

遺伝的アルゴリズムによる多脚ロボット制御プログラムの改良

済美平成中等教育学校 自然科学部 甲殻類型ロボット開発班

忽那 将臣 藤川 薫 越智 勇晴 山下 宗一郎 指導者 門屋 孝明 八木 映樹



はじめに：先行研究と研究目標

- 現在、複雑な地形で高い移動性能をもつ歩行型ロボットが注目されているが、制御の複雑さなどが課題となっている。
- 8本の歩脚をもつアカテガニ**は急斜面や砂利地などの歩行ができるため、バイオミメティクスの材料として注目した。
- 人の手で細かく角度を測定して指定していた歩行プログラムには無駄な動き、機械的な動きがみられた。
- そこでプログラムをよりカニの動きに類似させるため、遺伝的アルゴリズム(GA)の導入により最適化を試みた。

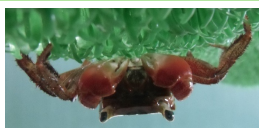


図1：傾斜角180度に捕まるアカテガニ

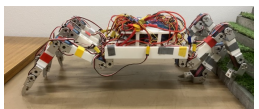


図2：階段につかえているカニ型ロボット

歩行関数の作製

- カニを複数の環境で歩かせた様子を撮影する。
- 動画のフレームごとに、カニの上下の運動を担う3つの関節の屈曲・伸展の角度を計算した。
- アノテーションソフト(LabelMe)やPythonを使い、各関節の角度を時系列データとして計測・関数化する。

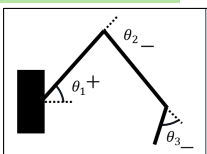
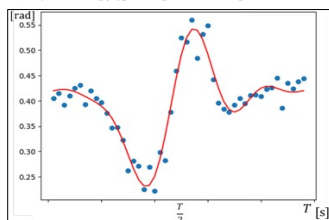


図3：測定した角度

- 分析データに離散時間フーリエ解析を適用し、得られた近似関数(以降、これを歩行関数という)をプログラムで用いることで、滑らかな動きを再現した。

$$f_1(t) = 0.3963 + 0.011\cos(t) - 0.056\sin(t) + 0.038\cos(2t) + 0.058\sin(2t) - 0.034\cos(3t) - 0.039\sin(3t) + 0.010\cos(4t) + 0.018\sin(4t)$$



水平面の運動で得られた関数の例

図4：得られた歩行関数とグラフ

遺伝的アルゴリズムによる学習

- 物理シミュレーション「Webots」上で**遺伝的アルゴリズム(GA)**を用いて**プログラムを学習**させる。
- 図5：Webots上で作製した個体
- OGAとは、生物が環境に適応して「進化」していくプロセス(優れた遺伝子が残る)を、コンピュータで模倣する技術である。



図5：Webots上で作製した個体

- ①「歩き方のプログラム」をもつ個体を1世代16個体作製する。
- ②シミュレータで動かし、評価する。
- ③評価が高いプログラムだけを選択して残し、それらを組み合わせて交叉・突然変異の後、次の世代を作る。
- ④①～③を繰り返し、プログラムを自動で「進化」させ、ロボットにとって「最も上手に歩ける最適なプログラム」を見つけ出す。

※選択方式はランダムな2個体におけるトーナメント選択とした。交叉は二点交叉とし、その確率は50%とした。突然変異の発生確率は10%とした。繰り返した世代数は50世代とした。

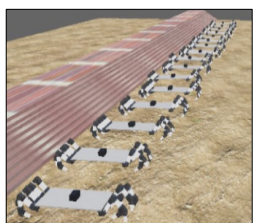


図6：遺伝的アルゴリズムを行っている様子

- 図4の歩行関数は、GAによる学習後、図8のように**変化した**。

$$F_1(t) = 0.3834 + 0.0293\cos(t) - 0.0655\sin(t) + 0.0871\cos(2t) + 0.0148\sin(2t) + 0.0779\cos(3t) - 0.0704\sin(3t) + 0.0284\cos(4t) + 0.0247\sin(4t)$$

