

遺伝的アルゴリズムを用いた 2 足歩行ロボットの歩行制御

廿野直道 古賀克也 神林靖

日本工業大学 工学部 情報工学科

1. はじめに

近年、ロボット開発は様々な分野で行われている。中でも、遊びの分野ではホビー向けロボット等の登場により、低価格でロボットを手に入れることが出来るようになった。企業の技術力のアピールにおいても歩行等の動作に加えて、自転車の運転や、楽器を演奏する等、ロボットが何かを表現する場合も多く見られるようになって来た。ロボットが少しずつ日常に成りつつあるように思われる。

2. 研究内容

二足歩行ロボットの歩行には静歩行と動歩行がある。静歩行は重心が常に足裏内に収まるようにロボットを制御する方法があり、特徴としては、常に安定しているが歩行スピードが出ないという点が上げられる。膝を曲げて歩くロボットの多くがこの静歩行である。これに対し動歩行では、積極的に重心を移動させ不安定な状態を作り出すが、結果として転倒せず素早い歩行が可能になる。このとき、動的に安定して歩行するには、重心点と同じような概念が必要となる。一般に、これを ZMP (Zero Moment Point) と呼ぶ。ロボットの重心まわりの総モーメントが ZMP と床反力から得られるモーメントと釣り合う点である。ZMP が、重心と同じように、足裏平面によって構成される多角形内に収まっていれば、ロボットは安定して動的歩行をすることができる。

動的な歩行を実現させるために ZMP を満たすような運動軌道を求めることは、非線形で、干渉のある二階線形微分方程式を解くことになり、解の冗長性、関節による各リンクの運動の問題もあり、困難である。静歩行ならば、任意の時間に対して各パラメータを計算することで歩行のモーションを作ることも不可能ではないが、動歩行となると不安定な時間も計算しなくてはならないため、非常に複雑な計算を必要とする上に、必要となるパラメータも増えるため、人の手で行うのはほぼ不可能である。[1][2]

本研究では、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms, GA) を用いることによって、理想とする重心移動を満たす、動歩行の歩行モーションを求めるを試みた。HONDA 等のロボットではリアルタイムで計算された ZMP と目標となる ZMP の差を検出し、歩行に修正を加えることが出来るが、小型のロボットで実現している例は無い。人間とロボットでは重心、体のバランス、関節の数、自由度とその可動範囲等、様々な差があり、人間を真似るだけではロボットに適した歩行モーションは得られない。そこで人間の自然な動きを模倣するパラメータを生成し、その中からロボットに適した関節の可動のリズムを探すことで動歩行を目指す。またその補助として、モーションを再生する際には、感圧センサと傾きセンサからのフィードバックを用いる。

Controlling Biped Robot Walkig by Using a Genetic Algrithum

Naomichi Tsuzuno

Katsuya Koga

Yasushi Kambayashi

3. 遺伝的アルゴリズム

GA はダーウィンの「種の起源」の考えをアルゴリズム化したもので、与えられた自然環境の中で個体集団の各個体が交叉、突然変異を繰り返しながら、自然環境によく適合する個体ほど生き残り、子孫を増やすことができるアルゴリズムである。確率的探索、学習、最適化の一手法と考えることができる。

生物には、染色体が遺伝情報を伝える実体として存在している。GA ではこれをデータ領域や配列として扱い、選択 (selection)、交叉 (crossover)、突然変異 (mutation) の処理をすることで生物の進化をシミュレートして、近似的な最適解を得る[2]。具体的には、次のとおり。

