

インタラクティブな魚類形状のモデリングシステム

田宮聖之^{1,a)} 土橋宜典^{1,b)}

概要: 近年, CG は映画やゲームなどで幅広く用いられている。リアルな CG 画像の作成には 3D モデルを用意する必要があるが, その作成には時間もかかり, スキルも必要とされる。そこで, 植物や建物などのモデルを自動的に生成する手法が多く研究されてきた。しかし, 魚類のような複雑な形状を生成することは難しく, そのような研究はあまり見られない。本研究では, 1 枚の魚類の入力画像からインタラクティブにリアルな形状を作成するシステムを提案する。また, より簡単にモデリングを行うために, ブレンドシェイプという手法を導入する。本稿ではブレンドシェイプの重みを決定するために, 入力画像から最適な重みを計算する手法についても触れる。

キーワード: イメージベースモデリング, 魚類, インタラクティブ, ブレンドシェイプ

An Interactive System for Modeling Fish Shapes

Abstract: Recently, computer graphics is widely used in movies and games, etc., and modeling three-dimensional virtual objects is important for synthesizing realistic images. Since modeling realistic objects often requires special skills and takes long time, many methods have been developed to help the user generate models such as plants and buildings. However, little attention has been paid to the modeling of fish shapes because of the complexity of their shapes. We propose an interactive system for modeling a realistic fish shape from a single image. We also introduce a method called Blendshapes[?] for improving the usability of our system, and propose an method to calculate those optimal parameters from input image to determine the shape generated by using Blendshapes.

Keywords: image-based modeling, fish shape, interactive, blendshapes

1. まえがき

近年, CG 技術は多くのアプリケーションにおいて必要不可欠なものとなっている。リアルな仮想世界の画像を作成するには, 3D モデルを作成する必要がある。一般に, アーティストは市販のモデリングソフトウェアを使用して, さまざまな 3D モデルを作成する。しかし, 初心者にとって, このようなソフトウェアを利用して複雑な 3D モデルを作成することは容易ではない。そこで, 手続き型モデリング [5], スケッチベースモデリング [1], イメージベースモデリング [6] などの多くの手法が開発されている。これらの方法を用いて簡単にモデルを生成することができるが, 動物のモデリングは依然として難しい問題であ

る。本稿では, 魚類に焦点を当て, より簡単にモデリングを行う手法を提案する。

魚は身近な動物であるにもかかわらず, そのモデリングのために特別に設計されたシステムはほとんどみられない。魚には, 種に大きく依存する独特な形状の特徴があり, リアルな形状をモデリングを行うためには, それぞれの特徴に関する知識が求められる。このような知識を持つユーザであっても, 市販のソフトウェアを使用することで, リアルな魚の形状を作成することは依然として困難である。市販のモデリングソフトウェアを使用する場合には, 頂点の選択や移動, プリミティブシェイプの変形などの細かい操作が必要とされるが, これらの操作は非常に冗長で時間もかかる。また, 魚類のような複雑な形状は生成ルールが知られていないため, 手続き型のアプローチによる生成も困難である。

本稿ではこの問題を解決するためのモデリングシステム

¹ 北海道大学
Hokkaido University

a) tamiya@ime.ist.hokudai.ac.jp

b) doba@ime.ist.hokudai.ac.jp

を提案する。提案システムでは魚の画像を入力として利用し、ユーザが魚の形状をインタラクティブに作成する。まず、入力画像から体とヒレのセグメントを抽出し、抽出された体とヒレのセグメントに対してプリミティブオブジェクトをフィッティングすることにより、初期の魚の形状が自動的に生成される。ユーザは、魚の形状を直感的に編集できるように設計されたインターフェイスを使用して、形状を変更および編集することができる。さらに、ブレンドシェイプという手法を用いて、データベースのモデルを合成することでさまざまな魚の形状を効率的に生成することができる。ブレンドシェイプにおいて、目的の形状になるようにモデルを合成する最適な混合比を計算する手法についても提案する。

以降本稿では、関連研究についてセクション2で述べ、セクション3から6で提案手法について説明します。また、セクション7いくつかの実験結果を提示し、セクション8でまとめを行う。

