

透明体の形状計測への遺伝子アルゴリズムの適用

秦 清治、斎藤 洋子 熊村 昭治、戒田 健一
hata@ed.kagawa-u.ac.jp
香川大学教育学部 松下寿電子工業(株) F A センター
〒760 高松市幸町 1-1 〒791-03 愛媛県温泉郡川内町大字南方 2131

遺伝子アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) とは、生物が遺伝子によって基本的には形態を保存しながら、他の遺伝子との交配や突然変異によって変形し、自然淘汰によって環境に適合するものを選択して行く過程を、最適解探索に利用しようとするものである。ここでは、この手法を、従来解析的に解くことが困難であった透明物体の形状計測に利用する手法を開発したので、報告する。

An Application of Genetic Algorithm To Extract the Shape of Transparent Objects

Seiji Hata, Yoko Saitoh Syoji Kumamura, Ken'ichi Kaida
hata@ed.kagawa-u.ac.jp Matsushita Kotobuki Electronics Co. Ltd.
Fac. of Education, Kagawa University 2131, Ohaza Nanpoh, Kawauchi-cho,
1-1, Saiwai-cho, Takamatsu, 760 JAPAN Onsen-gun, Ehime-ken, 769-03, JAPAN

The living things have genes which enable the living things to let them fit to their surroundings. The genes enable the living things to hold their properties, but they also change their properties by crossovering with other genes and mutating. By means of these changes, the living things which has the most fittable properties to their surroundings can be selected to hold their families. Genetic Algorithm (GA) is a method to simulate the natural selection mechanism of the living things. It can be applied to solve a optimization problem. This paper present an application of the genetic algorithm which is applied to extract the shape of transparent object. The problem is one of the ill-structured problem which is hard to be solved by an analytical method.

1. まえがき

遺伝子アルゴリズム (GA)¹⁾とは、生物が遺伝子によって基本的には形態を保存しながら、他の遺伝子との交配や突然変異によって変形し、自然淘汰によって環境に適合するものを選択して行く過程を、最適解探索に利用しようとするものである。GAの適用に当たっては、対象とする問題を遺伝子情報にコード化するための規則と、それに従って多数の遺伝子モデルを生成する方法、遺伝子間の交配 (交差) や突然変異を起こす方法、適合するものを選択するための評価規則が決められている必要があるが、それらが規定できるならば、多様な問題に適用できる手法である。

筆者らは、この遺伝子アルゴリズムを、従来解析的に解くことが困難であった、透明物体の形状計測に適用した。ここでは、その適用方法と、実験結果について述べる。

2. 遺伝子アルゴリズムの適用上の検討

(1) 最適化面からの評価

遺伝子アルゴリズムは、一般に最適化問題の解を求める手法として捉えられている。ここでは、多数の候補解の生成とその評価を多数回繰り返すため、計算量の大きなアルゴリズムであると言える。

遺伝子アルゴリズムの、乱数による最初の遺伝子集合の生成は、解空間に解の候補を広く分布させていることになる。そのあと、交差及び突然変異により、解を少しずつ修正して、評価値の高いものに収束していく訳なので、これは山登り法に似ていると言える。したがって、最初の初期解の生成時の解の分布がいかに広く分布するかが重要であると言える。

(2) 逆問題への適用について

例えば関節ロボットの関節角が分かっている場合、手先の空間座標を求めることは比較的容易だが、空間座標から制御すべき関節角を計算することは困難である。この様な問題を逆問題という。正問題が解けても逆問題は解けないケースも多い。

ところで、遺伝子アルゴリズムでは、対象問題の表現方法、交差や突然変異による変形方法、結果の評価方法が分かればよく、評価方法では、一般に問題を正問題として解くことができる。このため、逆問題の解法が分からない場合にも解を求めることの出来る枠組みとして使用すること

ができる。透明物体の形状計測もこの一例である。以下に内容を説明する。

3. 透明物体計測の例と問題点

工業的に透明物体の形状計測を必要とする例としては、ガラス板やプラスチック板の変形を計測したい場合や、図1の様に物体に塗布した接着剤の体積を計りたい場合などがある。前者の場合には、形状計測のために背景に特別なパターンを配置するなどの手法がとれる²⁾が、後者の場合には、そのような手段を用いることは出来ない。

この場合、例えば図2に示すように、透明体にスリット状の光を照射し、その変形を観測する手法が考えられるが、図3に示すように、光が入る時と出る時の2度屈折し、しかも入射後物体表面で乱反射するために、光線追跡法などの手法を使うことも出来ず、解析的には解けないと考えられる。これが物体上の透明物体の形状計測の問題点である。

