

折紙とコンピュータ

Origami and Computer

三谷 純

Mitani Jun

■ はじめに

私は現在、筑波大学でコンピュータサイエンスの講師をしています。専門分野はCG(コンピュータグラフィックス)で、コンピュータで3次元の形を効率的に扱うための研究をしています。これ以外にペーパークラフトにも興味を持っており、パソコンで設計した立体の展開図を作って、それを実際に組み立てて遊んだりしています(図1)。

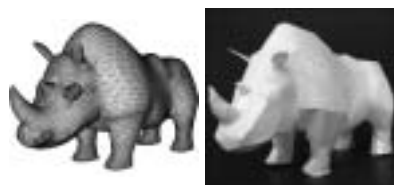


図1 サイのCGデータとそれを元に作成したペーパークラフト

最近では、紙で形を作るという観点から折紙にも興味を持ち始め、パソコンで折紙を扱う研究も行うようになりました。さて、そんな折りに今年の8月に行われた第11回折紙探偵団コンベンションにご招待いただき、大勢の折紙愛好家の方々の前で講演させていただくという、ありがたい機会をいただきました。発表の後には、たくさんの貴重な質問やご意見をいただくことができました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

本稿では、講演の席で話させていた「折紙とコンピュータ」の概要について、紹介させていただきます。

■ 折紙をコンピュータで扱う

私は、もっぱらCGを専門にしている人

間ですので、折紙そのものよりも、コンピュータで取り扱う題材としての折紙の面白さに興味を持っています。折紙とコンピュータの間にどんな関係があるのだろうか、と思われる方もいるかもしれませんが、実はコンピュータを用いる情報処理の分野においては、折紙をテーマにした研究は多く行われています。その中でも、宮崎慎也氏はコンピュータを用いて対話的に紙を折る「折り紙シミュレーション」の研究を行っており、その成果は広く知られています[編集部註:本誌64号で紹介記事あり]。このシミュレータの実行ファイルとソースコードはWeb上(<http://www.om.sccs.chukyo-u.ac.jp/main/research/origami/indexj.html>)に公開されており、私も研究を進める上で、氏の作成したコードを活用させていただいています。

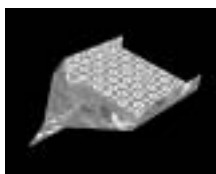


図2 宮崎氏の折り紙シミュレータで作成された飛行機のCG表示

以降では、私が去年から今年にかけて行った、折紙をコンピュータで扱うための研究を紹介します。

■ 折紙のCG表示

折紙の形をコンピュータで扱う研究では、紙の厚みを無視した平面の集合で形を表現することが一般的です。しかし、それをそのままCGで表示すると、紙が複数重なっている場所も厚みの無い平面として表示されてしまうため、どのよ

うな構造をしているのか理解できないという問題があります。一方で、折紙の教本に見られる折り図では、形の特徴を把握しやすいように、紙の厚みを強調したり、角の重なりを意図的にずらして描くなどの工夫が見られます。そこで、平面の集合で表現された折り紙のデータに対して、画面に表示する前に形の再構築を行うことを考えました。具体的には、厚み方向への面の再配置と面同士の接続部の作成、そしてずれを表現するための頂点位置の変更を行います。再構築された折紙の形は立体的な情報と共にコンピュータの中に格納されるので、画面の中で回転させて、任意の角度から眺めることができます。以下に、もう少し詳しい内容を記します。

■ 紙の厚みの表現

厚さがゼロの平面の集合で表現された折紙のデータに対して、複数枚重なっている場所では、面の位置を法線方向(紙の厚さ方向)へ一定量だけ移動させ、それぞれの面を視覚的に識別できるようにします。単純に面を移動させただけでは、面がバラバラに見えてしまうので、本来つながっているべき場所には面と面をつなぐ細長い曲面を追加します。この処理を行うことで、図3のように、紙の厚さが強調され、重なり合い具合が視覚的に確認できるような表示を行えるようになります。

