

3D ポリゴンモデルからの「折り紙建築」モデル生成手法

三谷 純

鈴木 宏正

宇野 弘

東京大学大学院工学系研究科
情報工学専攻

東京大学大学院工学系研究科
精密機械工学専攻

エービーネット株式会社

本研究ではボクセルによって折り紙建築モデルを表現する手法をベースに、3D ポリゴンモデルからの折り紙建築モデルの生成について述べる。その際、元の形状特徴を維持しつつ工作が容易な折り紙建築モデルを生成することに主眼を置く。従来の我々の手法では特にボクセルの解像度を上げたときに幅の細かい上面が多数発生するが、本研究ではこれを省くことで、工作が容易な折り紙建築モデルを生成する手法を提案する。また、折り紙建築のモデルを平面から立ち上げ、折り畳むまでをCG表示する方法についても述べる。これらの手法を実装し、実際に折り紙建築による紙模型を作成することでその有効性を確かめた。

Generation of the Origamic Architecture models from 3D polygonal models

Jun Mitani

Hiromasa Suzuki

Hiroshi Uno

Department of Information
Engineering,
The University of Tokyo

Department of Precision
Machinery Engineering,
The University of Tokyo

abnet corporation

This paper proposes a new method to generate Origamic Architecture models from 3D polygonal models. It is based on the handling of voxels and can the crafting. With our previous methods, when the resolution of the voxel is raised, many thin faces are generated. With this approach, the system omits these thin faces and makes it easy to create the model. We also propose the way to display the Origamic Architecture model that is in the middle position of holding as CG images.

1 はじめに

「折り紙建築」とは3次元形状を所謂「ポップアップカード」で表現する手法であり、茶谷正洋氏によって考案された紙工作の手法[1]である。本研究では1枚の紙から成り、90°に開いたときに3次元形状が立ち上がるものを対象とする。折り紙建築には「2つ折りで折り畳める」という形状の制約があるため、作成には図形の知識と経験が必要とされ、今までは熟練者の手による試行錯誤

によってなされてきた。

単純なポップアップカードをCG表示する手法は[2]で述べられている。我々はボクセルを用いることで折り紙建築モデルを効率よく表現できることに着目し、より複雑な折り紙建築モデルをCG表示する方法、及び計算機によって折り紙建築の設計を支援する方法を提案した[3]。この手法では、ボクセルで表現された形状の境界面を抽出することで、折り紙建築モデルのCG表示を行っている。

折り紙建築の基本要素は側面が長方形となる形状で表せることから、例えば、図 1(a)のように、ベースとなる底面及び背面上にボクセルで表現された形状を配置し、境界面の正面と上面だけを抽出すると、実際に折り紙建築として作成される形状を(b)のように CG で表示可能である。また、(c)に示す形状についても、開口部を考慮することで(d)のように CG 表示できる。

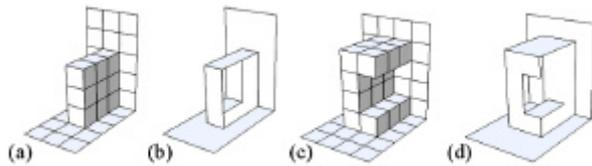


図 1. ボクセルを用いた折り紙建築の表現

また、我々は既存のポリゴンモデルから、ボクセルモデルを生成し、そのボクセルモデルに対して複数のフィルターを適用することで、効率よく折り紙建築モデルを生成するための手法や、折り紙建築モデルとして妥当な形状であるかを判定するためのアルゴリズムなども提案した[4]。しかし、ボクセルによる形状表現は、実装が容易である反面、曲線や斜線を含む形を扱えないという問題がある。これはボクセルを詳細化することである程度対応できるが、ボクセルが細くなると、幅の細い上面が多数発生し(図 3(a)、実際の工作が困難になってしまうという問題がある。

そこで本研究では、細かい面を省略することで、工作の手間をかけずに曲線、斜線を近似表現できる方法を提案する。また折り紙建築モデルの設計を計算機で支援する際の 1 つの機能として、実際に折り紙建築として、1 枚の紙から立ち上げ、折り畳むまでを CG 表示する方法についても述べる。

