

アート表現としてのインタラクティブ不可能物体立体視

大和田 茂[†] 藤木 淳[‡]

[†] Sony CSL 〒141-0022 東京都品川区東五反田 3-14-13

[‡] 九州大学 〒815-8540 福岡県福岡市南区塩原 4-9-1

E-mail: [†] owd@imp.ossible.jp, [‡] fujiki@imp.ossible.jp

あらまし 我々は新しい映像効果を求めるために、インタラクティブに回転できる不可能物体を作成できるツールを開発中であるので報告する。我々のシステムでは局所的な立体感を出すために複数の可能物体を用い、大局的には不可能物体になるように、それらを投影面上での最適化計算により連結する。その結果は回転可能な不可能物体映像となり、立体視が可能である。このシステムが立体視を用いたアート表現の可能性を広げるものとなることを期待したい。

キーワード 不可能物体, 立体視, インタラクション

Interactive Stereoscopic Viewing of Impossible Objects

Shigeru OWADA[†] Jun FUJIKI[‡]

[†] Sony CSL 3-14-13, Higashigotanda, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan

[‡] Kyusyu University 4-9-1 Shiobara, Minami-ku, Fukuoka City, Fukuoka, Japan

E-mail: [†] owd@imp.ossible.jp, [‡] fujiki@imp.ossible.jp

Abstract We report a new modeling tool that can rotate impossible objects, in the context of exploring new artistic effects. We combine edges of several consistent 3D objects in such a way that the resulting image exhibits global inconsistency, using a numerical optimization process within the 2D screen space. This allows stereoscopic viewing of impossible objects. We hope this trial will extend the possibility of binocular vision for artistic expressions.

Keyword Impossible object, Stereoscopic viewing, Binocular vision, Interaction, Art

1. 背景

近年不可能物体や錯視を扱った文献やコンテンツが増加してきている[1,2,3].不可能物体は、古くからエンターテインメントやコンピュータビジョン,認知科学の対象として扱われてきており根強い人気を誇っているが[4,5,6],近年の活況は、CGや映像技術の発展によりフォトリアルやノンフォトリアルな映像に慣らされてきたアーティストたちが、新たな表現の可能性を求めて不可能物体に取り組んでいるからとも考えられる。本稿では不可能物体を立体視する試みについて報告する。ノンフォトリアリスティックな形状表現とも言える不可能物体の立体視は、それ自身興味深い視覚効果を作り出すだけでなく、今後のCGアーティストが現実世界との類似性にかかわらず新たな表現方法を作り出すきっかけになる可能性があるかと期待している。

1.1. 不可能物体とは

不可能物体を定量的に定義したり、ある線画が不可能物体であるか否かを決定的に言うことは難しい。例えば、あるアルゴリズムを用いて三次元形状が再構築

できないようなものを不可能物体と呼ぶとすると、ただランダムな線の集合も不可能物体になってしまうが、それは我々の直感にマッチしない。杉原は「不可能物体とは、ある種の線画が、それに対する立体実現問題の答がノーであるにもかかわらず、人の心に引き起こす立体構造に関する印象である」と述べている[1].これは人間の「印象」をもって定義しているために若干曖昧にも見えるが、現実的には最も正確な定義であると思われる。なお、より直感に訴える狭義の説明をするならば「局所的には矛盾がなくても、全体をみると矛盾を含むようなもの」と言うこともできる。我々のシステムはこのアナロジーに基づいて設計されている。

なお、不可能物体を回転させようという試み自体は過去にも例があるが、取り扱える物体のクラスに制限があったり、インタラクティブな操作ができないなどの欠点がある[7,8,9].

1.2. 線のラベリング

不可能物体の中に大局的に存在する矛盾は、コンピュータビジョンで用いられるラインラベリングという

技法を用いて説明できる場合が多い。ラインラベリングは、線画を機械が解釈して三次元構造を分析するときの前処理として用いられる強力な手法で、線画を構成する各線分に稜線の向きや輪郭線であるかどうかなどの属性値（ラベル）を割り当てる（図1）[4,10]。割り当てができなければそれはある種の三次元立体のクラスには属さないことが示される。したがって、逆にラインラベリングが不可能な線画を描き、かつそこに立体感を持たせるような工夫をすれば、ある種の不可能物体が簡単に作成できることになる。

