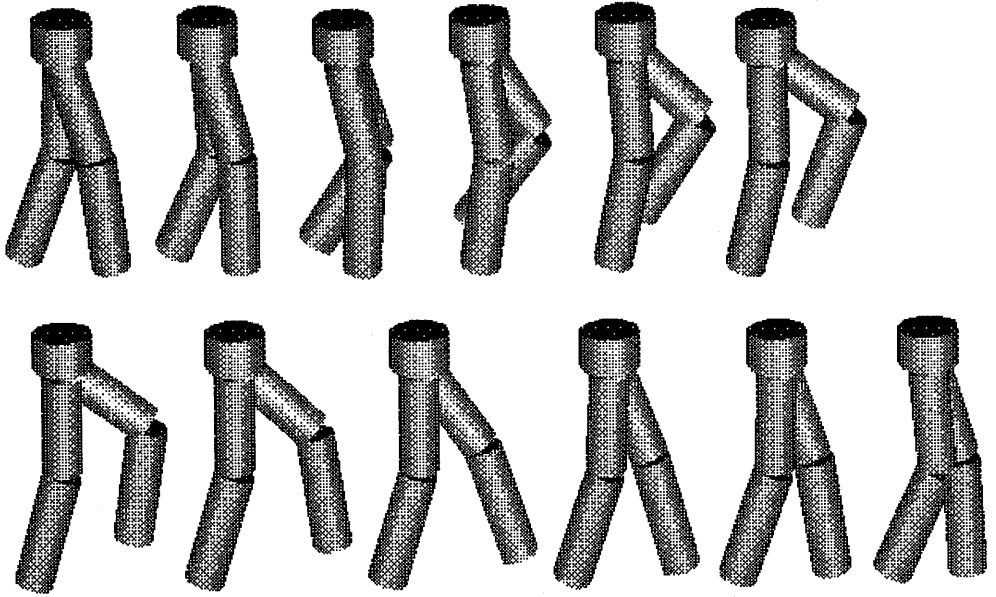
6 まとめ

センサーアクチュエータネットを用いて人間の歩行のアニメーションを生成する時の問題点を考え、人間のような歩行を生成しやすいようなアルゴリズムを提案した。その結果、入力した歩幅に対して、いろいろな歩き方をするパラメータと重みの組み合わせを遺伝的アルゴリズムにより見つけた。

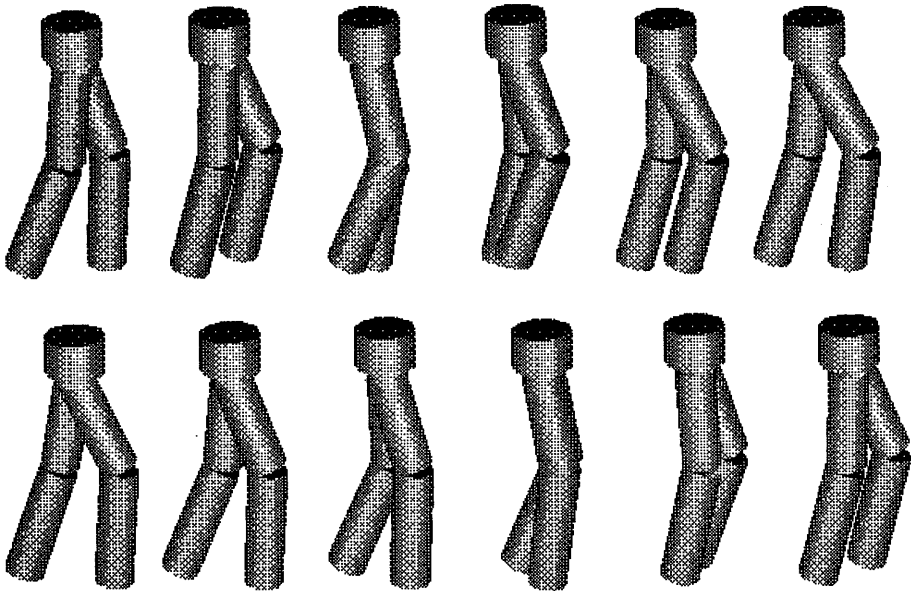
今回は、歩行運動だけを生成するものとして、運動方程式を歩行にあわせた簡単なものを用いたがこのままでは拡張性がない。歩き方が変わるだけでなく、パラメータと重みの組み合わせを変えることにより、歩いたり、走ったりすることができるようにアルゴリズムを変えていく予定である。

参考文献

- [1] K.Sims., "Evolving Virtual Creatures", Computer Graphics, Annual Conference Series, 1994, pp. 15-22.
- [2] van de Panne, M., and Fiume, E., "Sensor-Actuator Networks", Computer Graphics, Annual Conference Series, 1993, pp. 335-342.



パターン1



パターン2

図4 同じ歩幅の違う歩行パターン