- 1) 潜在的な解 (歩行パターン) を表現する染色体を定義し、それを分割したものを遺伝子と呼ぶ。解の候補として生成された遺伝子は遺伝子プールに蓄えられる。
- 2) 遺伝子プールを二つ用意し、一つを主遺伝子プール、もう一つを予備遺伝子プールとして使う。主遺伝子プールに十分な数の個体を発生させる。染色体の初期値は問題に適したコード化をし、ランダムに決める。
- 3) 主遺伝子プールの中から、決められた選択基準に従って親を二個体決める。
- 4) 親の間で、交叉という遺伝子の部分的な交換や突然変異といった遺伝的操作を行って子供二個体を生成する。必ずしも二個体でなくてもよいが、一般的に二個体ということになっている。
- 5) 新たに生まれた固体を予備遺伝子プールへ格納する。予備遺伝子プールが親の個体数と同じになるまで、3) から繰り返す。
- 6) 個体の数が同じになったら予備遺伝子プールから主遺伝子プールへ移す。このとき旧世代は全て、新世代に置き換わることになる。
- 7) 事前に設定した終了条件を調べて、終了していなければ 3) から繰り返す。終了条件は通常繰り返し回数をあらかじめ与えておくことで調べる。

4. GA のコーディング

遺伝子は、歩行の 1 サイクルの時間、関節の回転角、各モーションの動作時間により構成されている。回転角と動作時間を必要とする動作分を 1 セットにし、固体として配列に格納し、個体数 n 体になるまで繰り返す。(表 1 参照)

cycle	1 サイクルにかかる時間
serve_value[x]	関節の動作角
time_value[y]	各関節の各動作時間
r_time_value[y]	time_value を実際の時間に変換
fitness	適応度

表 1 染色体の構造

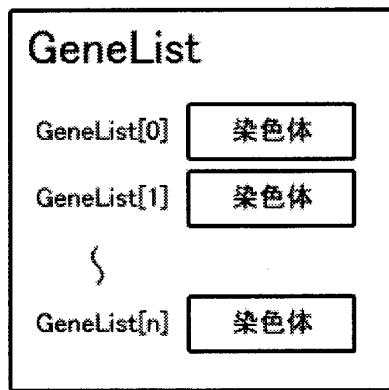


図1 GeneListの構造

生成される個体は致死遺伝子か否かをチェックされた後に動的配列であるGeneListに記録される。(図1参照)

生成された個体から、ランダムに2体を選出し、1点交叉で交叉する。最大で個体数の20%に達するまで、ランダムで m 回繰り返し $m*2$ 体の個体を生成する。生成された個体を個体群の配列に追加していく。この時点で $n+m*2$ 体の個体が存在することになる。

評価を行うために、致死遺伝子の発見と個体ごとの適応度の算出を行う。明確に理想的な姿勢を計算では出すことが出来ないため、人間を理想として、各値の理想からのズレを記録し、閾値との差から適応度を算出する。各関節の曲げ具合、前傾姿勢、関節の動作タイミングなどを参考に評価する。全ての個体が評価されたら個体群の配列をソートし記録する。

選択と淘汰ではルーレット選択とエリート選択を組み合わせで行う。ルーレット部では各個体の適応度の割合に対して当選確率を定め、高い適応度ほど選択される確率が上がることになる。個体数の約5割がルーレットで選択され、残りの $n+m*2$ 体から、個体数が初期値の n になるまでエリート選択により適応度順に選択される。[1][2]

以上の操作を任意の回数繰り返し解を得る。

5. ロボットと歩行パターン

実験に使用したロボットは図1のロボットで、今回は脚部についてだけ考え、上半身を一つの剛体として重心を計算し実験を行った。[3]

両足に4点で測定する感圧センサがそれぞれ取り付けられており、上体の傾きを検出するために上半身には3軸加速度センサが取り付けられている。

片足5自由度の脚式ロボットで、片足の自由度の構成は、roll軸が2自由度、Pitch軸が3自由度となっている。

予備実験を行ったところ、モーションが生成できても直立状態からの一歩目でバランスを崩してしまう恐れがあったため、初期位置は直立状態ではなく、GAによって生成された歩行モーションの初期位置とする。実験では専用ハンガーを用いて、モーションの再生中に地面に下ろし連続して歩行が可能かどうかを観察した。