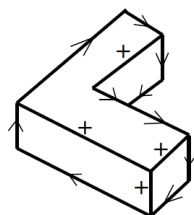


図1 線画のラベリングの例。+は視点方向に突き出した稜線，-は凹んだ稜線，矢印は輪郭線である。

我々のシステムでは、立体感を持たせるためにいくつかの通常の物体を用い、それらをラベルが矛盾するように二次元の画像上で組み合わせていく。この組み合わせは視点が変わっても最適化により維持され、個々の物体位置や方向が動的に変更される。これにより、回転可能な不可能物体を作ることができる。回転が可能になれば、立体視も簡単に行うことができる。

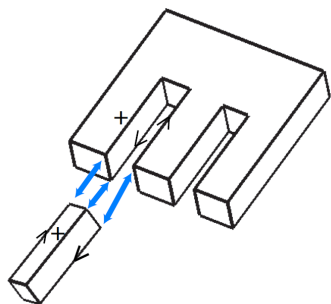


図2 我々のシステムではラインラベルにかかわりなく、二次元の見た目だけを用いて三次元物体を連結する。

2. システムのユーザーインターフェース

ユーザーはまず、外部の形状作成プログラムによって作成した形状を我々のソフトにドロップする。形状はそのまま正射影でレンダリングすることもできるし、裏面だけレンダリングしたり、透視投影に切り替えることもできる（図3）。

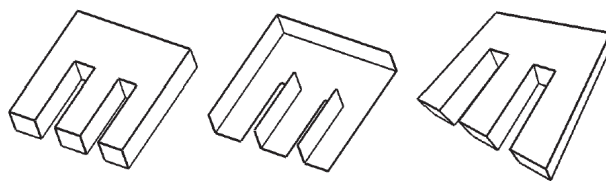


図3 読み込んだ物体の表示方法

次に、読み込んだ物体を他の物体と連結するために、いくつか不要なエッジをレンダリングしないように設定する。これはマウスジェスチャーで簡単に設定できる（図4）。

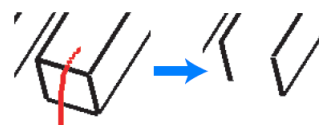


図4 不要な辺の消去

あとは、開いた辺同士を、ラベルが一致しないところを作るようにマウスドラッグでつないでいけばよい（図5）。

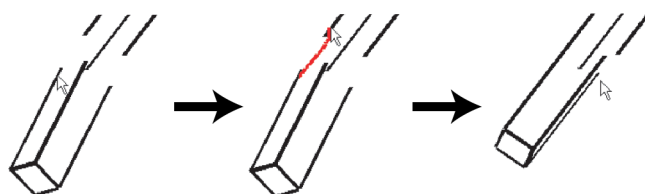


図5 開いた辺同士を連結するマウスジェスチャー

つないだ物体は、マウスで自由に回転させることができる。マウスの下にある物体がユーザーによって直接回転され、そこに連結されている物体は、それにつられて最適化により移動や回転等が行われる。また、このプログラムが同時に二つ動作していると、それらは同期して立体視映像を作り出す（図6）。

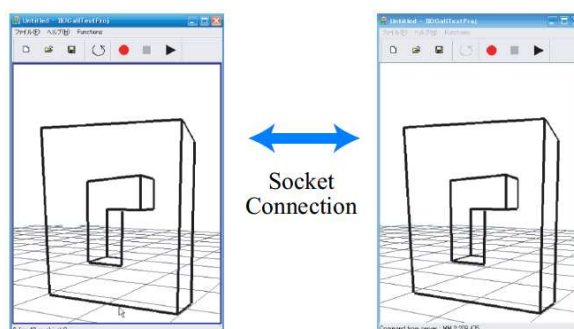


図6 二つのプログラムが協調動作して立体視映像を作り出す（通信はソケットで行っている）。

また、我々のシステムには建物モードと呼ばれる、最

適化時の自由回転を水平方向のみに限るモードもある。このモードでは作成可能な物体の種類が限られるが、高速実行および計算の発散が抑えられる利点がある。

3. 実装

ユーザーが、開いた二つの辺同士をマウสดラッグで繋ぐと、その対応情報は、最適化計算の際の束縛条件として使われる。そしてユーザーが物体の一つを動かすと、それに連結している物体の位置や回転などが最適化計算により変更される。まず、それぞれの物体のローカル座標系で、つながれた辺の端にある頂点 i の座標 (\mathbf{r}_i) 、およびその点から辺の方向に向かう方向ベクトル (\mathbf{o}_i) をまとめて 6 個のパラメータと考える $((\mathbf{r}_i, \mathbf{o}_i) \in \mathbb{R}^6$ である)。この点は、投影 \mathbf{M}_i によりスクリーン座標系に変換される。この点を $(\mathbf{R}_i, \mathbf{O}_i) \in \mathbb{R}^6$ とする (図 7)。