2. 関連研究

モデリングの手法として研究されてきた手法の一部を紹介する。形状モデリングを簡便に行う方法として、スケッチベース手法、イメージベース手法、手続き的手法が挙げられる。スケッチベースの手法では、ユーザにより与えられた2次元スケッチから3Dモデルを生成する[1]。ユーザは簡単なスケッチを与えるだけでよいため、さまざまな手法が提案されている[2]、[3]。イメージベースの手法は現実に存在するオブジェクトの写真から3次元形状をモデリングする手法である[4][6]。山や植物、都市などのオブジェクトは、手続き型の手法[5]を利用して自動的に生成することができる。これらの手法によりさまざまな物体を簡便にモデリングすることが可能とはなっているが、本研究で対象とする魚類に特化した手法は提案されていない。提案手法は側面方向から撮影した魚の画像を入力として使用するため、提案システムはイメージベースのアプローチに分類される。

3. システム概要

図1に、システムの概要を示す。提案システムは、入力として一枚の魚の画像を利用し、ユーザはこの画像をガイドとして3Dモデルをインタラクティブに作成する。またこのシステムは、画像セグメンテーションシステム、形状モデリングシステム、ブレンドシェイプシステムの3つのサブシステムで構成される。

画像セグメンテーションシステムは、ユーザの操作を補助として、入力画像の体とヒレのセグメントを抽出するサブシステムである(図1aを参照)。このセグメンテーションには、グラフカット法[8]を用いる。ユーザが体とヒレの領域にストロークを描画すると、グラフカット法により

それらのセグメントを自動的に計算する。このとき、各セグメントの輪郭線と、体とヒレのテクスチャがそれぞれ保存され、次のサブシステムへの入力となる。

体とヒレのセグメントの輪郭線とテクスチャは、形状モデリングシステムで使用される(図1b)。これらの輪郭線から、魚の初期3D形状が自動的に生成され、ユーザは、用意されたインターフェイスを用いて初期形状を修正することができる。具体的には、体の幅とヒレの位置をインタラクティブに変更することができる。テクスチャは体とヒレにマッピングされ、その結果はユーザにリアルタイムで表示される。3Dモデルの形状が完成すると、次のブレンドシェイプシステムで使用されるモデルのデータベースに保存することができる。

ブレンドシェイプシステムでは、魚の3Dモデルデータベースに保存されている魚の形状を補間することで、新たな魚のモデルを生成することができる(図1c)。ブレンドシェイプでは、ユーザが指定した重みによって複数のモデルを補間する。また、ブレンドシェイプの混合比となる重みは、画像セグメンテーションシステムで得た体部分のセグメントのシルエット情報を用いて計算される。

次のセクションでは、これらのサブシステムの詳細について説明する。

4. 画像セグメンテーションシステム

このシステムでは、入力画像から魚の体とヒレのセグメントをインタラクティブに抽出する。画像は魚の側面方向から撮影されたものとし、ここでは体の中心線が画像の水平軸(または x 軸)にほぼ揃えられていると仮定する。

提案法では、GrabCutと呼ばれる手法2に魚の体部分のセグメンテーション例を示す。図2aに示すように、ユーザは画像に赤と青のストロークを描画して、それぞれ前景と背景の領域を指定する。この例では、ユーザは魚の体に赤いストロークを描いているため、GrabCutアルゴリズムは図2bに示すように、体部分の領域を抽出している。この処理を体部分と各ヒレについて繰り返す。

セグメンテーションの後、各セグメントの境界ピクセルをトレースすることにより、体とヒレの輪郭線を抽出する。境界ピクセルの座標列が保存され、体とヒレの3D形状をモデリングするための次のシステムへの入力として使用される。また、体とヒレのテクスチャも同時に抽出され、別途保存する。

5. 形状モデリングシステム

このシステムでは、画像セグメンテーションシステムによって保存された体とヒレの輪郭線を使用して、初期の3D形状を生成する。図4に、体の初期形状を生成するプロセスを示す。最初に、ピクセルの座標列で表される輪郭線をいくつかの制御点を持つ閉スプライン曲線に変換する

