

近似形状の自動組み上げが可能な ユニット折り紙モデリングシステム

田村 友和[†] 高井 昌彰^{††} 高井 那美[‡]

[†]北海道大学大学院情報科学研究科 ^{††}北海道大学情報基盤センター [‡]北海道情報大学

1 はじめに

古くから折り紙に関する研究はよく行われており、中でも仮想空間内に折り紙を再現する研究はとりわけ盛んである [1][2]。それらの研究目的として、リアリティの追及や計算コストの軽減、あるいはユーザインタフェースの向上などがあげられる。しかし、従来の研究では不切正方形一枚折り、いわゆる一般的な折り紙が研究対象であり、複数枚の折り紙を組み合わせる一つの立体形状を作るユニット折り紙を対象とした研究は未だない。

また、ユニット折り紙には特有の難しさがあるため、任意の形状をユニット折り紙を用いて再現することが非常に困難であり、基本的な形でさえもユニット折り紙の扱いに慣れていなければ組み上げに苦労するといった特徴がある。

そこで本研究では、ユニット折り紙のデータ構造を定義し、組み上げに関する処理を実装することにより仮想空間内にユニット折り紙を再現する。さらに、3D モデルデータを入力として、その近似形状を自動的にユニット折り紙で再現することが可能なユニット折り紙モデリングシステムの開発を目的とする。

2 モデリングシステム概要

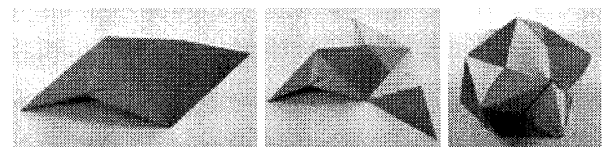
本システムは、マウス及びキーボードを用いてユニットを操作し、実際にユニット折り紙で実現することが可能な任意の形状を対話的に組み上げることができる。また、3D モデルデータを入力するとシステムがその形状を解析し、ユニットを適切に組み合わせるその近似形状を自動的に組み上げることができる。

2.1 ユニット折り紙について

ユニット折り紙の最大の特徴は複数枚の紙を用いる点にある。また、それらを全て同じ形に折ることも特徴としてあげられる。同じ形に折られた折り紙をユニットと呼び、それらを組み合わせることで一つの形を作

り上げる。その性質上、一般的には対称性の高い多面体などの形を作ることが多い。異なる折り方の折り紙を組み合わせる方法もあるが、これはユニット折り紙と区別して複合折り紙と呼ばれる。

本研究では、ユニット折り紙の中でも最も代表的な菌部式ユニットを取り上げる。菌部式ユニットは、プラグと呼ばれる他のユニットに挿し込む部分と、ソケットと呼ばれるプラグの受け入れ部分がある。このプラグとソケットを組み合わせることでユニット同士を結合させて、形を作り上げていく (図 1)。



(a) ユニット (b) 結合の様子 (c) 多面体

図 1: 菌部式ユニット

2.2 ユニットのデータ構造

本システムではユニット折り紙を表現するためにデータ構造を二つ定義した。一つは個々のユニットを表すためのデータ構造で、主にプラグあるいはソケットにどのユニットが結合しているかといった、ユニット同士の結合の状態を表すデータを持つ。もう一つはユニットが複数結合した状態を表すためのデータ構造である。これは主に各頂点の座標や、辺および面がどの頂点からなるかというデータを持つ [3]。なお、このユニットが複数結合した状態をユニオンと呼ぶ。

2.3 ユニットの組み上げ

ユニットの組み合わせ方は無数に存在し、同じユニットの組み合わせ方をしたとしても、個々のユニットの形状 (角度) が一意に定まるとは限らない。そのため、運動学でユニットの各頂点の位置を求めることは難しい。そこで本研究では、バネの釣り合おうとする力を利用する古田らの手法 [4] を用い、力学により頂点を適切な位置へ移動させ、形状を収束させる。

また、頂点を適切な位置へ移動させると共に、ユニットの結合のしかたに応じてユニット及びユニオンのデータを適切に書き換えることで、仮想空間内でのユニットの組み上げを処理を行う [3]。

3D Shape Approximation by Unit-Origami Modeling
Tomokazu TAMURA[†], Yoshiaki TAKAI^{††} and Nami TAKAI[‡]
[†]Graduate school of Information Science and Technology, Hokkaido University
^{††}Information Initiative Center, Hokkaido University
[‡]Hokkaido Information University

2.4 近似形状の自動組み上げ

3D モデルの近似形状をユニットで組み上げる準備として、入力モデルのボクセル化を行う。その際ボクセルとしては、各面が正三角形二つからなる菱形の平行六面体 (図 2) を用いる。これは、菌部

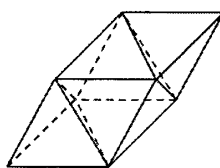


図 2: 平行六面体

式ユニットは組み合わせによって基本的に正三角形を作る特徴を持っている (図 4) ので、この性質を利用してボクセルの表面にユニットを隙間なく配置できるようにするためである。