2 ポリゴンモデルからの折り紙建築モデル生成

ポリゴンモデルから折り紙建築モデルを作成するまでの流れは図 3 のようになる。この処理の流れは[4]で提案したもので、本研究でもこの手法を

用いる。本研究で提案する折り紙建築モデル表現手法は図 2 中の「折り紙建築表現可能なボクセルデータ」に対して行うものである。

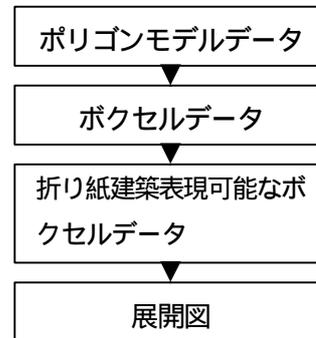


図 2. 折り紙建築のボクセル表現と CG 表示

2.1 ボクセル詳細化による対応

正面からの投影に斜線部を含む形状を[4]で提案した手法で生成した折り紙建築モデルは図 3(a)に示すようになる。このように、ボクセルモデルを詳細にすることで斜線や曲線も表現できるが、幅の細い上面が多く発生し、CG で表示はできても実際に作成することが困難なモデルとなってしまう。そこで、本研究では、図 3(b)に示すように、細い箇所を省略することで、ボクセルを詳細化することで近似精度を上げて、工作にかかる作業は少なくともすむ折り紙建築モデルの生成手法を提案する。

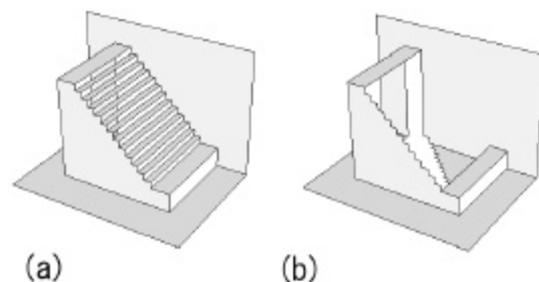


図 3. 折り紙建築のボクセル表現と CG 表示

ここで省略可能な上面とは、以下の条件を満たすものである。

- ・ 幅が閾値(図 3(b)では 1)以下である
- ・ 省略しても支えがなくなる

例えば図3(b)で全ての上面を省略してしまうと、90度に開いたときに正面部が立ち上がらなくなってしまう。後者の条件はこれを防ぐためのものである。

図4はこの上面の省略について、閾値を1に設定した例であり、灰色のセルは正面から見たときにボクセルが存在する箇所、太線は上面を生成する箇所を表す。b,c,dの列はそれぞれ幅が1の上面を持つが、全て省略してしまうと支えが無くなってしまいうため、最も高さのあるaには上面を残す。f,g,hの列は同じ高さであり、幅が閾値より大きいいため、上面の省略は行わない。

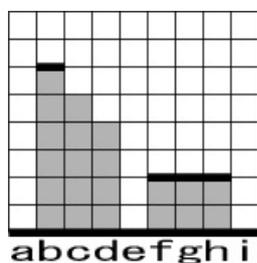


図4. 上面の省略(正面図)

上面を省略する際には、本来上面に使用されるべきであった面を図5に示すように、背面及び底面に移動する。

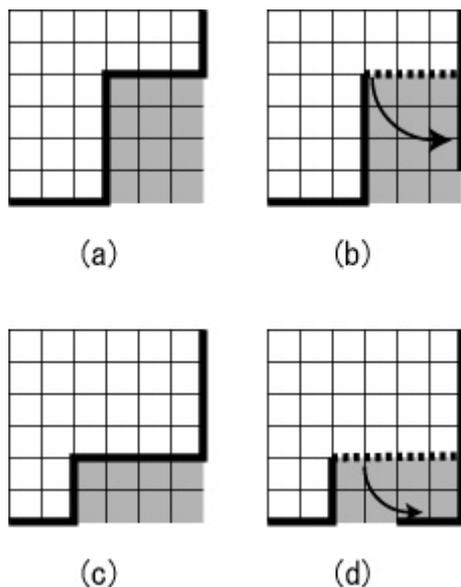


図5. 上面の省略(側面図)