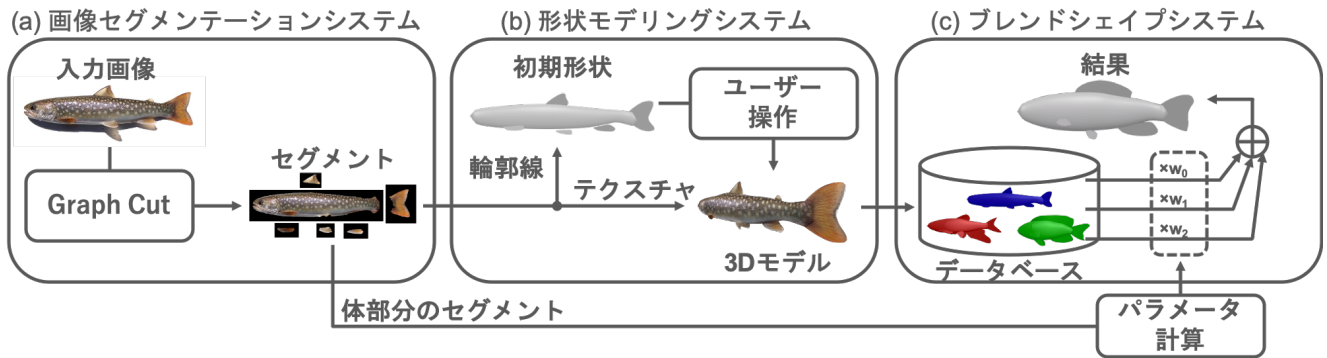


図 1: 提案システム概要

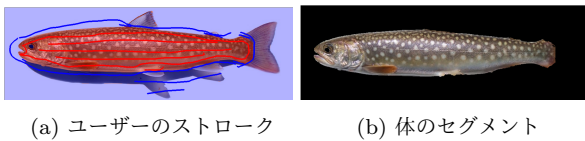


図 2: 入力画像のセグメンテーション

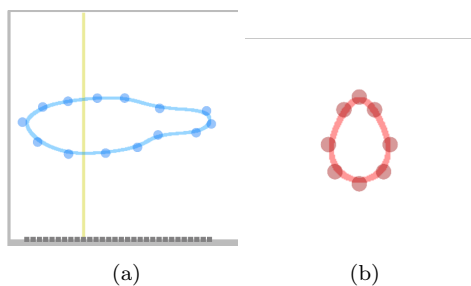


図 3: 断面の編集

(図 9a). このとき、ピクセル位置と曲線との距離の合計が最小になるように、最小二乗法により制御点の位置を最適化する。次に、スプライン曲線は、一定の間隔で分割され (図 9b), 画像平面に垂直な断面で楕円曲線を生成する。この楕円曲線もスプライン曲線で表され (図 4c), 輪郭線のスプライン曲線に接するように生成される。断面と輪郭線のスプライン曲線の交点間の距離は、対応する楕円の長軸半径に設定され、短軸半径は長軸半径の半分とする。これらの曲線から、初期の体部分の 3D 形状が生成される (図 4d). ヒレの形状も同様の方法で生成されるが、楕円曲線は生成されず、画像平面上の薄いオブジェクトとして表される。また、ユーザは後から各ヒレの位置と角度を変更でき、体とヒレのテクスチャはそれぞれにマッピングされる。

さまざまな種類の魚をモデリングするために体幅の編集が可能である。図 3a に示すように、ユーザは任意の体の断面を選択でき、楕円曲線の制御点を操作することで断面形状を変更することができる (図 3b). ユーザが曲線を操作している間は、3D 形状が結果としてリアルタイムで表示され、形状を確認しながら編集を行うことができる。ま

た、魚には最大 6 種類のひれがあり、提案システムは各ヒレに対応した編集を行うことができる。例えば、各ヒレが開く角度と位置を調整するためのスライダーがいくつか用意されている。

6. ブレンドシェイプシステム

ブレンドシェイプでは、データベースの魚モデルの加重平均により、さまざまな形状を作成することができる。しかし、目的の形状を生成する適切な重みを設定することは困難であるため、画像セグメンテーションシステムで得た体部分のセグメントを利用して、目的の重みを計算する手法を提案する。

図 5 に重みの計算手順を示す。基本的な考え方は、加重平均によって得られる魚モデルをレンダリングして得られる画像と入力画像が一致するよう重みを最適化する。ただし、画像の比較には 2 値画像を用いる。具体的には、以下の誤差関数を最小化する重みを求める。

$$E(\mathbf{w}) = \sum_p (R(p, \mathbf{w}) - I(p))^2 \quad (1)$$

ここで、 $R(p)$ および $I(p)$ は、それぞれ、魚モデルをレンダリングした画像および入力画像を二値化した画像の画素 p の輝度を表す。 \mathbf{w} は加重平均に用いる重みをまとめたベクトルである。 n 個の魚モデルの加重平均を行う場合、 \mathbf{w} は次式となる。

$$\mathbf{w} = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

式 (1) で表される誤差関数は図 5 の差分画像の輝度の総和を表している。最小化の方法には、以下に述べる最急降下法を用いる。

最急降下法では、未知変数に関する誤差関数の勾配を求める必要がある。提案法では、誤差関数を解析的に求めることは困難であるため、数値微分を利用する。すなわち、重み w_i に関する E の微分は次式により計算する。