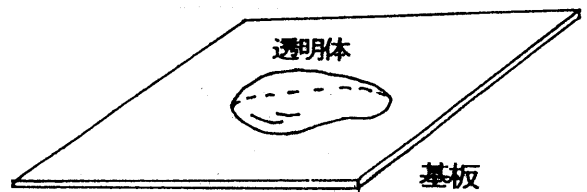


図1 物体に密着した透明体

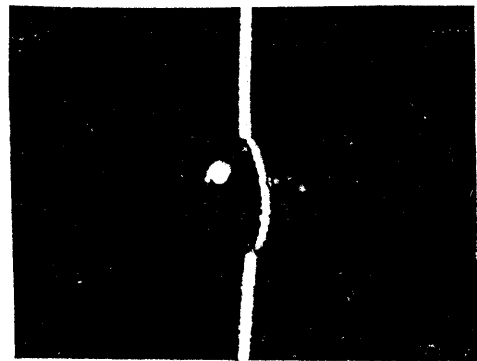


図2 透明体へのスリット光照射

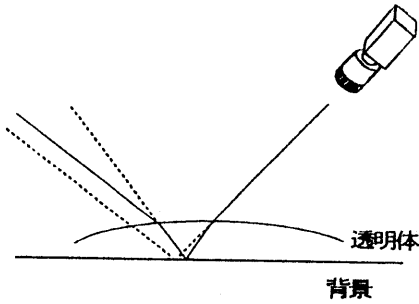


図3 スリット光の観測

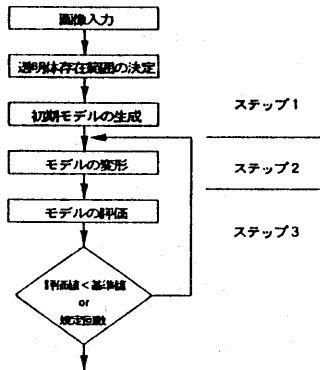


図5 形状計測システム

4. マルチスリット光による計測

上述の様に、透明物体にパターン光をあて、その像を別の方向から撮像してパターンの変形を検出しても、物体形状を解析的に求めることは出来ない(逆問題)。しかし、物体形状が与えられていると、撮像されるパターン光の変形を求めることは容易にできる(正問題)。このためここでは、物体形状モデルを試行錯誤的に発生し、その結果得られるパターン光の変形を、実際の画像と比較し、最も近いモデルを物体形状とすることにする。

この試行錯誤的に形状を生成し、評価値の良い対称を選び、それを改良していく手法としては、遺伝子アルゴリズムが良く知られているので、本研究でも遺伝子アルゴリズムを用いることにした。なお、遺伝子アルゴリズムにより3次元形状を復元した例としては、Shape from Shading手法の改良として、乱反射物体に用いた研究がある³⁾。

本研究で用いた、マルチスリット光光学系と撮

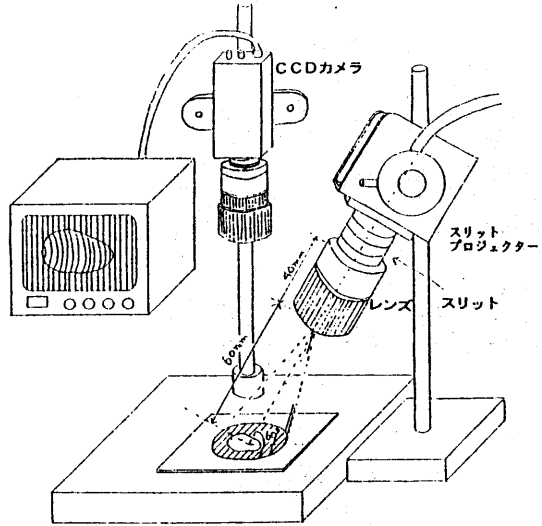


図4 光学系の構成

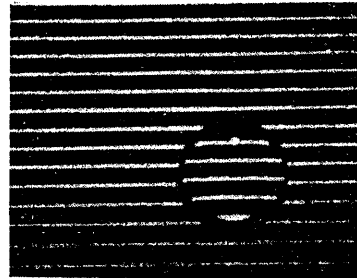


図6 スリット光パターン

像系の構成を図4に示す。多数のスリットパターンを斜め方向からプロジェクターで投影し、真上からTVカメラで撮像することで、物体表面での屈折によるスリットパターンの変形を観測、それを元にモデルとの比較で形状推定を行う。