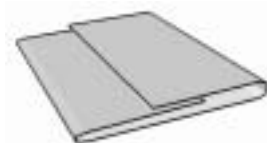


図3 紙の厚さを強調した表示

折紙とコンピュータ

Origami and Computer

三谷 純

Mitani Jun

■ 紙の重なり表現

紙の厚さを強調しても、図4と図5の左側のように、紙の角をぴったり合わせる折り方をした場合、真上から見るとどのような折り方になっているのかわかりにくくなってしまいます。そこで、わざと頂点の位置をずらすことを行います。図4左のように、異なる頂点がそれぞれ奥側と手前側にあって重なって見える場合、折紙の面の重心を中心に互いに逆向きに一定角度だけ回転させます。これで図4右のように見せることができます。

図5左のように、異なる頂点が同じ場所にあるけれど、どちらも手前側にある場合は、その頂点に隣接する稜線にひっぱられるように互いの頂点を移動させます。この操作で、図5左を図5右のように表示することができます。



図4 頂点位置のずらし(1)



図5 頂点位置のずらし(2)

■ CG表示

以上、簡単に説明しましたが、いろいろなパターンの折紙について、従来の方法と私が考案した方法を比較したものが図6になります。折紙の厚さと頂点のずれが表現されることで、実際にどのように折られたものであるのか、わかりやすい表示になっていることが確認できると思います。

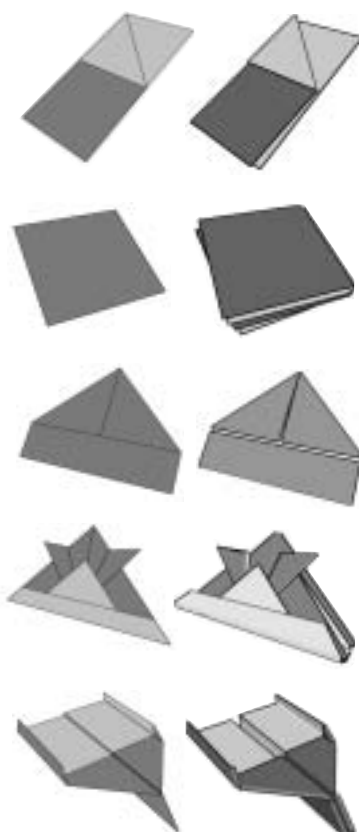


図6 従来の表示(左)と提案手法(右)

■ 折紙の形のキャプチャ

既に紹介した宮崎氏のソフトウェアで、折紙の形をコンピュータ上で操作できるようになりましたが、パソコンの扱いに不慣れな方には、まだ難しいかもしれません。そこで、折紙の形をいかに簡単にコンピュータに取り込むか、ということをやテーマとした研究を行いました。この研究では、デジタルカメラで撮影した画像から折紙の構造を推定し、コンピュータ内に折紙の形を構築することを行いま

しました。と言っても、折紙の写真からその構造を認識するのは人間でも難しいことです。事前に折紙の裏と表の両面に2次元バーコードを複数印刷し、1回折るごとに写真撮影する、というアプローチを採用しました。これにより、折紙をデジタルカメラで撮影する、という極めて簡単な方法で、その構造をコンピュータの内に取り込めます。以下に、もう少し詳しい内容を記します。

■ QRコードの使用

QRコードは図7左のような2次元バーコードです。現在では携帯電話のカメラに標準で読み取り機能が備わっていることが多いので、おそらくみなさんもどこかで見かけたことがあるでしょう。これを表と裏の両面に20×20ずつ印刷したものの(図7右)を折紙に使用しました。それぞれのQRコードには、そのQRコードが紙の中でどの位置にあるのか、そして裏と表のどちら側に印刷されたものであるのかを示す情報を格納しておきます。

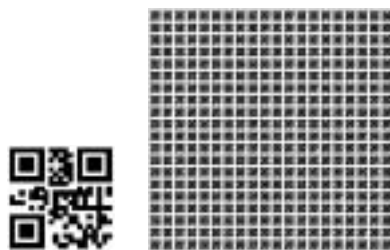
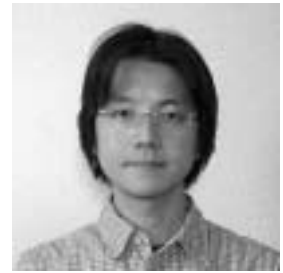


図7 QRコード(左)とQRコードを20×20(400個)並べた様子(右)

■ 折り線の位置の推定

図8左のように紙を折った場合、図8右の○印のように、折る前の場所と折った

三谷 純(みたに・じゅん)=1975年静岡生まれ。筑波大学大学院コンピュータサイエンス専攻講師。コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。



