

## 進化的形状ブレンディングによる 3 次元形状モデルの生成 A 3D Shape Model Synthesis Method by Evolutionary Shape Blending

菅河 雅哉<sup>†</sup>  
Masaya Sugawa

米元 聡<sup>†</sup>  
Satoshi Yonemoto

### 1. はじめに

物体の形状や画像などを自動生成する手法は、ゲームマップの生成やキャラクタの形状デザインなどで用いられる procedural 技術として注目されている。その他にも対話型進化生成や L-system など、多くの進化的生成手法が開発されている[1]。先行研究[2]では、遺伝的アルゴリズムを用いた 3 次元形状モデルの進化的生成手法について提案し、パーツの交叉や突然変異によって新たな形状モデルが進化的に生成できることを確認した。また、提案手法では、ユーザにより、初期モデルのパーツ形状及びスケールへの類似性の度合いを数値的に指定することで、その度合いに応じた新たな形状モデルを生成することが可能である。このように本研究では、複数の 3 次元形状モデルをもとに、新たな 3 次元形状モデルを進化的に生成する手法の実現を目指しているが、交叉時の親形状モデルからの形状の遺伝を直接的に表現できていない点が問題であった。そこで、進化計算の過程で適用する 3 次元形状モデル間の形状ブレンディング処理を見直し、より多様な 3 次元形状モデルを段階的に生成できるよう改良する。

### 2. 3 次元形状モデル

本研究では、3 次元形状モデルを複数の形状プリミティブから成るパーツの集合として表現する。つまり、パーツ間の接続関係およびパーツの構造を構造グラフで表現する。先行研究ではいくつかの形状プリミティブをグループ化し、パーツの表現に利用したが、パーツの形状を形状プリミティブ単位で制御できるように変更している。これより、より多様な 3 次元形状モデルを生成することができるようになっている。本研究では、その骨格となる構造の表現およびその自動生成に焦点を当てており、表面形状としては簡易な表現を想定している。パーツに用いる形状プリミティブの形状は、変形可能な一般化円筒モデルにより表現する。形状プリミティブが構造グラフのノードに該当する。形状プリミティブごとに曲げなどの形状の特性を持ち、それらの接続関係を構造グラフで表現する。具体的には、各ノード（形状プリミティブ）で接続している他の形状プリミティブの接合状況を管理し、接続する形状プリミティブの両端の位置は、この接続情報により自動的に計算される。接合数は形状プリミティブの属性として定義する。図 1 にパーツの例とその接合の様子を示す。構造グラフの一部とその該当パーツを示しており、ノード 2 および 3 はこのパーツ内の他の形状プリミティブと 3 箇所まで接合していることを表している。また、ノード 2 および 3 はペア属性を有し

ており、ペアの間には形状プリミティブが対称に配置されるように制約を持たせている。ノード 2 は接合数 3 の状態であり、最大 5 か所で接合が可能である。

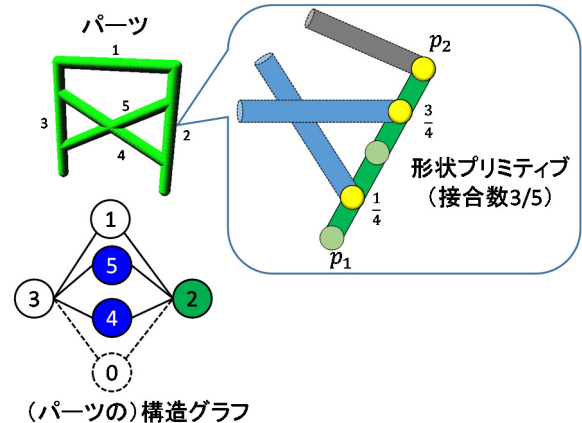


図 1 パーツと接合

### 3. 形状ブレンディング処理の改良

本研究では、生成される 3 次元形状モデルが 1 つの個体に相当する。進化計算では、パーツ同志の交叉、突然変異を行う。図 2 に先行研究で提案しているパーツの交叉の様子を示す。パーツの交叉は、以下に述べるように段階的に進行する。まず個体間でパーツの交換を必要に応じて行う。次に、各パーツ間で遺伝子コードレベルの交叉を行うことで、曲げ、スケールなどの形状プリミティブの特性あるいは形状プリミティブの構成を変化させる。その後、突然変異により、低い確率で新規パーツに置き換えることも行う。

