

対話型遺伝的アルゴリズムを用いた 3D モデル自動生成システムの構築

A 3D Model Generation System with Interactive Genetic Algorithms

坂口 琢哉^{*1}

Sakaguchi Takuya

^{*1} 安田女子大学

Yasuda Women's University

In this study, we have suggested a computer system generating 3D models with interactive Genetic Algorithms. We treated 3D models especially for polyhedrons with geometrical structures, described as a data set of vertex coordinates and colors. The system first generates some basic polyhedrons developed from a simple octahedron by adding vertices and polygons randomly. Then users evaluate generated models and select "parents" among them, which are applied to generate another polyhedron in the process of adaptation with crossovers and mutations. We constructed the system on the Web with JavaScript and PHP, while 3D model data were described according to OBJ file format. As a result of evaluations, the system generated multiple 3D models with various structures and colors, which we concluded was showing its availabilities.

1. はじめに

近年, 3D プリンタなどの普及により, エンドユーザによるものづくりは飛躍的な発展が期待されつつある. しかし一方で, その設計段階である 3D モデリングは多くのユーザにとって敷居が高い技術であり, またそもそも何を作りたいかイメージしづらいなど, 解決すべき課題も多い.

こうした問題に対し本研究では, ユーザのモデリングに対する負担軽減や創造性支援を目的とした 3D モデル自動生成システムを提案する. 具体的には, 正多面体のような幾何学的な立体構造を持つ 3D モデルをベースとし, その形状や色合いをシステムが変化させていくことにより, 様々なバリエーションのモデルを自動的に生成していく. それらをユーザが評価し, この行程を繰り返すことで徐々に最適化を行い, 最終的にユーザの嗜好に合った 3D モデルを完成させる.

提案システムにおいて, モデルの生成と評価には対話型遺伝的アルゴリズム(iGA)を用いた. iGA はシステムが出力した候補をユーザ自身が主観に基づいて評価するため, 感性や直観のような定式化しづらい要素を扱う問題に適した手法と言える.

iGA のようなユーザ評価型の進化的計算手法をモデリングに応用した研究は, 既に幾つか知られている. 例えば Brintrup らは椅子のデザインに iGA を適用し, ユーザの主観と定式化された目的関数とのハイブリッドにより最適化を行っている[Brintrup 2008]. 津波古らは建築物のモデルを題材に"Move"や"Rotate"などの命令の組合せを進化計算の対象とした対話型遺伝的プログラミング(iGP)により, モデルの最適化を実現している[津波古 2011]. また瀬山らは, iGA における評価を複数のユーザで行う手法を提案しており, その適用課題に 3D モデリングを採用している[瀬山 2014].

一方, 本研究のように幾何学的な立体構造を対象とした研究としては, 青木らによるオーナメントデザインシステムが挙げられる[青木 2014]. このシステムでは「角錐ボクセル」と呼ばれる多面体を最小単位とし, その組合せによって 3D モデリングを実現している. これに対し, 本研究では 3D モデルのポリゴンデータに直接手を加えていくアプローチを採っており, より汎用的で自由度の高いシステムと言える.

2. 提案手法

2.1 3D モデルの初期状態

本研究で扱う 3D モデルはサーフェスモデルであり, 全て三角ポリゴンで表現されるものとする. モデルを構成する各頂点は, それぞれ位置を表す XYZ 座標と色を表す RGB 情報を保有しており, 各ポリゴンの色は, それを形成する頂点の色の平均によって定義される.

また, 頂点(-1, 0, 0), (1, 0, 0), (0, -1, 0), (0, 1, 0), (0, 0, -1)および(0, 0, 1)からなる正 8 面体を考え, これを本研究で扱う 3D モデルの初期状態とする. その際, 各頂点の色情報は無作為に選ばれた任意の 1 色で統一される. これらはシステム起動時に計 n 個生成され, 初期集団としてユーザに提示される.

