

水中ロボットの形状決定を例とした 物理実験からのフィードバックによる進化的計算の研究

Study on evolutionary calculation by real world feedback
from physical experiment determining the shape of an underwater robot.

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 underwater robot by optimize its caudal fin shape based on genetic algorithm.

1. はじめに

実世界における実体の最適化は広く行われており、その解決手段としてコンピュータシミュレーションによる手法が多くみられる。コンピュータシミュレーションは、空間的、時間的な制約が少ないというメリットが存在する。たとえば、製品の性質をコンピュータ上で再現し、設計や製造過程の事前検討を行う CAE (Computer Aided Engineering) 技術が広く浸透している。これを用いることで、実物を試作する前に構造を確認することや、実際に試験を行うことなく製品の性能が十分かどうかを検証することができる。一方で、コンピュータシミュレーションを行う際には、扱う対象に関する知識と実験での科学的データの収集が不可欠であるため、対象の性質が未知の場合や、物理量の計測が困難な場合には運用することが難しい。

そこで、対象に関する多くの事前知識を必要とせず、あるいは多くの物理量の計測を省いたとしても、ある程度複雑な目的を達成できる手段が必要だと考えた。動作環境が設計段階で再現でき、モデルの試作にかかるコストが低いという条件下ならば、実際のモデルを用いた開発手法が考えられるのではないだろうか。本研究ではその例として、水中で「尾びれ」を振りながら進むロボットについて、遊泳速度が向上するような形質を求めるというテーマを設定し、有用な設計手法を模索した。

2. 研究目的

物理的な実体が稼働するシステムをコンピュータ上に再現する場合、関係する物理法則を推定し、必要なデータを計測する必要がある。これには、対象に関する専門的な知識と、正確な測定データが必要となるため、人間の知識量によって結果が左右される。また、シミュレーションは実際の物理法則に従うように行わなければならないという制約が存在する。このように、実世界の実体に関するコンピュータシミュレーションには多くの難点に伴う。そこで、コンピュータシミュレーションを用いることなく最適化アルゴリズムを適用し、最適解を求める方法について考える(図1)。

本研究では、そのような手法の具体的な例として、小型ロボットの遊泳速度を改善するシステムを構築した。コンピュータ上に仮想のモデルを構築することはせず、現実の機械を動作させた

結果を探索アルゴリズムにフィードバックすることでのみ解を求め、目的を達成できることを示す。また、設定したテーマにおける提案手法のメリットとデメリットを考察する。

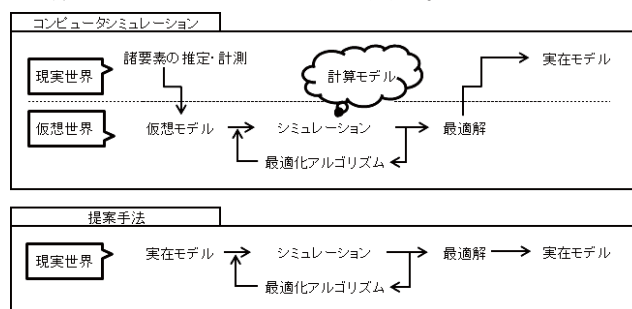


図1: コンピュータシミュレーションによる方法と
提案手法の比較

3. 実験内容

本実験では、「ある往復運動を与えたときに、効率の良い推進力を生み出す『尾びれ』の形質」を求めることにした。問題を単純化するために、外部からの刺激をセンサで感知したり、アクチュエータで運動を制御したりすることはせず、モーターから一定の力を加えて「尾びれ」を動かす。形質を変化させる方法は無数に考えうるが、ここでは「尾びれ」に使用するパーツの形状と剛性を変化させることで推進性能を改善する。

実世界で稼働する物体の中でも、流体を扱うものの最適化は複雑な問題である。まず、物体が受ける抗力、浮力、推力などといった要素は非線形関数で表現される。また、そのことに起因して目的関数は局所的な最適解を多く持つため、大域解は確率的に求めることになる。水中ロボットおよび遊泳環境は複雑な様相を呈するため、本実験において解の探索には遺伝的アルゴリズム(GA)を用いることにした。GAは、生物が進化する過程を模倣して最適解を探索するアルゴリズムである。GAによる解法は、まず解く対象を任意のコードで表現し(染色体とよぶ)、これを複数集めた集団に対して選択、淘汰、突然変異という操作を適用しながら集団を更新していき、終了条件に達するまで繰り返すというものである。他の探索アルゴリズムと比較すると、勾配法のように1点からの探索ではなく、多点からの同時探索を

行うことや、解の評価は評価関数(その染色体から作られる個体の優秀さを比較できるような関数)のみを用いることが特徴である。実験を行うにあたっては、関係する物理法則の推定と計測は行わず、遺伝的アルゴリズムを適用する際に必要な「コーディング」、「適応度の評価」、「遺伝的操作(選択、交叉、突然変異)」の各要素のみを決定する。