図5は折り紙建築モデルをボクセル表現したものを側面から見たものである。灰色のセルは側面ボクセルが存在する箇所を表し、太線は面の存在を表す。従来の手法では(a),(c)のように表示されるが、上面を省略する場合は、それぞれ(b),(d)のように上面部分を背面に移動して表示する。移動後、(c)は背面が底面よりも下に存在してしまうため、その分については(d)のように、再度底面への移動を行っている。

このようにすることで、1枚の紙から生成される折り紙建築モデルを適切にCG表示することが可能である。

3 CGによる折り畳み表示

我々は今まで、折り紙建築モデルが90°に開いたときの完成予想図をCG表示する手法を提案した。これはボクセルの境界面を表示することで行っていたが、ボクセルを歪めることで、折り畳み途中の形状も容易にCG表示することができる。これは図6のように、ボクセルの断面を目的の開閉角度を内角に持つ菱形へ変形することで実現できる。図6(a)が一般的なボクセルで折り紙建築モデルを表示する例で、(b),(c)はそれぞれ135°に開いている様子と45°に閉じている様子を表す。実装は容易でありながら、折り畳みのシミュレーションには有効である。

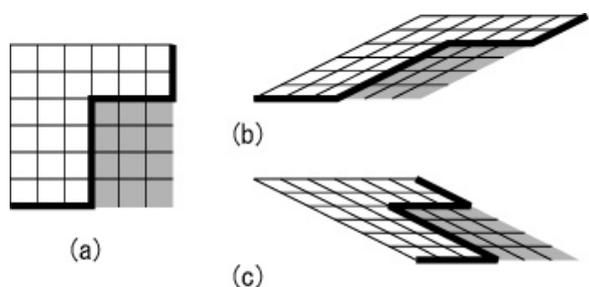


図6. 折り畳み途中の形状表示(側面図)

4 結果

本論文で提案した手法を実装し、斜線と曲線を含む形状として、図 7(a)に示すような三角形と半円を断面に持つ 3 次元形状に適用した。なお、これはポリゴンモデルであるため、ここでの半円は厳密には曲線ではなく折れ線である。このモデルを横 128、縦と奥行きが 64 の解像度を持つボクセルに変換したものが(b)である。従来の手法で生成した折り紙建築モデルの CG 表示とその展開図が(c), (e)であり、本稿で提案した手法を用いたものがそれぞれ(d), (f)である。(g)は本手法を用いて作成した折り紙建築モデルを実際に工作した作品の写真である。展開図の印刷後、工作にかかった時間は 3 分程度であった。

また、本稿で提案した手法によって、折り紙建築を 1 枚の紙から立ち上げ、2 つ折りで折り畳むまでの途中形状を CG 表示したものが図 8 である。CG 表示の際にボクセルの形状を歪めるだけでよいので、実装は容易であった。

5 結論

本論文では、予め定めた閾値以下の幅を持つ上面を省略することで、工作が容易な折り紙建築モデルを生成する手法を提案した。この手法を実装し、実際に生成した展開図から折り紙建築のモデルを作成することで、ボクセルの解像度を上げてても展開図が複雑になることを抑えられることを確認した。本手法では面を省略する際に支えが無くなるようにしているので、90 度を開いたときに 3 次元形状が立ち上がることが保障されている。

また、折り紙建築を折り畳む様子を CG 表示するための手法を提案した。この手法を実際に実装し、結果の CG 画像を出力することで、その有効性を示した。

6 今後の展望

本研究で提案した手法を用いることで、ボクセルの解像度を上げることによって、曲線や斜線を

近似的に扱えるようになった。しかし、ボクセルの解像度を上げた場合、処理の負荷は解像度の 3 乗に比例して高まるため、さらに高い解像度で形状を扱うためには、八分木を用いて効率的にデータを保持するなどの工夫が考えられる。