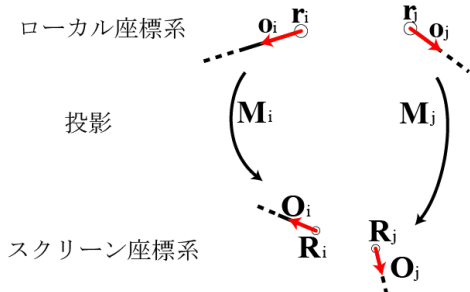


図 7 点と方向ベクトルの投影の様子

最適化は次の目的関数を最小化することにより行う。

$$\sum_{i \neq j} (R_{ix} - R_{jx})^2 + (R_{iy} - R_{jy})^2 + \left\| \frac{\mathbf{O}_i}{\|\mathbf{O}_i\|} + \frac{\mathbf{O}_j}{\|\mathbf{O}_j\|} \right\|^2$$

ここで、 j は i と関連付けられている頂点のインデックス、 $(R_{ix}, R_{iy}, R_{iz}) = \mathbf{R}_i$ である (z 方向は、スクリーン座標系での奥行き方向)。これは二点の位置と方向をマッチングさせるものであるが、位置の比較に奥行き情報 (R_z) が用いられていない。これによりスクリーン上での見た目が一致していれば、実際の奥行きはケアしない最適化が行われることになる。この時最適化でコントロールされる変数は、投影変換 \mathbf{M} である。目的関数内の項はすべてオブジェクトごとに存在する \mathbf{M} の関数である。我々は \mathbf{M} として、ローカル座標系での剛体変換とスケールのみを許すこととした。まず平行移動 (3 自由度)、回転移動はローカル座標系での X 軸と Y 軸まわりのみの回転を考慮する (2 自由度)、それにスケール (1 自由度) の、合計 6 自由度が各オブジェクトごとに存在することになる。もちろんこの変換を行った後、通常の投影変換が行われる (この部分は定数である)。この最適化は非線形最適化であるので、Levenberg-Marquardt 法を用いて最適化を行っている

る [11]。

物体の形状と繋ぎ方によっては、この最適化の結果十分に二点が近づかないことがありうる。このときには、少し条件を緩めた最適化を再度行うこととする。この際に使う目的関数は次のものである。

$$\sum_{i \neq j} ((R_{jx} - R_{ix}) \cdot \mathbf{O}_{iy} - (R_{jy} - R_{iy}) \cdot \mathbf{O}_{ix})^2 + ((R_{jx} - R_{ix}) \cdot \mathbf{O}_{jy} - (R_{jy} - R_{iy}) \cdot \mathbf{O}_{jx})^2,$$

この式は、二本の辺が、スクリーン上で一つの線上に乗るという条件である。

4. 結果

我々のシステムで製作した立体視画像を図 8 に示す。これらの立体は、マウスでドラッグすることによりインタラクティブに回転させることができる。

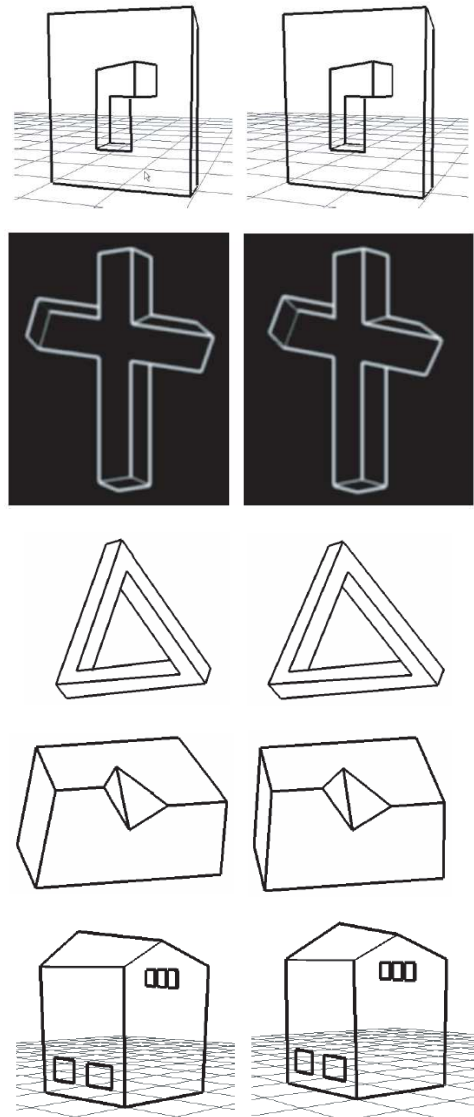


図 8 結果画像 (平行法用)