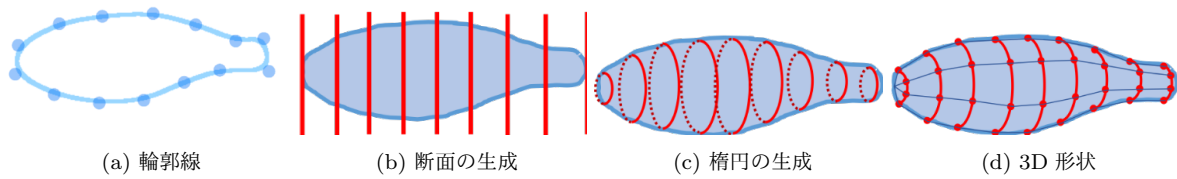


図 4: 体の 3D 形状の生成プロセス

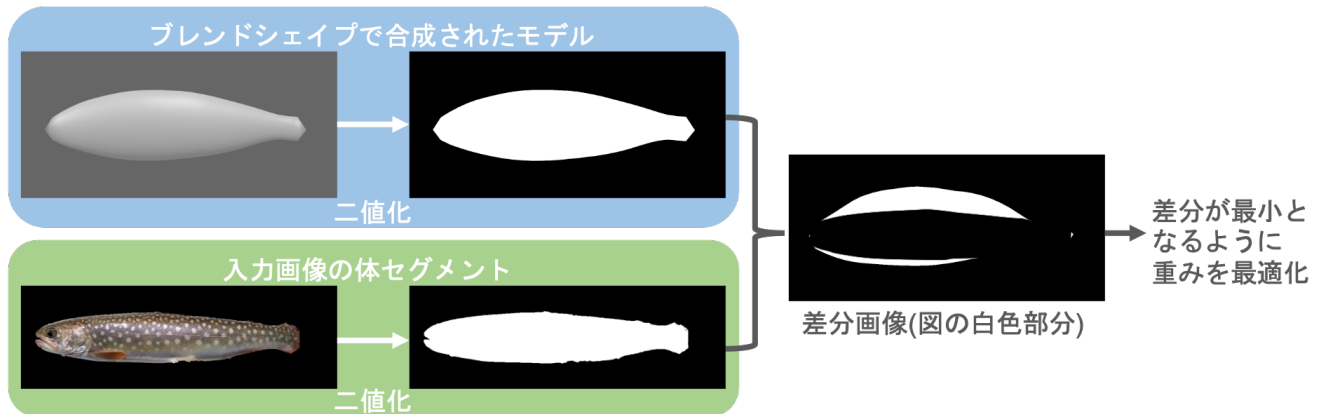


図 5: 画像を用いた重みの最適化

$$\frac{\partial E}{\partial w_i} = \frac{E(w_i + \epsilon) - E(w_i - \epsilon)}{2\epsilon} \quad (3)$$

ここで ϵ はユーザにより指定する微小な値である。 E の勾配は次式のように求められる。

$$\nabla E = \left(\frac{\partial E}{\partial w_1}, \frac{\partial E}{\partial w_2}, \dots, \frac{\partial E}{\partial w_n} \right) \quad (4)$$

この勾配を利用して、次式のように w を更新することを任意回数繰り返し、目的の重みベクトルを得る。

$$w' = w - t\nabla E \quad (5)$$

ここで、ステップ幅 t はユーザ指定するパラメータである。

7. 結果

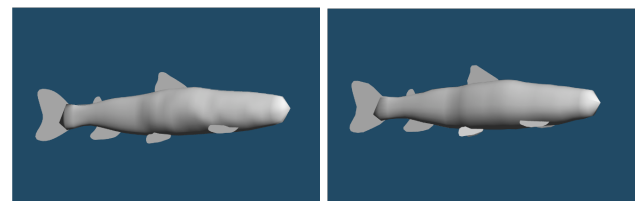
このセクションでは、提案システムの有用性を示すためにいくつかの例を紹介する。

まず、図 6 に示すように、システムと市販のソフトウェア (Meatsequoia) で同じ魚をモデリングするのにかかった時間を比較する。図 6a は提案システムによって作成したもので、約 9 分かかったのに対して、商用ソフトウェアによって作成された図 6b は、約 55 分であった。結果より、私たちのシステムは魚の形をモデリングするために設計されているため、市販のソフトウェアを使用するよりもはるかに高速にモデリングを行えていることがわかる。