また、従来の人の手による折り紙建築には、多くの趣向を凝らした作品が見られるが、これらを忠実に計算機内で扱うことは困難である。より自由度の高い作品を作れるようなインターフェースや、新しいデータ構造の開発も必要であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は情報処理振興事業協会(IPA)の委託により財団法人ソフトウェア工学研究財団(RISE)が実施した平成 13 年度「高度情報化支援ソフトウェアシーズ育成事業」での支援を受けて行ったものである。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 茶谷正洋, “折り紙建築虎の巻”, 彰国社 1985.
- [2] Andrew Glassner, “Andrew Glassner’s Notebook”, IEEE Computer Graphics and Applications, 79-86, January 2002
- [3] 三谷純, 鈴木宏正, 宇野弘, “ボクセルを用いた「折り紙建築」形状の設計”, 2002 年度精密工学会春季大会学術講演会, to be appear
- [4] 三谷純, 鈴木宏正, 宇野弘, “計算機による「折り紙建築」形状の設計支援”, 2002 年度日本図学会大会, to be appear

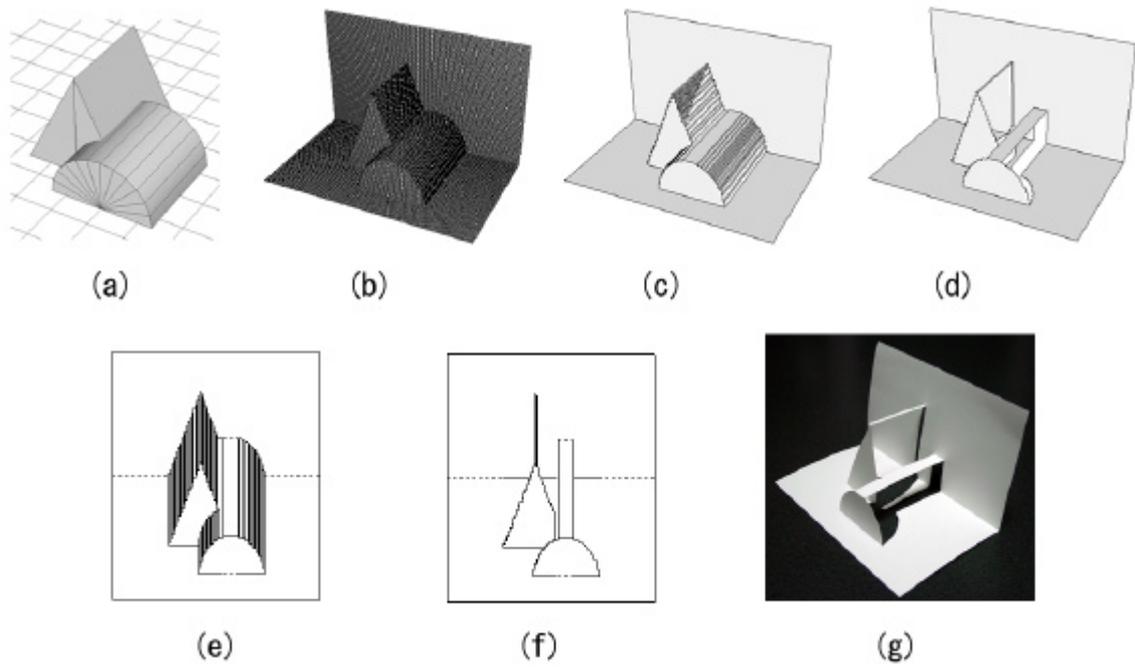


図7. ポリゴンモデルからの折り紙建築モデルの生成

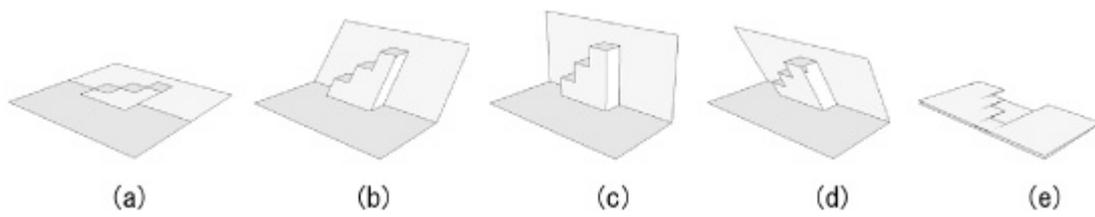


図8. 折り紙建築モデルを折り畳む様子のCG表示

付録1 展開図の生成について

対象とする折り紙建築は1枚の紙から作成できるため、折り紙建築の面を構成する領域と、展開図を構成する領域は図1(a)と(b)のように1対1の対応をとることができる。図中 a~k で表される各セルについて、折り紙建築モデル上での隣接セル間のなす角を調べることで、展開図上に現れる山折り線、谷折り線、及び切断線を決定することができる。なす角と線種の対応は表1の通りである。

