

進化的計算による歩行機械の足形状決定に基づいた 実世界からのフィードバックによる最適化手法の提案

Proposal of optimization method by real world feedback
based on foot shape determination of walking machine by evolutionary computation

中村 亮太^{*1}
Ryota Nakamura

井上 聡^{*1*2}
Satoru Inoue

^{*1} 埼玉工業大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Saitama Institute of
Technology

^{*2} 埼玉工業大学
Saitama Institute of Technology

Several kinds of model to solve the problem existing in the real world have been proposed. On the other hand, it is difficult to infer the elements and measure the physical quantities which are necessary for simulation. We propose a system that searches solutions for specific problem by the real world feedback. As an example, we attempted to improve the function of walking machine by modifying its shape of foot based on the real world feedback method.

1. はじめに

これまで、計算機によって実世界の問題を解決しようとする試みは数多く存在してきた。たとえば、機械の動作をコンピュータ上で再現し、それを最適化するためのシミュレーションを行うことが考えられる。この方法は物理的に制約がある場合や、コスト面で実現が難しい場合に有用だが、実世界のような複雑な環境を再現し、適切にモデル化することは困難である。

そこで、本研究では機械を実際に動作させた結果を基にした、進化的計算による反復開発を提案する。これは、物理的シミュレーションに、遺伝的アルゴリズムによる解の探索を加えたものである。ここでは単純な例として、「歩行機械をより速く歩かせる」という目標に対し「足形状の最適化」という方法を採用した。この場合において、本手法がどのように機能するのかを考察する。

2. 研究目的

物理的な実体が稼働するシステムでは、関係する物理法則を推定し、必要なデータ(質量、摩擦、寸法など)を計測する必要がある。さらに、連続した現象を離散的に扱う場合、誤差の見積もりが必要となる。このように、実世界の実体に対するコンピュータ・シミュレーションには多くの課題が存在する。そこで、人間の推測によって結果が左右されるコンピュータ・シミュレーションに対して、前提とする知識に依存しない新たな開発手法が必要と考えられる。

本研究では、そのような手法の具体的な例として、小型の歩行機械の性能を改善するシステムを構築した。機械を動作させた結果のフィードバックによって解が改善することを確認し、この手法が有用であることを示す。さらに、人間が気づかない因子によって性能が改善する可能性についても考察する。

3. システムの構成

実世界で稼働する機械の中でも、歩行を行うものの挙動は複

雑であり、性能を改善するうえで先述の手法が有用だと考えた。そこで本研究では、小型の歩行機械を用いて、その足部分に装着するパーツの形状を変化させていき、歩行性能を改善するシステムを開発した。

解の探索には遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm; 以下 GA) を用いた。これは生物の進化を模倣し近似解を探索するアルゴリズムであり、特定の問題に依存せず、遺伝子の表現の仕方によっては様々な問題に適用可能である。本システムでは、関係する物理法則の推定を行わず、GA を適用する際に必要な「遺伝子型と表現型」、「適応度」、「遺伝的操作」の各要素のみを決定する。

3.1 遺伝子型と表現型

本システムでは、歩行機械の脚部先端に装着する「足」の形状を変化させる。前後にそれぞれに2つずつ、1個体につき4つの足パーツを用いる。遺伝子型は長さ 18 の整数列とし、10~60 までの整数 18 個が、前足、後ろ足にそれぞれ 9 つずつ割り当てられる(左右は対象とする)。それぞれの「足」を縦に 8 分割し、割り当てられた数値を足の接合部分からの長さとして当てはめていく(図 3.1)。これを 3D モデルに変換し、3D プリントしたものが表現型となる。ここではラピッドプロトタイピングの手段として熱溶解式 3D プリンタを使用した。3D プリンタを使用することで、遺伝子データから一意的にパーツを製造することが可能である。

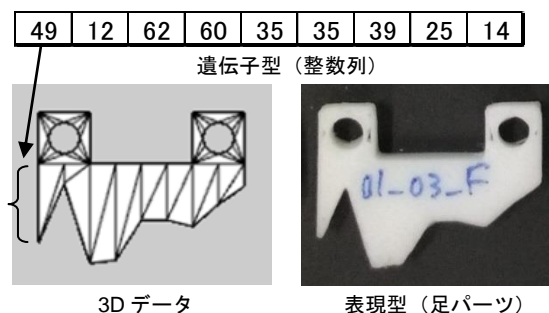


図 3.1 遺伝子型から表現型への変換

3.2 適応度の設定および測定方法

歩行機械の動作には様々な評価方法が考えられるが、ここでは最も単純なものとして走行タイムを評価値として採用した。製造した足パーツを装着した歩行機械を走らせ、一定距離を走り終えるまでの時間を計測する(図 3.2)。完走するまでにかかった時間が短いほどより優秀な個体として適応度(スコア)を高く設定する。これを1世代の個体数分行う。また、本実験では円形のコースを3周走るまでにかかった時間を測定した(図 3.3)。同じコースを3周走らせるのは、測定開始時と終了時の誤差を減らすための工夫である。