次に、この手法の有効性を検証するために、提案システムを用いてさまざまなタイプの魚のモデルを作成し、モデリングに必要な時間を測定した。結果を図 7 に示す。これらのモデルは、画像セグメンテーションシステムと形状モ

デリングシステムを使用して作成したものであり、モデリング時間をキャプションに表示する。これらの結果は、提案システムがさまざまな種類のリアルな魚の形状を作成できることを示している。

次に、6 節で述べた手法を用いて重みの最適化を行った例を図 8 に示す。これらの画像はそれぞれ入力画像から重みの最適化を行い、その重みに従ってデータベースのモデルを合成した結果である。データベースのモデル数は 11 で、 $\epsilon = 0.001, t = 0.00002$ とした。図 9 の誤差関数のグラフは、それぞれループ数 315 回と 220 回で行った結果である。また、使用した二値画像のサイズは 341x213 で、計算時間はそれぞれ 4 分 55 秒と 4 分 10 秒であった。使用したマシンのスペックは MacOS, プロセッサ: 2.7 GHz デュアルコア Intel Core i5, メモリ: 8 GB 1867 MHz DDR3, グラフィック: Intel Iris Graphics 6100 1536 MB である。



(a) 提案システム (8min57sec) (b) Metasequoia(55min24sec)

