

逆遠近感を利用した錯視立体図形のモデリング

伊藤 紘治[†] 金森 由博[†] 福井 幸男[†] 三谷 純[†]

[†]筑波大学

1. はじめに

逆遠近感を利用した錯視立体図形は、観察者が見る位置を変えることによって、物体が静止しているにもかかわらず、変形しているかのように見える立体である。実際の作品例としては図1に示すドラゴンのペーパークラフトなどが挙げられる。



図1. 逆遠近感を利用した錯視立体図形の例：
(a) 正面から撮影；(b) (c) カメラを移動させて撮影。
常にこちらを向いているかのように見える。

Copyright © 1998 BINARY ARTS CORPORATION.

本研究では、三次元のポリゴンモデルを入力として、逆遠近錯視の立体をモデリングする手法を提案する。ユーザが適当な視点の位置を決めると、システムはその視点から可視である面について、奥行きが反転するようにモデルを適切に変形させて、逆遠近錯視のモデルを生成する。また、表現の幅を広げるため、ユーザがモデルの一部分を指定することで、指定した箇所のみを逆遠近錯視に変形させることも可能とする。本研究ではさらに、得られたモデルをペーパークラフトとして実世界に出力し、実際に錯視の効果を検証することによって提案手法の有用性を評価する。

2. 既存研究

心理学の分野で、逆遠近錯視は「ホロウマスク錯視」と同じ原理であることが知られている[1]。ホロウマスク錯視は、凸面の仮面を裏側から見ても、凹面ではなく凸面に見えてしまうという錯視である。そして、凹凸を誤って認識し

た結果、視点を動かすと物体があり得ない変形や動きをしているかのように見える。これは「仮面は凸面である」という経験則から、脳が自動的に凹凸を解釈するが、それが実際の凹凸とは異なるために引き起こされる。

CG分野において、錯視立体図形のモデリングに関してはWuら[3]による手法などが知られている。ただし、彼らの手法は逆遠近錯視をモデリングするためのものではない。逆遠近錯視については高野[2]による手法が存在するが、この手法で生成できるのは錐台形状の逆遠近錯視立体のみである。

3. 逆遠近錯視のモデリング手法

本研究では、入力として三次元ポリゴンモデルを用意し、これに変形を加えて逆遠近錯視立体をモデリングする手法を提案する。具体的には、入力モデルの各頂点の三次元座標を書き換えることにより、逆遠近錯視の立体を生成する。

逆遠近錯視の立体への変形は、基本的には、ホロウマスク錯視の仮面のように、ある視点から見た立体の凹凸を逆転させれば良い。なお、出力される立体の形状は、入力モデルと視点情報によって決まる。視点情報とはモデルを観察する視点の位置や画角のことで、これらはユーザにより決定される。以後、ユーザによって決められる視点のことを「基準視点」と呼ぶ。

ただし、上記のような変形を行う際には次の二つのことに注意しなければならない。第一に、基準視点からは見えない位置にある（入力モデルの）面を削除した上で、変形を行う必要がある。見えない面を削除する理由は、それらの面が存在していると逆遠近錯視の立体へ変形させたとき、本来見えてほしい面がそれら不要な面に遮られてしまうからである。第二に、基準視点から見たとき、入力モデルと出力モデルが完全に同じ形状に見えるようにする必要がある。これを実現するには、まず、基準視点から入力モデルを見た状態を画面に投影し、各頂点の二次元位置と奥行きを調べる。そして、奥行きだけを書き換えてモデルの凹凸を逆転させることで、頂点の二次元位置はそのまま、目的の錯視形状が得られる（図2）。

Modeling of Reverse Perspective Objects

Hiroharu ITOH[†], Yoshihiro KANAMORI[†], Yukio FUKUI[†], Jun MITANI[†]

