2X-05

折り紙の CG 用幾何モデルの自動生成手法

田中 慎一† 金森 由博‡ 三谷 純‡

†筑波大学情報学群情報科学類　‡筑波大学システム情報系

1 はじめに

折り紙は日本に古くから伝わる文化の 1 つであり、近年では精密で複雑な折り紙作品が様々に作りだされている。しかしながら、折り紙の幾何形状には、薄い素材が多層に重なり、さらに折り込みを持つ、という特徴があり、このような幾何モデルを計算機上に正確に構築することは難しい。そのため、折り紙の形状を忠実に再現した CG 画像または映像を制作するには多大な手間を要する。本研究では、CG 用の幾何モデルでは外見のみを考慮すれば十分であり、内部構造の正確な再現は省略しても構わない、という考えに立脚し、自動または簡易な編集操作によって折り紙らしさを持つ幾何モデルを生成するための手法を提案する。以下では、対象とする折り紙の形状を大きく 2 つに分け、内部に空間を持つ多面体モデルと、平坦に折り畳まれた状態のモデルについて、第 2 節と第 3 節でそれぞれの手法を述べる。

2 多面体からの折り紙の幾何モデル生成

紙を折ることで得られる幾何的な基本要素は多角形であり、折り紙作品の多くは、その基本構造を多面体モデルとして表現できる。そこで、CG で一般的に用いられる多面体モデル（ポリゴンメッシュ）を入力とし、その形状に対して折り紙に特徴的な「折り込み」と「表面の微小な波うち」を付与することで、折り紙らしさを持った幾何モデルを生成することを行う。詳細は以下のとおりである。

2.1 提案手法

1 枚の紙から多面体を作る場合、元の紙には多面体の表面に現れる場所と、内部に折りこまれて見えなくなる場所が存在する。実際の折り紙の制作においては、1 枚の紙を切らずに済むように、折り込みを入れるべき適切な場所を決定することが困難な場合が多いが、本研究では折り紙らしく見えることを目指しているため、次のような簡易な方法で折り込み位置を決定する。

折り込み位置の決定

多面体モデルの展開図を作成し、作成した展開図の輪郭となる辺を折り込み位置とする。展開図は、モデル中のある 1 つの面を平面上に展開した後、接続関係にある面を順次展開する操作を再帰的に行うことで作成する。このアルゴリズムは単純であるため、複数の面が重なって配置される場合もあるが、このような展開図を用いて後述する折り込み表現の追加を行ったとしても生成されるモデルの折り紙らしさは損なわれないとして、この方法を用いた。次に、決定された折り込み位置を用いて多面体モデル幾何変形を施すことで折り込み表現を追加する。

折り込み表現の追加

折り込み位置に切り込みのような隙間を作成し、作成した隙間に**図 1** のような面を追加することで、折り込みを表現する。隙間は、それぞれの折り込み位置の辺で接続する 2 面を引き離すことで作成する。各辺に設ける隙間の大きさは、隙間を挟んで向かい合う 2 辺 E_1, E_2 の展開図における距離に比例して、モデル中の辺の平均の長さの $\frac{1}{40}$ から $\frac{1}{10}$ となるようにした。次に、設けた隙間を挟んで向かい合う 2 辺 E_1, E_2 を 1 つの組とし、辺の組からどちらかの辺を選択して（ここでは E_1 を選択したものとする）、E_1 の属する面における E_1 の対頂点 v_{E_1} の周りの面の法線ベクトルの合成ベクトルのなす直線上に、v_{E_1} との距離がモデル中の辺の平均の長さの $\frac{1}{20}$ となり、モデルの内側となる位置に頂点 v_{inner} を作成する。その後、v_{inner} と E_1, E_2 によって 2 つの三角形の面を作成する。この操作をすべての辺の組に対して行うことで、多面体モデルに折り込み表現を追加する。

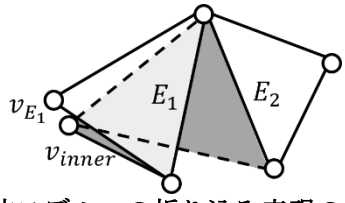

図 1 :多面体モデルへの折り込み表現の追加（グレー部分）

2.2 結果

提案手法を立方体モデルに対して適用した例を示す。**図 2**（左）を入力して、**図 2**（右）が出力として得られた。ところで、それらしく幾何形状を作成しても、レンダリングで得られる面の質感が原因で違和感を覚える可能性がある。その質感の違和感を軽減するために、紙であることが直感的にわかりやすい新聞紙をテクスチャとして貼り合わせた。また、パーリンノイズをディスプレイスメントマッピングすることで、折り紙表面の微小な波うちを表現した。その結果、元のモデルからは**図 3**（左）が、提案手法で生成したモデルからは**図 3**（右）がレンダリングによって得られた。レンダラは mental ray for Maya 2015 を使用した。元のモデルではテクスチャが不連続な箇所で不自然さが生じているのに対し、提案手法で生成したモデルでは十分リアリティのある画像が作成できた。

Automatic generation of origami model for CG

Shinichi TANAKA†, Yoshihiro KANAMORI‡ and Jun MITANI‡
†College of Information Sciences University of Tsukuba
‡Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

