

## 3D 折り紙アニメーションのためのモデリングソフトウェアの開発

システム情報工学研究科 1年 古田 陽介 (200620987)

指導教員: 三谷 純、福井 幸男

発表日時: 2006年11月2日

### 発表時の質問

---

ユーザは糊付けや切れ込みを入れるといった操作を行うことはできるか

---

### 発表時の回答

現在はまだ実装されていない。しかし将来のバージョンで追加する予定である

### 発表時の質問

---

連鶴のような一部でギリギリにつながった紙を用いて形状を作ることは可能か

---

### 発表時の回答

ギリギリなところに切れ込みを入れることはできる(※この回答は不適當であった)。実際の紙では紙のやわらかさなどを使って本来ならありえない形を作ることができるが、面を小さな三角形に分割して柔軟性を持たせることができるのではないかと考えている。

### 改善した回答

現在のプログラムではまだ切れ込みを入れる機能は実装されていないが、将来的にはできるようになる予定である。ギリギリでつながっている部分においてはネジレが発生するため、その付近を微小な三角形の集合に分割するなどの工夫が必要になるだろう。

### 発表時の質問

---

折り紙の中にはユニット折り紙のように多数の紙を組み合わせて作るものがある。このプログラムでそのような作品を作ろうとした場合は衝突計算で形状を維持するのか。それには大変な計算コストがかかるため現実的ではないのではないかと

---

### 発表時の回答

衝突計算で形状を維持することになる。たしかに大変なコストがかかるため、専用のハードウェアによる支援も検討中である。また、計算コストを減らすための研究もあるためそういった手法を取り入れることも検討しているが、現実的な速度で計算を行うことは困難であるかもしれない。

### 改善した回答

具体的なハードウェアによる高速化が行える物理演算エンジンとしては、GPU を物理演算に利用可能な Havok 社の「Havok FX」や専用アクセラレータチップ PhysX がある AGEIA 社の「NovodeX」などが挙げられる。また、このような用途で計算コストを減らす手法としては、形状を球や直方体で近似する手法が広く用いられている。しかし折り紙の面は球や直方体では近似しにくく、重なり合った紙の衝突判定などでは正確な計算が必要となるため一般的な近似手法は適用できない可能性が高い。そのため折り紙に適した効果的な手法を模索中である。

なお本研究では折り紙のモデリングに焦点を当てているが、モデリングされた 3DCG アニメーションを実際に折り紙教本として利用する場合は衝突判定を行う必要はない。マクロな視点から見ると超複雑な形状について現実的な速度で計算を行うことは本質的な問題ではなく、そういった形状を扱う際には別のアプローチを検討したほうがいだろう。

※ Havok <http://www.havok.com/>  
※ AGEIA <http://www.ageia.com/>

---

### 発表時の質問

左手を利用したインタラクションについてはすでに多数の研究がある。また左手を使ったほうがよりユーザは現実の紙を折っているように感じられると思われるが、左手を効果的に使うことについては考えているか。たとえば左手で紙を押さえて紙を折ることを再現するため、左手でコマンドを発行し右手で紙を動かすような。

---

### 発表時の回答

現時点ではそのような左手の利用は考えていなかった。しかし左手によるジェスチャの利用はユーザに学習を強いるため適当ではないと考えている。しかしインタフェースについてはこれからも改良を加えていくつもりである。

### 改善した回答

ユーザインタフェースについてはまだ改良の余地があると考えている。片手では行いにくい操作については両手を用いることも検討すべきだろう。しかし両手での操作を可能とするためには特別な入力装置が必要となることがネックとなる。本来なら両手を用いるが片手でも代用可能な操作については、費用対効果を考慮してわざわざ両手用のインタフェースを用意しないことも十分にありえるだろう。

---

### 発表時の質問

この研究では教育のために折り紙をわかりやすく伝えるためのアニメを作ることが目的で、今回は折り紙を製作する過程を再現できるソフトを発表したが、それを実際のアニメにする際に課題や問題点はあるか。また見せ方に工夫が必要だったりもするのか

---

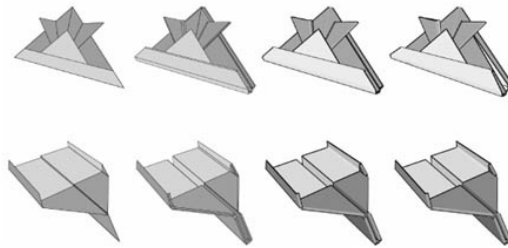
### 発表時の回答

見せ方に工夫をすれば見栄えがよくなるだろう。しかし現時点ではデータに落とせないためそれができるようにすることが課題。紙のふくらみなどを CG のシェーディングで表現できるかもしれない

い。

#### 改善した回答

本質的な問題点ではないが、現在のシステムではオブジェクトの識別にメモリアドレスを用いているため、データの保存、再生を行うためにはオブジェクトの識別に他の方法を使う必要がある。また、折っている場所が見えやすいように自動的に視点の位置を移動させる、あるいはわざと紙をずらしたり厚みを大きさに表現したりするような工夫をすれば※見る人は折り手順をより理解しやすくなるだろう。(※ シェーディングの話はこの場合適切な回答でなかった)



※ 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.