歩行パターンは右足を前に向かって振り上げてから再び同じ位置に戻ってくるまでのモーションを1サイクルとしてGAで生成し、そのモーションを連続再生させる。

6. 最適解の決定条件

ロボットの姿勢について人間を目標に比較的緩い条件を幾つか設定する。また人間の姿勢は、Eadweard Muybridgeの作品を参考にした。[3][4][5](図2参照)

- 1 動歩行の条件を満たしている
- 2 常に前傾姿勢である
- 3 後ろ足のキックをしている
- 4 膝を伸ばして歩行している

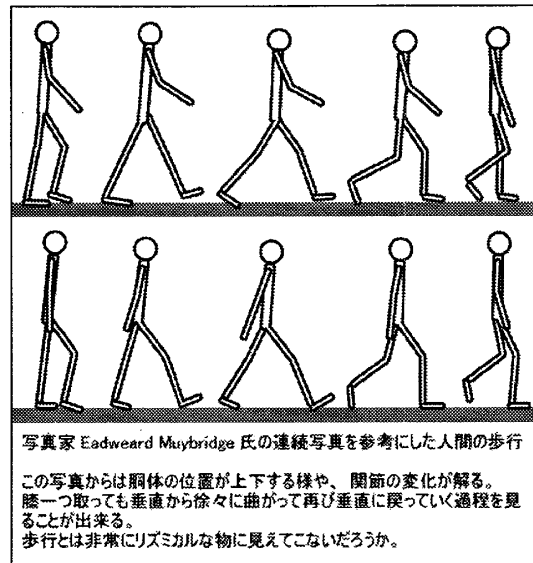


図2 Eadweard Muybridgeの連続写真

以上の条件を満たし、尚且つ歩行が可能な個体を最適解とする。

7. 考察

任意の一定の時間ごとに姿勢を模索する方法に比べて、自然な歩行姿勢を容易に生成することが出来る事が確認できた。

足裏の平行処理や重心、姿勢といった細かな部分の評価関数によっては膝が極端に曲がり辛くなる等の問題も見られた。これは足の裏の平行の安定性や、姿勢の保持と言った部分が安定しているということが、リズムカルでスマートな歩行姿勢とイコールであるとは限らないという点にある。

スムーズな四肢の動きの反面、本研究の方法では全てのサーボが常に動いている状態になるため、力の掛かる部分のサーボの保持が弱くなる等の問題が見られた。特に股関節に掛かる負荷が大きく股間を内側に絞める際に電流の上昇、そして上昇に伴ってサーボ角が異常な値になることがある。こうした点はサーボ角の変化の少ない時間帯を閾値以下は停止することである程度緩和出来るのではないと思われる。

センサーによるフィードバックにも改善すべき点があり、生成された歩行モーションによって、フィードバックを利用する際の閾値、タイミング、角度修正の度合い等を可変にしないとはならないということである。どの程度の動作で、どの程度の反応を見せるのか、という調整がGAの性質上定まり難いため、フィードバックに関しては違った方法を考える必要があると思われる。

参考文献

- [1] 原田義邦, 村松琢司, 神林靖. 遺伝的アルゴリズムを用いた2足歩行ロボットの制御. 情報処理学会第67回全国大会講演会論文集(2), pp. 223-224,
- [2] 玉秀列, 遺伝的プログラミングを用いた2足歩行運動生成に関する研究, 筑波大学, 工学研究科
- [3] 梶田秀司, 比留川博久, 横井一仁, 原田研介, ヒューマノイドロボット, オーム社
- [4] 伊藤一之, 図解ロボット技術入門シリーズロボットインテリジェンス, オーム社
- [5] Eadweard J. Muybridge, E. Bradford Burns, *Eadweard Muybridge in Guatemala, 1875*, Univ of California Press, 1987