入力モデルを平行六面体でボクセル化するために、まず立方体を平行六面体に変形する行列 A を求める。この A の逆行列を入力モデルに適用し、変形させた上で立方体によってボクセル化を行う。その後、そのボクセルに A を適用し立方体を並行六面体に変形させることによって、入力モデルを平行六面体のボクセルに変換する (図 3)。なお、このボクセルの解像度を調節することで、使用するユニットの数を大まかに変更することができる。

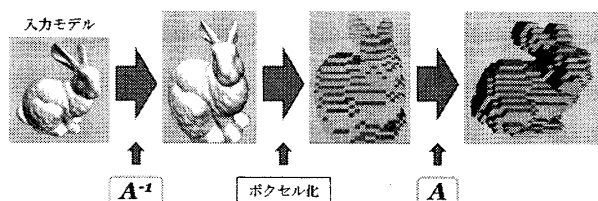


図 3: 平行六面体によるボクセル化の流れ

ボクセル化の後、ユニットを配置する場所を決定するためのボクセル表面上の正三角形の辺の位置と、ユニットの結合のさせ方を判断するための辺同士の位置関係を調べる。図 4 のように正三角形の各辺に配置したユニットは反時計回りに隣のユニットに順に結合する。このため各辺には、どのユニットに結合するべきかという情報として、反時計回りに隣の辺の識別番号を保持する。

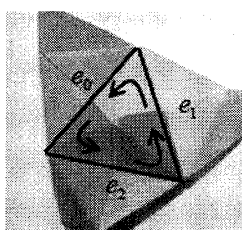


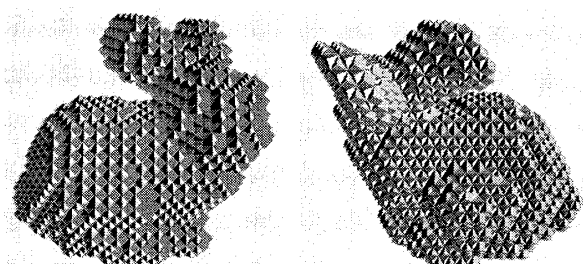
図 4: 辺の位置関係

最終的にユニットによる近似形状の構築を行うには、各辺が持っている位置情報に合わせてユニットの配置を定め、位置関係の情報から結合すべきユニットを特定し、2.3 に示した手法を用いてユニットを組み上げていく。

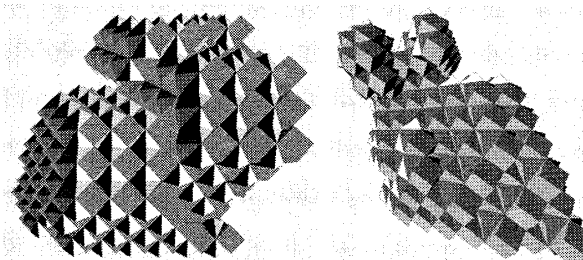
3 近似形状の構築結果

本システムにスタンフォードバニーの 3D モデルデータを入力として与え、ユニット折り紙で再現した結果を図 5 に示す。

図 5(a) から、10,000 個程度のユニットを用いることでスタンフォードバニーの形をよく再現できているこ



(a) ユニット数: 9,492 個



(b) ユニット数: 1,008 個

図 5: ユニット折り紙によるバニーの構築

とが分かる。しかし、図 5(b) のように使用するユニットの数が 1,000 個程では耳などの大きな特徴を再現することはできないものの、形のくびれなどを表現することは難しいことがわかる。より少ないユニットで近似形状を再現するには、形状の特徴に応じてユニットの結合の仕方を局所的に変化させるなどの改善が必要である。

4 まとめと今後の課題

本稿では、ユニット折り紙を仮想空間に再現し、3D モデルデータを入力して、その近似形状を自動的に構築するシステムについて述べた。

今後、システムが提示した結果を実物のユニット折り紙で組み上げるための支援機能を実装することにより実用性の高いシステムを目指すと共に、少ないユニットの数でも入力モデルに近い形状を構築できるようにすることが課題である。

参考文献

- [1] 三谷純, 鈴木宏正: “折り紙の構造把握のための形状構築と CG 表示”, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp.247-254, 2005.
- [2] 横山卓弘, 高井昌彰: “厚さを持った折り紙シミュレーションとその評価”, 情報処理学会研究報告, Vol.2000, No.115, 2000-CG-101, pp.19-24, 2000.
- [3] 田村友和, 高井昌彰, 高井那美: “ユニット折り紙の対話型モデリングシステム”, FIT2009 情報科学技術フォーラム講演論文集第 3 分冊, I-025, pp.291-292, 2009.
- [4] 古田陽介, 三谷純, 福井幸雄: “マウス入力による対話的操作を組み込んだ仮想折り紙システム”, 情報処理学会研究報告, Vol.2006, No.76, 2006-CG-123, pp.13-28, 2006.