2.2 立体構造の複雑化

前節で述べた初期状態の 3D モデルに対し, 立体構造の複雑化を行う. 具体的にはある平面 ABC に対し, この平面の重心点に向かって原点から伸ばした直線上に, 以下の式(1)および式(2)を満たす新たな頂点 P をとる.

$$\vec{P} = \frac{1+\sigma}{|\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}|}(\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}) \quad (1)$$

$$\vec{P}_{color} = \frac{1+\tau}{3}(\vec{A}_{color} + \vec{B}_{color} + \vec{C}_{color}) \quad (2)$$

上式において \vec{P} , \vec{A} , \vec{B} , \vec{C} は各点の位置を表す XYZ 座標, \vec{P}_{color} , \vec{A}_{color} , \vec{B}_{color} , \vec{C}_{color} は各点の色を表す RGB 情報のベクトルである. また σ と τ は位置や色の変化率を表すパラメータであり, それぞれ $[-s, +s]$, $[-t, +t]$ の範囲で無作為な値をとるものとする. σ , τ がともに 0 の場合, 点 P はモデルの外接球上に, 平面 ABC と同じ色情報を持つ頂点として設定される. そして, この点 P を頂点として生成される平面 ABP, BCP および CAP が, 元の平面 ABC に置き換わる形で, モデルを構成するポリゴンとして新たに登録される.

以上のようなポリゴンの置き換えを全ての平面に対して網羅的かつ再帰的に行うことで, より複雑な 3D モデルを生成していく.

連絡先: 坂口琢哉, 安田女子大学, 〒731-0153 広島市安佐南区安東 6-13-1, sakaguti@yasuda-u.ac.jp

2.3 iGA による生成と評価

同程度に複雑化された n 個の 3D モデルに対し、iGA による最適化を行う。前述したとおり、モデルを構成する各頂点は XYZRGB の計 6 種類の値を持ち、これらを頂点数分連結させた数列が、そのモデルを表現する遺伝子として進化計算の対象となる。

iGA の手順としては、まずユーザ自身が n 個のモデルの中から評価の高いもの m 個 ($m \leq n$) を選択し、それらはエリート保存戦略に基づきそのまま次世代に継承される。一方残りの $(n - m)$ 個については、選択された m 個の遺伝子を元に多点交叉と突然変異により生成される。具体的には、遺伝子に記録された頂点情報を 1 つ複製するたび、交叉確率 p に従って複製元個体を交替させ、また突然変異確率 q に従って乱数による上書きを行う。ただし突然変異については 3D モデルの立体構造に矛盾を引き起こす可能性があるため、本研究では色情報のみを対象とした。

2.4 モデルの実装

提案手法に基づいたシステムを Web 上に実装した。実装は JavaScript と PHP で行い、3D モデルを表示させるライブラリとして three.js を用いた。これにより、システムが生成したモデルをマウス操作で自由な角度から確認できる UI を実現させた。更に、生成した 3D モデルは OBJ ファイルフォーマットに従い、.obj および.mtl として出力させた。

3. システムの出力例

実装したシステムを使用し、3D モデルを実際に生成することで検証を行った。ここでは第 2.2 節で述べた立体構造の複雑化により、頂点数がそれぞれ 14 個、38 個、110 個、326 個のモデルを生成した。その際、各変数の値は $m=3$, $n=8$, $t=0.5$, $p=0.2$, $q=0.01$ とし、 s については $s=0.1$ の場合と、 $s=0.5$ の場合とで比較検証を行った。図 1～図 4 に、各条件の下で提案システムが実際に生成した 3D モデルの例を示す。



図 1: 頂点 16 の 3D モデル生成例(左: $s=0.1$, 右: $s=0.5$)

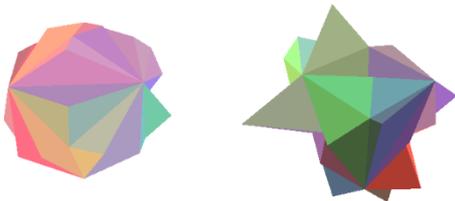


図 2: 頂点 38 の 3D モデル生成例(左: $s=0.1$, 右: $s=0.5$)