関連研究[3]では 2 つの物体モデルをブレンディングすることで新たな物体モデルを生成できることが示されている。そこで本研究では、この研究のアイデアを参考に、3 次元形状モデルの形状ブレンディング処理の改良を行った。1 つは、パーツ交叉時の親の形状特性の直接的なコピーである。これを交叉における形状ブレンディング処理と呼ぶ。交換された同じ部位のパーツ間で必要に応じてパーツの一部をコピーする。このブレンディングは適当に選択した形状プリミティブの接合情報をもとに実現できる。これより、親の属性をより直接的に表現できるようになる。例えば図 1 のノード 2 の接合情報を別のパーツの形状プリミティブへコピーするとクロスしたペア形状が遺伝する、といった具合である。もう 1 つは、突然変異において、あるパーツにおける形状プリミティブの追加（あるいは退化による削除）を必要に応じて行うことである。これを突然変異における形状ブレンディング処理と呼ぶ。これにより、交叉に関係なく、世代が進むにつれ、段階的に形状が進化することが可能となる。

<sup>†</sup>九州産業大学大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Science and Technology, Kyushu Sangyo University

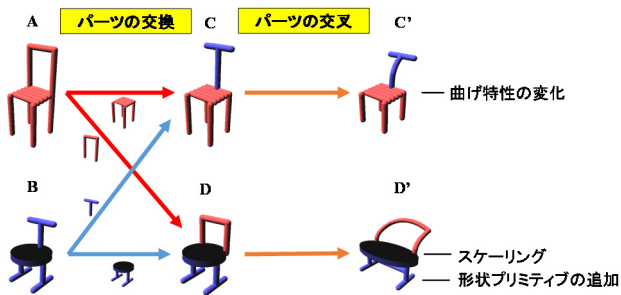


図 2 交叉の様子

4. 生成実験

提案した形状ブレンド処理の有効性を確認するために 3 次元形状モデルの生成実験を行った。比較的単純な形状である椅子を物体の例とした。椅子は複数のパーツを接合した物体形状の典型例である。実験では、ユーザの指定した複数の初期モデルをもとに 3 次元形状モデルの進化的生成を行った。初期モデルには構成プリミティブ数の少ないものを用いた。図 3 に、突然変異における形状ブレンドの結果を示す。これは生成実験により副次的に得られる結果であり、あるパーツ（初期モデルで指定した椅子の 4 本脚）について、進化によって生成された多様な進化形状群（家系図）を示したものである。1 本あるいは 2 本のペアを単位とした形状プリミティブの追加を行い、派生した進化形状をすべて記録することで得られた。接合箇所が状況に応じて変化することや、接合の対象として選択した形状プリミティブのペアの特性の違いにより、多様な進化形状が生成されていることを確認できた。例えば、図で一番左の進化形状では、3 つに枝分かれしている。左から順にそれぞれ 2 本、1 本、2 本が新規で追加されており、異なる形状プリミティブ、異なる接合箇所にて接合していることがわかる。