Copyright ©2016 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

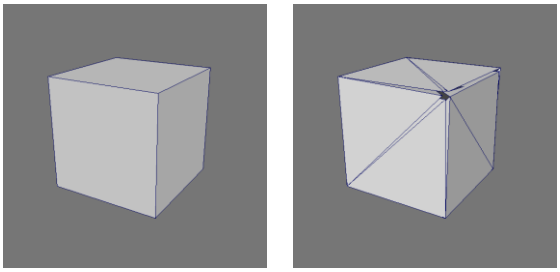

図 2 : 入力モデル（左）と出力モデル（右）

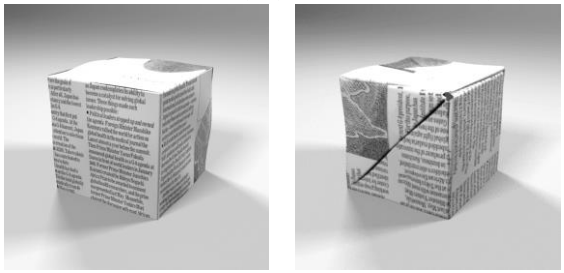

図 3 :入力モデル（左）と出力モデル（右）のレンダリング結果

3　平坦折り紙の形状データからの折り紙の幾何モデル生成

紙を平坦に折り畳むことで作られる折り紙は、文献[3]で用いられている手法により、計算機内の形状データとして扱うことができる。形状データにおいて、平坦折り紙は厚さ 0 の多角形の集合で表現されるため、紙の厚みにより生じる形状を持たない。そこで、平坦折り紙の形状データを入力とし、これに対して紙の厚みや紙の重なり関係により生じる立体的な形状を与えることで、平坦に折り畳まれた状態の折り紙の幾何モデルを作成する。詳細は以下のとおりである。

3.1　提案手法

提案手法では、面の重なり関係に従って厚みのあるモデルを自動生成し、これに対してユーザが微調整を加えることでモデルを完成させる。文献[1]の手法を適用した後、面の重なり関係に基づいて構成面の分割を行い、分割された面ごとに圧縮操作を加えることで、より平坦折り紙らしい形状を作成した。また、文献[1]の手法で追加した面のうち、外部から見えない面の削除を行った。その後の微調整では、折り紙の形状編集のために文献[2]で提案されているバネマスモデルを用いることで、ユーザによる形状設計の支援を行った。

圧縮操作と面の削除

文献[1]の手法は折り紙の構造把握を目的としているため、生成されるモデルが平行な面で構成されることや、厚さ方向に不自然な隙間ができる場合があるという点で、CG 制作に用いるには問題がある。そのため、生成されるモデルに対して、折り紙の重なり関係を求めるために文献[3]で用いられる細分化手法を適用し、細分化された面単位で、厚さ方向にできる隙間を埋めるような面の再配置を行うことで、より自然な形状を生成した。また、文献[1]の手法で作成されるモデル内部の面の継ぎ手の中で、他の継ぎ手に覆われるものは、外部からは見えないと判断し、モデルから取り除くこととした。これにより、後述するユーザ入力による微調整の際に面の自己干渉が発生することを緩和した。

ユーザ入力による微調整

ユーザは、マウス操作によりモデル内の頂点を移動させることができる。接続関係にある頂点間に張られたバネをシミュレートすることで、元々の面の形状を保ちつつインタラクティブにモデル形状を編集することができる。

3.2　結果

提案システムで生成したやっこモデルの例を示す。厚みの付与によって図 **4**（左）のようなモデルが自動生成された。これに対して提案システム上でユーザ入力による形状編集を行うことで、図 **4**（右）のようなモデルが作成できた。作成されたモデルのレンダリング結果は図 **5** のようになった。レンダラは、mental ray for Maya 2015 を使用した。形状編集の所要時間は 5 分程度であった。主観による評価ではあるが、マウスによる頂点編集のみで短時間で容易にモデル制作を行うことが可能であった。

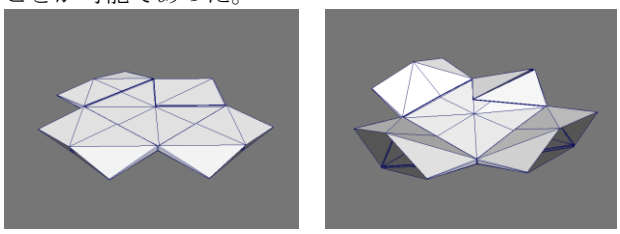

図 4 :自動生成されたモデル（左）とユーザ入力による微調整を加えたモデル（右）

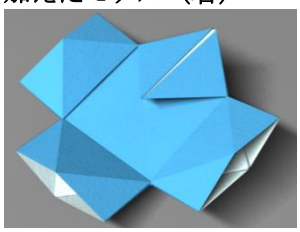

図 5 :作成したモデルのレンダリング結果

4　まとめと今後の課題

多面体モデルと平坦折り紙モデルの 2 つについて、折り紙の CG 用の幾何モデルを自動生成する手法を提案した。今後の課題として、頂点数の多い複雑なモデルへの対応や、自動生成されるモデルの品質向上が挙げられる。

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] 古田陽介, 木本晴夫, 三谷純, 福井幸男 : マウスによる仮想折り紙の対話的操作のための計算モデルとインタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12,pp. 3658-3669, (2007).

[3] 三谷純 : 折紙の展開図専用エディタ(ORIPA)の開発および展開図からの折りたたみ形状推定, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.9, pp.3309-3317,(2007).

Copyright ©2016 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.