図 3.2 本研究に用いた歩行機械(足パーツを装着したもの)

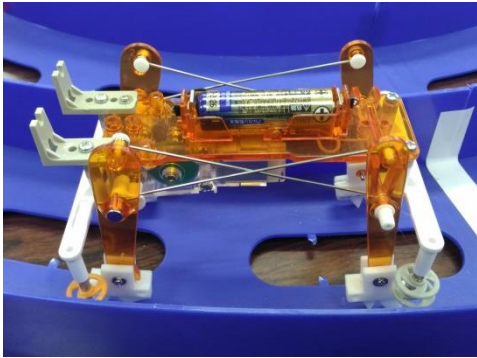


図 3.3 走行タイム測定の様子

3.3 遺伝的操作

集団サイズは、初期集団のみ 42 個体、以降の世代は 10 個体とした。選択方式はエリート保存しないルーレット選択方式とし、交叉は前足と後ろ足で別々の1点交叉とした。これは、歩行機械の前足と後ろ足にかかる力はそれぞれ異なり、前後のパーツの遺伝子を交叉させるのは無意味だと判断したためである。また、突然変異として生成された個体の各遺伝子を 5%の確率で別のランダムな値に置き換えた。

4. 結果と考察

ランダムな遺伝子データから初期集団を作成したのち、走行タイムの計測、遺伝的操作、次世代の生成を繰り返した。第4世代目において、集団の遺伝子データがほぼ一様な状態になったため、この試行から1つの解が導かれたと判断した(図 4.1)。

0	26	63	53	60	27	35	39	25	50	36	43	55	50	16	28	21	22	10
1	26	63	53	60	27	35	39	25	50	36	43	55	50	16	28	21	22	10
2	26	63	35	60	27	35	39	25	50	36	43	55	50	16	28	21	22	10
3	26	53	23	35	43	47	28	41	22	42	16	19	50	16	28	21	22	10
⋮																		
8	26	63	23	35	43	14	15	13	14	61	43	55	50	16	28	21	22	10
9	30	63	53	60	27	35	39	25	14	61	43	55	50	16	28	21	22	10

図 4.1 第4世代での遺伝子データ
(左端の数字は個体を識別する符号)

本試行では、関係する物理法則の推定、必要な量を計測することなく、1つの解を導き出すことができたといえる。これにより、実際に動作させた結果を基にした進化的計算による反復開発が可能であることを実験的に示すことができた。

しかし、前提とする知識は必要としないものの、遺伝子型と表現型の対応や、遺伝的操作に用いるパラメータについては熟考する必要がある。特に、本試行では遺伝的操作の初期段階で解が収束してしまったという問題がある。これは遺伝的アルゴリズムの問題点の1つである「初期収束」であり、適応度が高い個体の遺伝子が集団の大部分を占めてしまうことにより発生する。それにより、探索範囲が限定されてしまい、局所解に陥ってしまう。これに対する解決策としては、ルーレット選択の設定を変更する、突然変異率を上げる、集団の数を増やすことなどが考えられる。

5. 今後の展開

本試行では、3D プリンタによるパーツの製造、遺伝的アルゴリズムによる解の探索は自動的に行うことができたが、走行タイムの計測は手作業で行った。この方法では集団サイズや世代数に比例して作業に要する時間と労力が増大するため、このルーチンは自動化する必要がある。システムの大部分を自動化することができれば、より長期的に運用することが可能になると考えられる。

また、本試行では条件を簡単にするために、1つの評価値と1つの表現型を対応付けたが、複数の評価値と複数の表現型を対応付けることもできる。例として、本試行においては足パーツが接地しない(歩行に影響がない)部分が残っていたが、パーツの「軽さ」を評価値に追加することで、そのような冗長な部分を削除することが可能であると考えられる。

参考文献

- [Long 2004] J.H. Long, A.C. Lammert, C.A. Pell, M. Kemp, J.A. Strother, H.C. Crenshaw, and M.J. McHenry: “A navigational primitive: biorobotic implementation of cycloptic helical klinotaxis in planar motion”, IEEE Journal of Oceanic Engineering 29, no.3, 2004
- [Long 2012] J. H. Long: Darwin's Devices What Evolving Robots Can Teach Us About the History of Life and the Future of Technology, Basic Books, 2012. ジョン・H・ロング(著), 松浦俊輔(訳), 進化する魚型ロボットが僕らに教えてくれること, 青土社, 2013.
- [樋口 1993] 樋口哲也, 北野宏明: 遺伝的アルゴリズムとその応用, 情報処理, 情報処理学会, 1993.