#### 評価用紙内の質問

---

3Dにしましたら、紙の仮想の厚さを表現してみたらどうですか？だったら、もっと見やすい3Dモデルができると思いますが・・・

---

#### 回答

この機能については上記の研究を参考にして将来実装したいと考えている

#### 発表時の質問

---

折り図の欠点である時間的な不連続性を頭の中で補完することも、教育的に意味があるのではないか

---

#### 発表時の回答

その考え方も正しいが、そのように頭の中で補完することは初心者には難しく、慣れが必要である。そういった問題に慣れる前の折り紙入門としては有効であると考えられる。

#### 改善した回答

上記に「アニメーションを一秒間隔で再生するなど、再生段階で情報を間引くことで同じような効果を得ることもできる」を付け加える。

## 発表時の質問

---

紙を折ると、元に戻ろうとする力が働くがそういった要素は考慮していないのか。ある面には含まれない頂点の及ぼす力というのは0なのか。

---

## 発表時の回答

そういった頂点の及ぼす力は0である。

実際の紙は自身の持つ可塑性により折り曲げても元に戻ろうとするが、折り紙を折る上ではそういった要素はない方が折りやすいためコンピュータの中でわざわざ再現する必要はないのではないかと考えている。

## 評価用紙内の質問・コメント

---

折り紙を折っていくうちに、厚くなって折りにくくなる部分があると思いますが、そのところを考えていますか？

折れにくさは省かないほうがいいのかも。厚みで再現できるのかな。

---

## 回答

そういった紙の特性は3D折り紙アニメーションを作る上ではむしろ無い方が望ましいが、当初の目的に固執するのではなく、広い視点で研究に取り組んでいきたいと思う。具体的な手法についてはこれから検討していきたい。

## 発表時の質問

---

提案手法では紙を折り曲げることを繰り返すことでモデリングを行っている。紙の折り曲げというのは他の面との相対的な関係によって表されるわけであるが、提案手法のばねモデルではそういった関係を表現できないのではないか。

---

## 発表時の回答

回転操作を繰り返し行うことでモデリングを行っているわけであるが、実際のプログラムの中では回転など関係なく頂点の位置をうごかしているだけ。

## 改善した回答

現在のところ、本プログラムで用いる形状データの中には純粋な座標値のみが格納されていて、「ある面とある面のなす角は～度」といった相対的な関係を表す情報は含まれない。そういった単純な情報だけでも折り紙の形状は表現可能であると考えている。

## 発表時・評価用紙内の質問

---

本プログラムでどの程度複雑な形状が作成可能か。カタツムリぐらいが限界なのか。

According to your method, can you use a paper to make all things ?

このプログラムでは実際に何でも折れるのですか？

---

## 発表時の回答

課題の中でも述べたが本プログラムでは衝突判定がないのと両手で引っ張る操作を行うことができない。何層も折り重ねる必要がある形状は苦手である。折り重ねがあまり重要ではない形状であればかなり複雑な形状でもモデリングが可能であると考えている。

## 改善した回答

現在のプログラムでは以下の形状を生成することができないが、これは提案手法の本質的な限界ではない。

- ・曲面を含む形状
- ・凹面を含む形状
- ・穴のある面を含む形状
- ・マウスがスナップする閾値以下の精度が必要な面を含む形状

一般的に、完成までに多数の手順を踏む必要のある作品、あるいは展開図が多数の閉領域に分割されるような作品は複雑な形状であるといえるが、本手法にはそういった部分での制約はない。逆に上記の制約により、シンプルな形状であっても生成できないものもある。人間にとっての複雑さと計算機にとっての複雑さには大きな違いがあるため、単純な比較は難しい。

なお、本研究では計算機上で折り手順を再現することも大きな目的であり、そのためには衝突判定や両手での操作なども必要になってくる。しかし静的な三次元形状を得るだけであればこれらは必ずしも必要はない。

## 評価用紙内の質問

---

近年ではネットワークも高速化されてきて、YouTube などの動画配信サービスもあるので、動画が配信しづらいというのはちょっと無理やりな感じがしますが。ビデオでいいんじゃないですか？

---

## 回答

たしかに近年、インターネットを通じて不特定多数に動画を配信することが現実的になりつつある。近い将来さらに高解像度の映像が配信可能になれば、情報配布の面でビデオに対する 3DCG アニメーションの優位性は失われるだろう。しかし 3DCG アニメーションからは三次元形状を直接得ることができるという利点があり、異なる視点から対象を見ることができるなどの応用や発展が行いやすい。やはり折り手順伝達にはビデオより 3DCG の方が適していると考えている。

## 評価用紙内の質問

---

卒論でやったテーマのようだが、卒論との差分はどこから？

---

### 回答

考察の中で述べている内容についていくつかの手法を試験的に実装し、本プログラム内に適応できるかどうかを確かめた。なお、面同士の衝突判定についてはまだ効果的な手法を見つけられずにいる。

## 評価用紙内のコメント

---

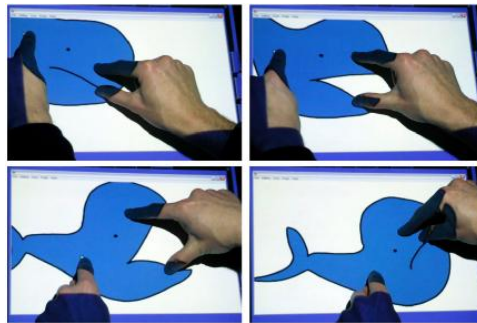
東大・五十嵐先生の研究で、両手を使って絵の形状変化をするものがあるので、インタフェースを参考に。

---

### 回答

<http://www-ui.is.s.u-tokyo.ac.jp/~takeo/research/rigid/index-j.html>

インタラクティブで非常に面白い内容だと感じた。しかしこのインタフェースは二次元的な形状の變形に限定されており、本プログラムに直接適応することは難しいように思われる。



### 反省点

PC の画面を見ている時間が長く、また何かを言いかけて言い直すようなケースが多いなど発表練習が不十分であった。また発表中に頻繁に頭をかくようなジェスチャを行っていたため見苦しい。意識して直さなければならなかった。