3.1 コーディング

本システムでは、遊泳模型の後部に装着する「尾びれ」の形質を変化させていく。「尾びれ」は樹脂で形成された板状のパーツを、1個体につき 1〜3 つを連結して駆動部に装着したものである(図 2)。それぞれのパーツは長さ、表面の加工、可動範囲、連結部分の剛性が違う複数のパーツから成り、その組み合わせによって複数の物理的な特性を表現する意図がある。「長さ」は 15mm から 25mm までの 5mm 刻みと 0mm(その節のパーツなし)の 4 水準、「表面の加工」はフラットなものや溝を付加したものがあり、溝の向きが縦か横かの 2 パターンに加え、溝の間隔が粗・密の 2 パターンを設定した。パーツの長さや表面の加工は水と作用した際の力のかかり方を変化させるほか、連結されているパーツどうしの運動にも影響がある可能性がある。また、ロボット本体と「尾びれ」どうしはジョイントでつながっており、可動範囲と曲がりやすさを変更できるようになっている。可動範囲は 0° ~180° まで 30° 刻みの 7 水準、「連結部分の剛性」はなし、弱、強の 3 水準とした。以上の要因が遊泳能力に影響する可能性を考慮する。このパーツどうしの最適な組み合わせを発見することが実験の目標となる。

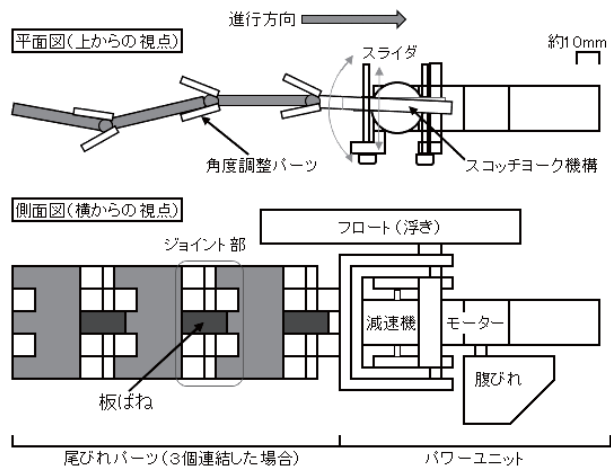


図 2: ロボット全体の模式図

本実験において遺伝的アルゴリズムに用いる染色体は長さ 12 の整数列とし、1〜6 までの整数 12 個が、1 つのパーツに 4 つずつ割り当てられる。この数字がそれぞれのパーツにおける長さ、表面の加工、可動範囲、剛性を決定する(表 1)。

表 1: 「尾びれ」の因子と対応するパーツ、水準の一覧

因子	対応するパーツ	水準(数字は遺伝子にコーディングする際に割り振られるもの)					
		0	1	2	3	4	5
長さ(mm)	板	※0	15	20	25	4	6
表面の加工		フラット	横溝(粗)	横溝(密)	縦溝(粗)	縦溝(密)	
可動範囲(度)	角度調整パーツ	0	30	60	90	120	150
剛性	板ばね	なし	弱	強			

※「長さ0」は、その節のパーツが存在しないことを表現する。

これを 3D モデルに変換し、3D プリンタでプリントしたものを表現型とする。3D プリンタは、主に材料を薄い層に積み重ねて 3 次元形状を作成する工作機械であり、従来の切削加工等と比較すると、段取りや作業員の熟練度が不要なく、3D データさえ

存在すれば人の解釈に依らず造形することができる。また、単品であれば安価かつ高速で試作品を製造できるため、本研究では実験機のパーツを作る目的で利用した。染色体データと、それを元に造形した「尾びれ」の例を図 3 に示す。

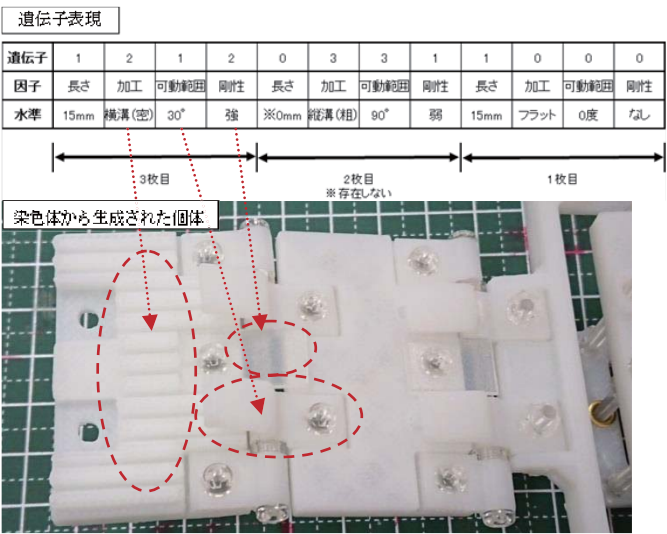


図 3: 遺伝子表現と表現型の対応例

3.2 評価

水中ロボット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一定距離を泳ぎ切るまでのタイムを評価値として採用した。造形した「尾びれ」を水中ロボットに装着し、スタート地点を中心とする同心円状のラインで一定距離を泳ぎ終えるまでの時間が短いほど評価値を高く設定する(図 4)。



図 4: 遊泳タイム測定の様式図

3.3 遺伝的操作

選択方式はエリート保存ありのルーレット選択方式とし、交叉は 1 点交叉とする。また、子の個体の各遺伝子を 5% の確率で別のランダムな値に置き換えることで突然変異を発生させる。

4. まとめ

実世界でのシミュレーションは作業時間の大部分が評価に費やされるため、効率の良い評価方法が必要とされる。また、最適解へ早く収束するような遺伝的アルゴリズムのパラメータを定めることも重要である。

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
[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.