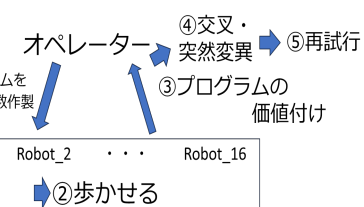


図7：GAのサイクル

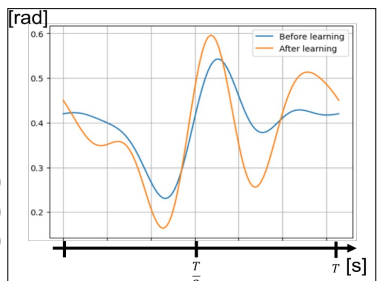


図8：GAによる学習後の歩行関数とグラフ

GAによるプログラム改変の評価

- GAで複数のプログラムを作製し、歩行プログラムの性能を比較する実験を行った。
 - プログラムJ・L・M・NはプログラムKをGA学習して作製した。
- プログラムI：機械的な歩行
プログラムJ：GA学習(水平面)後の歩行
プログラムK：カニの歩行関数に基づく歩行
プログラムL：GA学習(斜面30度上り)後の歩行
プログラムM：GA学習(斜面30度下り)後の歩行
プログラムN：GA学習(階段)後の歩行

図9：作製したプログラム



図10：プログラムJで坂(20°)に登る(左)と水平移動の様子(右)

実験結果	プログラムI	プログラムJ	プログラムK	プログラムL	プログラムM	プログラムN
1 歩行 - 赤玉土	W	N	W	W	W	W
2 歩行 - 砂利	W	PW	PW	W	W	W
3 階段	PW	N	PW	N	PW	N
4 ボール	W	W	W	W	W	W
5 坂 - 上り	30°	20°	30°	20°	20°	30°
6 坂 - 進行方向右上	0°	5°	10°	5°	5°	5°
7 坂 - 下り	50°	40°	65°	50°	45°	50°
8 坂 - 静止	65°	75°	65°	65°	60°	55°
9 旋回	0°	10°	0°	34°	42°	35°
10 歩行時間s/m	16.5	14.29	23.16	24.1	21.92	25.3
プログラム	3	4	3	3	4	4

表1：評価実験の結果

実験1～4では歩行可能: W, 部分的に歩行可能: PW, 歩行不能: Nで表す。

※旋回や1m走など性能が上がった部分を赤枠で表す。

- プログラムJでは、**生物的で滑らかな動きを再現**し、平地1mを約14秒で歩行し、**最も速かった**。傾斜20°の斜面を上ることができ、75°では静止、40°では下ることが可能だった。バスケットボールを当てても安定して歩行した。一方で、砂利や土の山、階段を歩行できず、旋回時に位置がずれる課題が残った。
- プログラムMは階段の歩行を目的としたが、1段目までしか進めなかった。しかし、**旋回実験では最も良好な結果**を示し、約40°の旋回が可能であった。

考察と結論

- すべてのプログラムで生物的で滑らかな動きが再現され、衝撃や損傷を抑えていた。各プログラムは斜面の下りに適しており、脚先が地面から離れる時間が短く安定した歩行を実現した。
- プログラムJはKより約9秒速く、歩行が安定している様子が見られ、GAによる最適化の有用性が示された。
- プログラムLは斜面の歩行を目的として作製したが、Jと差がなくさらに、Kよりも上ることができ斜面の角度が下がっていた。今後は選抜方法を工夫する必要がある。
- プログラムMは下り斜面でJより良好だったが、Kよりも下り斜面で性能が低下していた。シミュレーション勾配の設定が実環境より緩かった可能性がある。しかし、**旋回性が向上していた**。
- プログラムNは階段歩行を学習したが、現実では成功せず、より精密なシミュレーション環境が必要とされた。

○作製したプログラムは脚を上げる角度が小さくなり、**よりカニに近づいた歩行が観察された**。

○いくつかのプログラムにおいて**速度や旋回性能などが向上した**。

⇒**関節が多く協調動作が必要な多脚ロボットの歩行性能の改良に遺伝的アルゴリズムは有用である可能性**が示唆された。

謝辞

本論文の作成にあたり、丁寧な指導をしてくださった顧問の門屋先生、八木先生に感謝します。また、研究メンバーとは活発な議論を通じ学びを深めました。

主な参考文献

- 「初心者」Pythonでのフーリエ変換(FFT)の方法と注意点. Qita.
- 一般社団法人生成AI活用普及協会、「遺伝的アルゴリズムとは?」. Generative AI