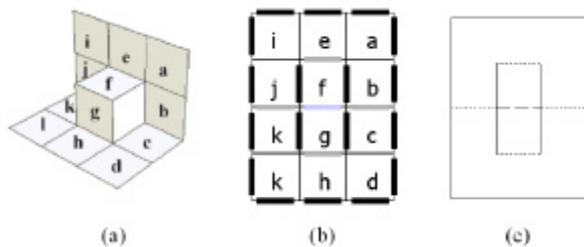


図1 折り紙建築モデルと展開図

表1 隣接セル間のなす角と線種

なす角	90°	180°	270°	なし
線種	谷折り	なし	山折り	切断

このようにして図1(c)のような、目的とする形状の展開図を生成することができる。この展開図生成の手法は開口部が存在する場合も同じように行うことができる。

付録2 折り紙建築として妥当な形であるかの判定について

付録1で示した手法で生成した展開図を元に、折り紙建築として妥当な形状であるかどうかを以下のアルゴリズムで判定する。なお、ここでの妥当な形状とは、90度を開いたときに目的の形状が立ち上がる形状であることをいう。

1. 図1(b)に示す展開図中の各セルについて、以下の方法で巡回しながら巡回済みのフラグ立てを行う。
 - (1) 展開図の左上隅からスタートし、隣接する左、下、右のセルを巡回する。その際、隣接するセルの間に切断線が存在したら巡回は行わない。
 - (2) 展開図の左下隅からスタートし、隣接する左、上、右のセルを巡回する。その際、隣接するセルの間に切断線が存在したら巡回は行わない。
2. 展開図中の上面と正面を成すセルのうち、正面を成すセルについて、もしフラグの立っていないものが存在したら実現可能でない形状である。

- る左、下、右のセルを巡回する。その際、隣接するセルの間に切断線が存在したら巡回は行わない。
- (2) 展開図の左下隅からスタートし、隣接する左、上、右のセルを巡回する。その際、隣接するセルの間に切断線が存在したら巡回は行わない。
2. 展開図中の上面と正面を成すセルのうち、正面を成すセルについて、もしフラグの立っていないものが存在したら実現可能でない形状である。

上記のアルゴリズムを適用した例を図2に示す。展開図のうち、左側が左上隅から巡回を開始したもの、右側が左下隅から巡回を開始したものである。(a)、(c)は、フラグの立っていない正面セル(図中×印)が存在するため、適切でない形状であることがわかる。

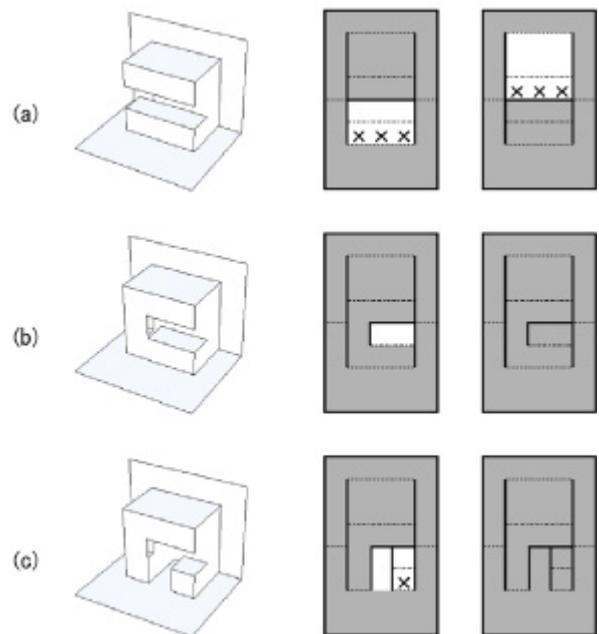


図2 妥当性の判定