図 4 に、交叉における形状ブレンド処理の結果の一部を示す。上段が背もたれのパーツ、下段が脚のパーツに対する結果である。第 1 世代が祖先の個体、第 2 世代が交叉を 1 回適用した結果、第 3 世代が第 2 世代の生成個体同志をさらに交叉させた結果である。交叉により同じ親から複数個体が生成できるが、ここでは、左の親の一部を右の親にコピーした交叉結果のみ示している。交叉における形状ブレンド処理では、親の形状の一部をもう片方の親の形状に接合する、あるいは取り替えることで、より複雑な形状を生成できていることを確認できた。例えば、図の左上の結果は、第 1 世代の両親をもとに、左側の親のもつ特性（中央に平行な 2 本の形状プリミティブを持つ）を右側の親にコピーすることで第 2 世代に引き継いだことを示している。同様の方針により、第 2 世代の両親をもとに、第 3 世代も生成している。図 3, 4 の結果では、形状ブレンドの様子に注目するため、曲げなどの形状特性は反映せずに表示している。パーツを構成する形状プリミティブ数を上げることでより複雑な形状を表現できるが、接合数が上限に達しないよう制限を行っている。また、椅子の例では、構成プリミティブ数が比較的少ないパーツの接合であった。多数の場合、コピーされる接合箇所の候補が増えることになるため、その影響を考慮する必要がある。

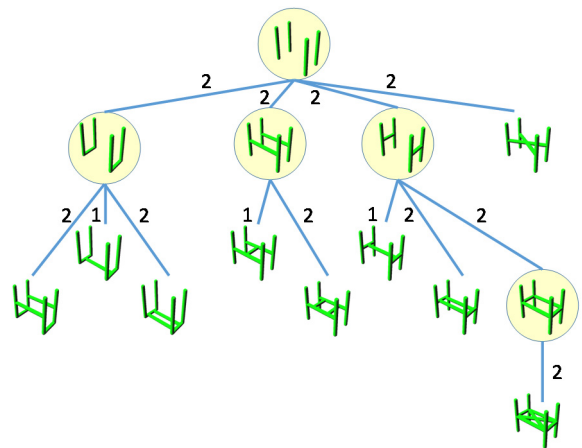


図 3 進化形状群（4 本脚のパーツ）

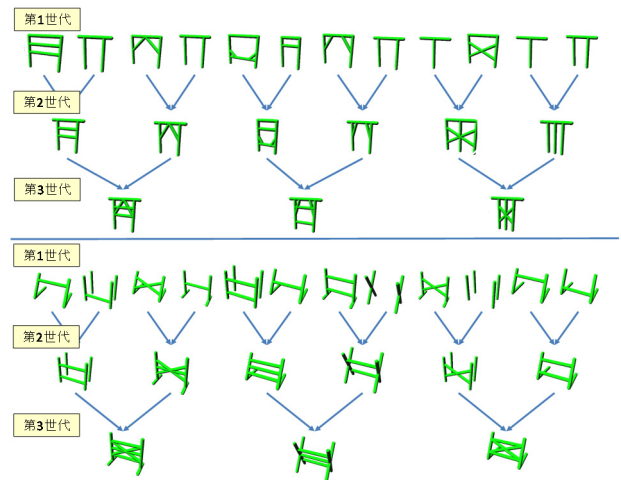


図 4 進化的形状ブレンドの結果

5. おわりに

本研究では、3 次元形状モデルの進化的生成によって、より複雑な形状モデルを生成するために、進化計算の過程で適用する 3 次元形状モデル間の形状ブレンド処理の改良を行った。1 つは交叉における形状ブレンド処理、もう 1 つは突然変異における形状ブレンド処理である。今回の改良によって、親の形状モデルの特性を直接的に引き継いだ形状モデルの進化的生成が可能となり、段階的な形状進化を表現することも可能となった。生成実験では、比較的扱いやすい物体を対象に実験を行っており、その他多くの物体についても同様にうまくいくか検証する必要がある。

参考文献

[1] K. Xu, et al., Fit and diverse: set evolution for inspiring 3D shape galleries, in *ACM Transactions on Graphics*, vol.31, no.4 (2012).  
 [2] 菅河 雅哉, 米元 聡, “遺伝的アルゴリズムによる 3 次元形状モデルの進化的生成”, 第 79 回情報処理学会全国大会講演論文集, 7X-01 (2017).  
 [3] I. Alhashim, et al., Topology-varying 3d shape creation via structural blending, in *ACM Transactions on Graphics*, vol.33, no.4 (2014).