5. 形状計測システムの構成

形状計測システムの処理の流れを図5に示す。大きくステップ1~3の3つのステップにわかれる。ステップ1では、撮影した画像のスリット光の変形を元に、透明物体の2次元的存在領域を決定する。ステップ2では、遺伝子アルゴリズムに基づき、形状モデルを生成する。ステップ3では、モデルから計算されるスリット光の変形パターンと撮像結果からのパターンを比較し、誤差の少ないモデルを選定する。このステップ2とステップ3を何度も繰り返して、最後に最も一致するモデルを選定、透明体の形状とする。

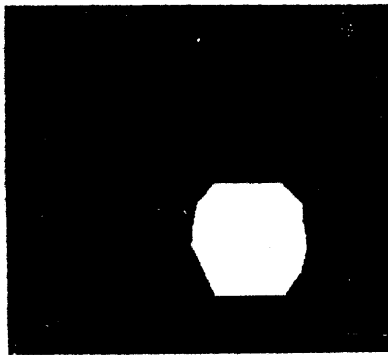


図7 透明体の存在範囲

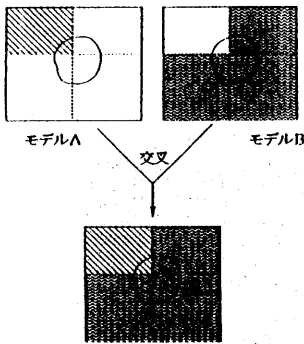


図9 モデルの変形(交叉)

5. 1 透明体の存在範囲の決定

透明体の存在範囲の決定は、図6のような撮像画像から次の様に決定する。

- (1) 透明体が存在しない時のスリット光の位置を覚えておき、透明体が置かれたときそのスリット光位置が変わった部分を透明体領域とする。
- (2) スリット光に断続が有る場合には、その点を透明体の境界線とする。図6の例では、図7のような領域が得られる。これを元に、多角形頂点を滑らかに曲線で近似することで、存在範囲とする。

5. 2 初期モデルの生成

図8に初期モデル生成の流れを示す。モデルは、対称を真上から見たときの、各画素対応点の高さ(画素単位)情報として表される。

乱数を使用し、3. 1で決定した存在領域内に一点を決定する。そして、再び乱数で高さを決定する。3次元空間中で、決定された点と存在領域

の境界を直線で結び、"錐"を形成する。存在領域内の各画素について、その錐の高さデータをもとめ、そのあと全体を滑らかにするためにスムージングを行って、初期モデルとする。このモデル

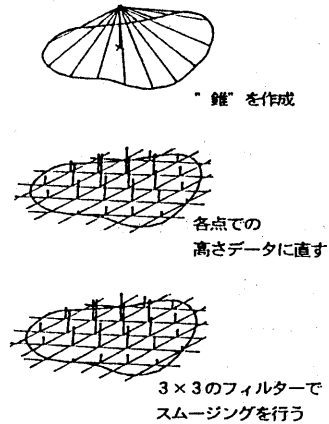


図8 初期モデルの生成

を多数作成、以下の変形に利用する。

5. 3 モデルの変形

モデルの変形には、遺伝子アルゴリズムで一般的に行われる交叉と突然変異を実施する。本システムでの交叉は、図9の様にされる。

交叉を行う2つのモデル、A、Bをランダムに選択する。乱数により、存在領域内に一点を決定し、画面を4分割する。分割された一領域を、モデルA、B間で交換することで、交叉を実現する。なお、交叉時接続部分では大きな段差が生ずるため、接続部分近傍のみスムージングにより平滑化する。

突然変異は、基本的には初期モデルの生成と同じである。すでにあるモデルの存在領域内に乱数で点の位置と高さを決定し、錐を形成する。そして、モデルとの接合部と錐の形成部をスムージングにより滑らかにして、新しいモデルとする。

5. 4 モデルの評価

作成したモデルの評価は、図10、11に示す方法で実施される。ここで、スリット光の基板への到達位置が、カメラにどの様に見えるかは、基板上での光の乱反射のため光線方向を解析的に求めることでは決定できない。このため、以下の手