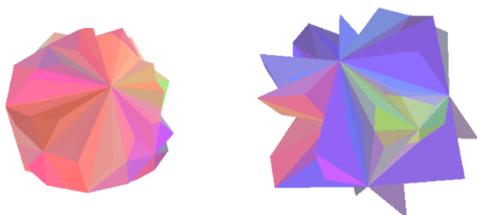


図 3: 頂点 110 の 3D モデル生成例(左: $s=0.1$, 右: $s=0.5$)

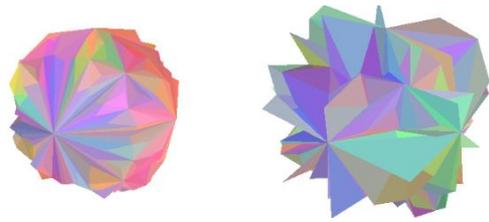


図 4: 頂点 326 の 3D モデル生成例(左: $s=0.1$, 右: $s=0.5$)

変数 s は式(1)において乱数 σ の範囲を示す値であり、生成されるモデルはこの値が小さいほど球形に近く、また大きいほど頂点がばらついた特徴的な形状になる。図 1～図 4 に見られるように、 $s=0.5$ の場合は尖った印象を持つモデルが多く生成された。値を大きくすることで更に特徴的な形状が期待できるが、一方で辺や平面が交差するなどの矛盾が生じ、立体構造の整合性を維持できなくなる可能性がある。

またいずれの場合においても、様々な色が混合した複雑な色合いのモデルが生成された。これは、iGA の交叉によって各モデルの特徴をバランスよく継承している効果と考えられる。一方、形状についてはそもそも初期集団においてユーザの嗜好性が分かれるだけの多様性が得られず、有効性を十分に検証できなかった。立体構造の整合性を維持しつつ形状の多様性を確保する手法については、今後の検討課題である。

4. おわりに

本研究では、ユーザの 3D モデリング支援を目的として、3D モデルを iGA により自動的に生成するシステムを構築した。モデルは正 8 面体を初期状態とし、ここから頂点を増やしていくことで立体構造を複雑化させ、その上でユーザによる評価に基づいて選択と進化を行わせた。提案システムは Web 上に実装し、生成した 3D モデルは OBJ ファイルフォーマットで出力させた。検証の結果、交叉によって各モデルが程よく混合し、特に色合いにおいて複雑なモデルを生成することが出来、提案システムの有効性が確認された。

今後の展望として、3D モデルの整合性と多様性の両立が挙げられる。また、幾何学的なモデルだけでなく、例えば既存の OBJ データを読み込んで最適化を行うなど、より具体的で実践的なモデリング支援にも言及していきたい。

参考文献

- [Brintrup 2008] Alexandra Melike Brintrup, Jeremy Ramsden, Hideyuki Takagi, "Ergonomic Chair Design by Fusing Qualitative and Quantitative Criteria Using Interactive Genetic Algorithms", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.12, No.3, pp.343-354, 2008.
- [津波古 2011] 津波古 和史, 赤嶺 有平, 遠藤 聡志, 山田 孝治, 當間 愛晃, "対話型遺伝的プログラミングを用いた建築デザインの発想支援システムに関する研究", 電子情報通信学会技術研究報告(ET), Vol.111, No.273, pp.77-78, 2011.
- [瀬山 2014] 瀬山 貴仁, 坂東信太郎, 棟朝雅晴, "クラウド PaaS 上での多人数インタラクティブ遺伝的アルゴリズムによるスケラブルな 3D モデリング", 研究報告数理モデル化と問題解決(MPS), Vol.2014-MPS-99, No.7, pp.1-4, 2014.
- [青木 2014] 青木 紘史, 三谷 純, 金森 由博, 福井 幸男, "3D プリンタでの出力を目的としたオーナメントデザインシステム", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.38, No.16, pp.23-26, 2014.