[†]University of Tsukuba

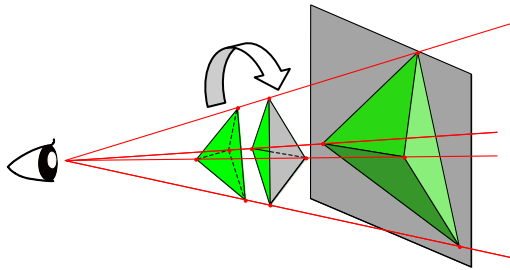


図2. 投影面上での座標を変えずに奥行きを反転

本研究ではさらに、ユーザがモデルの一部を指定することで、指定部分のみを逆遠近錯視立体に変形させる手法も提案する。基本的には、これまでに示した変形方法を指定部分のみに適用すれば良いはずである。しかし実際には、変形をする部分とそれ以外の部分のつなぎ目領域で、逆遠近錯視の形状でも入力形状でもない意図しない形状が発生し、見た目の不自然さを生んでしまう。そこで、つなぎ目領域は入力形状からあまり変化してほしくないで、できるだけ入力形状に近づくよう面の構成を変更させる(図3)。まず、つなぎ目領域について、隣接する二面の組を一組ずつ選び(この時点ですべての面は三角形であるとする)、辺をつなぎ替えた場合とそうでない場合でどちらが入力形状に近くなるか評価し、そのときの評価値を記録する。評価値は、入力形状と変形後形状の面の法線方向が似ているほど高く、さらに、変形後の面の面積で重み付けがされる。そして、評価値の高い順に面を処理し、形状を確定させていく。

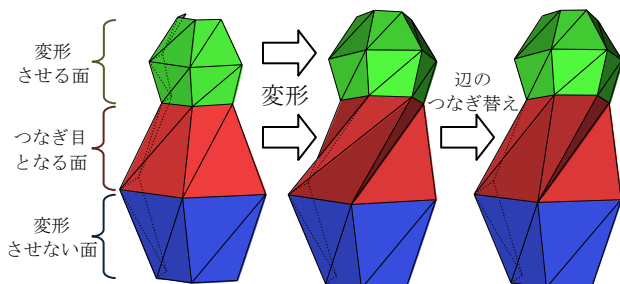


図3. モデルの一部を変形させる場合の流れ

また、より多様な逆遠近錯視立体を生成する目的で、奥行きを逆転させる際に、ユーザは変形後の奥行き情報を(逆遠近錯視が起こる範囲内で)任意に変更できる。例えば、モデルを手前に移動させたり奥行きを圧縮させたりして、逆遠近錯視の見え方を調節できる。さらに表現の幅を広げる方法として、この調節方法と、前述の「モデルの一部を変形させる」方法を組み合わせ、モデルを複数のパーツに分解し、各パーツについて奥行きを調整することができる。

4. 結果

我々の提案手法を C++言語と OpenGL ライブラリを用いて実装した。ユーザはマウスで基準視点と変形部分の指定を行うだけで、逆遠近錯視立体を得られる。実装したシステムを用いて逆遠近錯視立体を生成し、さらに、ペーパークラフトの形で実世界に出力し観察することで、逆遠近錯視が実際に起こることを確認した(図4)。

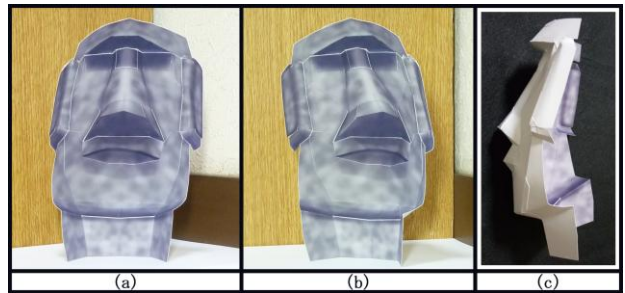


図4. 出力形状(モアイ像): (a)(b)視点を変えてもこちらを向いているかのように見える; (c)横から見ると、実際の凹凸がわかる

5. 結論と今後の課題

提案手法を用いることで、三次元ポリゴンモデルから逆遠近錯視の立体を生成できた。

しかし、提案手法では面の管理をポリゴン単位で行っているため、モデルの形状と視点の位置によっては、不要な面が削除されずに残る場合がある。この問題を解決するためには、モデルの輪郭情報を用いてポリゴンを再構成するなどして、より精密に面の管理を行う必要がある。

また、提案手法で生成できる錯視立体は、観察時に陰影の影響を受けやすく、錯視の効果が低減してしまう場合がある。この問題の解決策としては、三次元レンダリング結果をテクスチャとして出力モデルに用いる、といった方法などが考えられる。こうすることで、より錯視効果の高い立体をつくれるようになる。

参考文献

- [1] Cook et al.: On the visual cues contributing to pictorial depth perception. *Empirical Studies of the Arts* 26, pp.67-90 (2008).
- [2] 高野もも: 「逆遠近錯視立体の自動生成に関する研究」. 東京工科大学メディア学部, 2008 年度卒業論文 <http://www.teu.ac.jp/aqua/3D/2008/Paper/Takano_2008.pdf>.
- [3] Wu et al.: Modeling and Rendering of Impossible Figures. *ACM Transactions on Graphics (ACM TOG)*, vol. 29, No. 2, Article 13, March 2010.