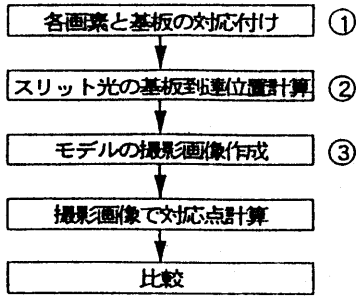


図 10 モデルの評価方法

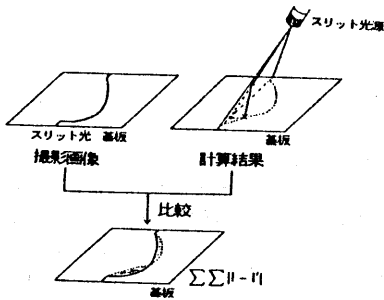


図 12 評価値の計算

順により求める。

- (1) カメラの各画素毎に視線方向を求め、それが透明体表面上で屈折して基板上に落ちる位置を求める。
- (2) スリット光の基板上への投影方向を、透明体の無い部分から決定し、それを元にモデル上で光線の当たる位置を求める。そして、それがモデル表面で屈折し、基板上に落ちる位置を計算する。
- (3) スリット光の基板上に落ちる位置が、(1)で計算したカメラの視線の落ちる位置のどこに対応するかを、補間によって求める。これから、カメラの画像上で、どこにスリットパターンが出現するか決定できる。
- (4) 評価値の計算方法は、図 12 の通りである。すなわち、撮影画像で実際にスリット光が出現した位置と、モデルからの計算で求めた位置間の誤差の総計をもとめ、これを評価値とする。これが、ある一定値になるか、誤差が余り減少しなくなる点で形状決定する。

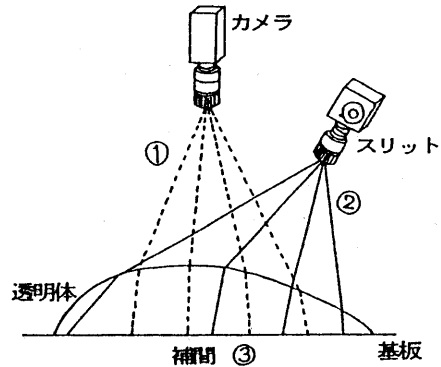


図 11 モデルの画像パターンの計算

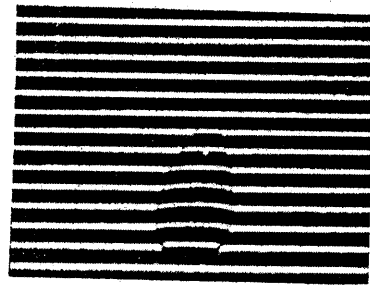


図 13 接着剤の計測画像

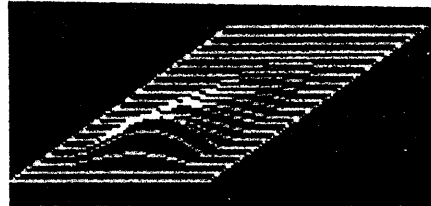


図 14 3次元表示

6. 実験結果

透明な接着剤を固い紙上にたらし、そこにマルチスリット光を当て、パターンの変形を撮像した結果を図 13 に示す。また、これをもとに、上述した手法により形成した 3 次元形状を、図 14 にしめす。

このとき初期モデルの発生数は 20 個、これを元に交叉、突然変異を行い 100 個のモデルを生

成し、そこから評価により再度20個のモデルを残した。それを繰り返すことで、50世代経過後の結果が図14である。接着剤を斜めにした紙上にたらしめた形状が良く抽出されている。この計算に要した時間は、SPARC5で約6時間であった。

なお、接着剤は、乾燥すると大幅に変形してしまうため、精度的な評価は本サンプルでは行えず、形状のわかっているガラス板で行った。

7. おわりに

最近話題になっている遺伝子アルゴリズムの具体的適用として、透明体形状計測への応用の概要を論じた。

接着剤などの透明体の形状を求め、体積や高さなどを検定することは、製造ラインの信頼性を維持する上で重要な計測項目であるが、手法的には逆問題の一つに分類され、これまでその解法が開発されていなかった。

今回、マルチスリット光を投影し、その透明体による変形パターンをTVカメラで撮像、遺伝子アルゴリズムで生成される内部モデルによるスリ

ット光パターンと比較することで、形状推定を行う手法を開発した。このことは、従来解決できなかった逆問題を解いた点で評価できると考えるが、遺伝子アルゴリズムによる形状抽出は、実用的な計算速度を得ることは難しい。この点を含め、今後以下の点を検討していく必要がある。

- (1) 実用的な計算速度を達成するための手法の構成。
- (2) 検出精度に付いての検討。
- (3) 実用装置としてのマルチスリット投影系の開発。
- (4) 実用装置としての、光学系キャリブレーション手法の確立。

【参考文献】

- 1) 安居院、ほか：ジェネティックアルゴリズム、昭光堂(1993)
- 2) 斎藤、ほか：透明物体の認識、精密工学会第1回学生会員卒業研究発表講演会、pp.11-14
- 3) 3) 斎藤、ほか：遺伝的アルゴリズムを用いた濃淡画像からの3次元形状再構成の試み、電子情報通信学会技術報告 PRU93-5, pp.1-7(1993)