後の場所の対応がとれると、その2点の垂直二等分線が折れ線であると推測できます。これは、折った後の写真画像から得られるQRコードと、コンピュータの中に保存されている折る前のQRコードの位置を比較することで行えます。

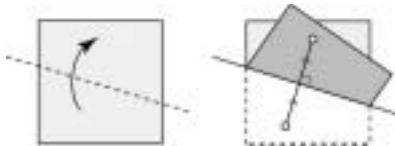


図8 折り線位置の推定

■ 折り方の推定

先ほどの方法で折り線の位置が求まっても、折り方は一意に決まりません。まず、山折と谷折を区別する必要があります。また、図9の(1)と(2)のように、複数の紙が重なっている場合、折り線の位置が同じでも複数の折り方が存在します。

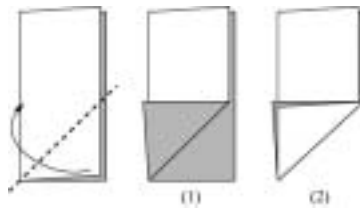


図9 同じ折り線での異なる折り方

そこで、「可視コード群比較法」と命名する次の手順を用いて、最も妥当と思われる折り方を決定することにしました。

「可視コード群比較法」

1. コンピュータ内のモデルに対して可能な折り方を全て試行する。
2. それぞれの折り方を行ったときに外部

から見えるであろうQRコード群を算出する。

3. このQRコード群と、実際に写真に含まれるQRコード群を比較する。
4. 両者に含まれるQRコードの数が多い折り方を正しい折り方として採用する。

ところで、実は図10のような、ちょうど半分に折る折り方が行われた場合、片側の面のQRコードしか写真に写らないので、折り線の位置を推定できないという問題があります。この問題に対処するために、もし折り線の位置がうまく見つからなかったら、たぶん半分に折られたのだろう、という推測を行って、やはり先ほどの「可視コード群比較法」を使って折り方を決定するようにしました。

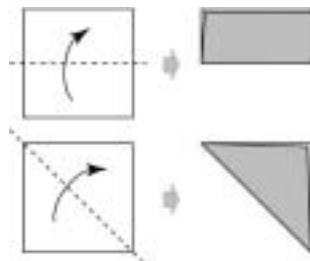


図10 折り線の位置が求まらないケース

■ 結果

ここで考案した方法を、実際にパソコンに組み込んで実験した結果を示します。図11は2回の折り操作を行った様子です。図12は「セミ」を折った様子です。セミは全部で9回の折り操作が必要ですが、紙幅の都合で途中を省略しています。この図からわかるように、デジタルカメラで撮影した折紙を解析することで、コンピュータの中に折紙の形を取り

込むことができました。

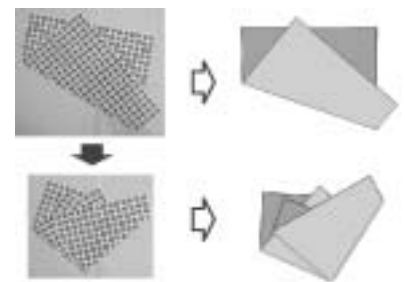


図11 折紙の写真(左)とコンピュータが解析して再現した折紙の形

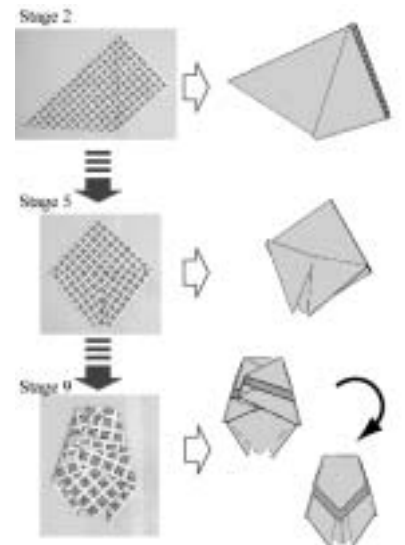


図12 折紙の写真(左)とコンピュータが解析して再現した折紙の形(右)

■ おわりに

ここでは私が行った折紙とコンピュータに関する研究を2つ紹介しました。私は折紙についてはそれほど詳しくないので、もしかしたらおかしいことをしているかもしれません。皆様から様々なご意見やご指摘をいただけたら幸いです。