図 6: 市販モデリングソフトとの比較



図 7: モデリング結果

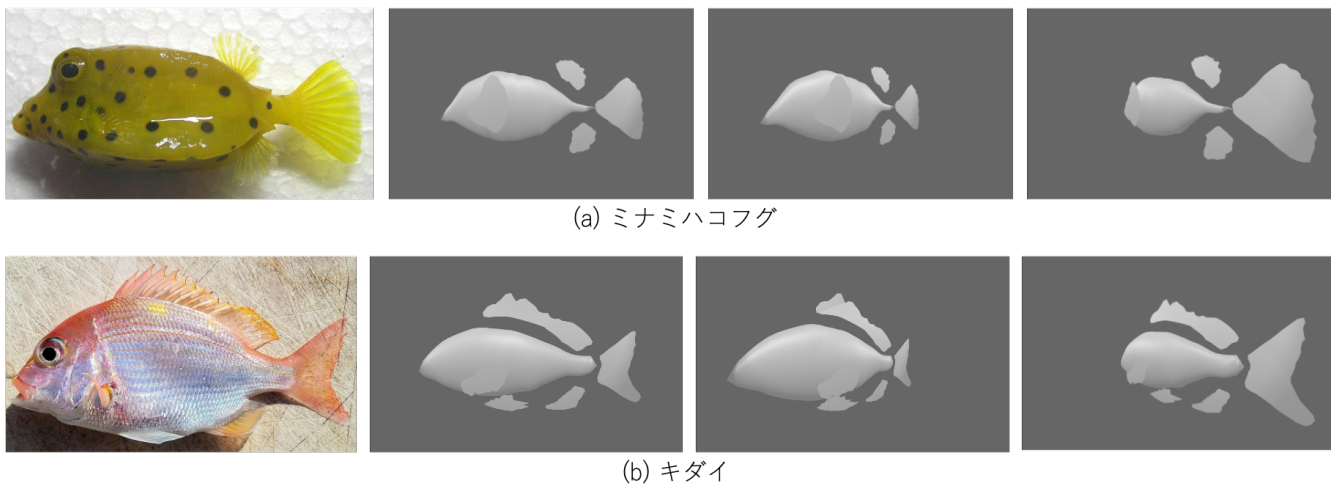


図 8: 画像を用いた重みの最適化

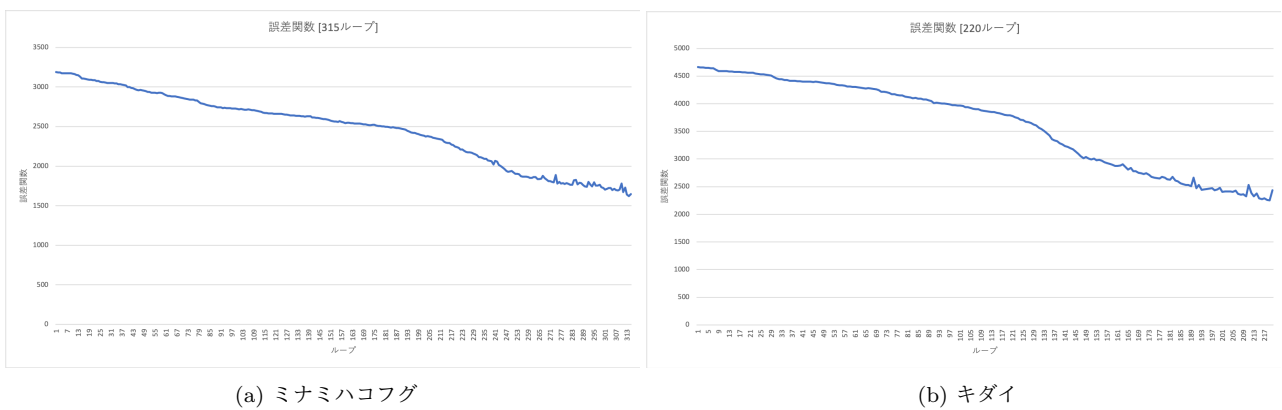


図 9: 誤差関数

8. まとめ

本稿では魚の形状を簡単にモデリングするシステムを提案した。このシステムでは、ユーザは単一の入力画像を使用して、リアルな魚の形状をインタラクティブに作成することができる。画像セグメンテーションシステムを使用して、入力画像から体とヒレのセグメントを抽出し、初期の3D形状が自動的に生成され、ユーザインタフェースによって形状を修正することができる。実験結果より、形状モデリングシステムにおけるモデリングでは有効性を実証したといえる。しかし、画像を用いた重みの最適化手法においては、ある程度入力画像の形状に近づいている傾向は見られるが、入力画像との形状の差異により、体がヒレと分離している状態になった。図8aでは、データベースにミナミハコフグの近縁種であるハコフグ(図7f)のモデルがあるため、それに近い形状に重みが最適化されていることがわかるが、尾に近い部分の特徴を持ったモデルがなかったために、細くなりすぎてしまったと考えられる。これを解決するためには、より多様な形状を持つモデルをデータベースへと取り入れる必要があるが、モデル数が多くなると誤差関数が複雑になり、正しく最小値へと降下されない可能性もある。

現在のシステムでは、体とヒレのみを作成することができるが、よりリアルなモデルを作成するためには、目や口、エラなどのより詳細な構造をモデリングする手法が必要である。また、私たちのシステムは、ヒラメなどの扁平で左右非対称な魚や、棘のあるヒレを持つ魚のモデルを作成することができないため、将来的にはこのような形状の魚のモデリングに対応したシステムへと拡張したいと考えている。画像を用いた最適化においては、まず結果のモデルの正確さを図る評価指標を設ける必要がある。また、モデル数を増やしての実験や、最適化に用いるモデルの選択方法を考える必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15H05924 および 15K21742 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] T. Igarashi, S. Matsuoka and H. Tanaka, *Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design*, Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '99, pp. 409-416, 1999.
- [2] Ding, C. , Liu, L. A survey of sketch based modeling systems. *Front. Comput. Sci.* 10, 985-999 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11704-016-5422-9>
- [3] I. K. Kazmi, L. You and J. J. Zhang, "A Survey of Sketch Based Modeling Systems," 2014 11th International Conference on Computer Graphics, Imaging and

- Visualization, Singapore, 2014, pp. 27-36.
- [4] P. E. Debevec, C. J. Taylor, J. Malik, Modeling and rendering architecture from photographs: a hybrid geometry- and image-based approach, *Proc. ACM SIGGRAPH 1996*, pp. 11-20, 1996.
- [5] A. Lindenmayer and G. Rozenberg, *Developmental systems and languages*, Proceedings of the Fourth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, STOC '72, pp. 214-221, 1972.
- [6] B. M. Oh, M. Chen, J. Dorsey and F. Durand, *Image-Based Modeling and Photo Editing*, Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH '01, pp. 433-442, 2001.
- [7] C. Rother, V. Kolmogorov and A. Blake, "Grab-Cut": *Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts*, *ACM Trans. Graph.*, vol. 23, pp. 309-314, August. 2004.
- [8] Y. Y. Boykov and M. P. Jolly, *Interactive Graph Cuts for Optimal Boundary & Region Segmentation of Objects in N-D Images*, Proceedings of International Conference on Computer Vision, vol. 1, pp. 105-112, July. 2001.