実際に製作してみてわかったことは、まずインタラ

クティブに動かすことにより大変興味深い立体視覚効果が得られた。これは、視点が固定されている、従来の多くの錯視アートに対する利点である。もう一つは、回転させると物体自体が変形しているように感じられる場合があった。これは実際に物体の配置が変化しているわけだから理解はできるが、なるべく一つの不可能な剛体に見えるようにするには工夫が必要であることを示している。

また、我々は図9(a)のようなパターンが比較的面白いデータを作りやすいと感じた。図9(a)を水平に回転させると図9(b)のようになる。

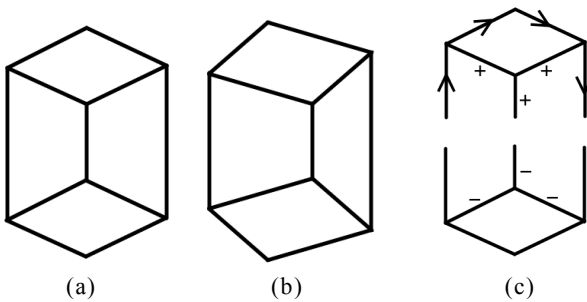


図9 使いやすい不可能ブロック

このパターンは、二つの立方体を、片方を表裏反転させてつないだものであり、線のラベリングを示すと図9(c)のようになる(上下逆でもよい)。この上の立方体と下の立方体は、どちらかを水平に回転させると、もう一方は最適化の結果逆向きに回転する。立体視すると、回転させないうちは「顔の奥行き反転視」として知られる現象のように[12]、凹凸の逆になった立方体がつながっているように見える。しかし、回転させるとその解釈が成り立たなくなり、不可能物体であると認識されるのである。このような図形は立方体だけでなく、円筒の側面を偶数回分割したような物体であれば実現できる。さらに、このような物体に限れば、シェーディングを行ったり、ある程度透視変換をすることも可能である。

我々は、このエレメントを用い、最適化計算を用いずに回転可能不可能物体を自動生成するシステムを製作中である(図10)。

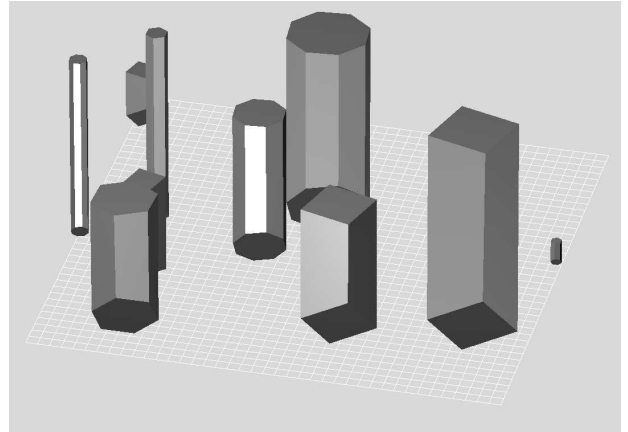


図10 製作中のシステム

5. まとめ

立体視可能な不可能物体をモデリングするシステムについて現状報告を行った。今後はより大きなシーンのモデリングと、コンテンツの製作を行いたいと考えている。また、将来的には、不可能物体のブロックを組み合わせるだけでモデリングをするようなフレームワークも提案したいと考えている。

文献

- [1] 杉原厚吉：“不可能物体の数理”，森北出版，(2005)
- [2] 藤木 淳：“OLE Coordinate System”，(2006)，<http://tserve01.aid.design.kyushu-u.ac.jp/~fujiki/>
- [3] G. Savransky, D. Dimerman, and C. Gotsman：“Modeling and Rendering Escher-Like Impossible Scenes”，Computer Graphics Forum, 18, 2, pp.173-179, (1999)
- [4] D.A. Huffman：“Impossible Objects as Nonsense Sentences”，Machine Intelligence, 6, pp.295-323, (1971)
- [5] L.S. Penrose and R. Penrose：“Impossible Objects：A Special Type of Visual Illusion”，British Journal of Psychology, 49, pp.31-33, (1958)
- [6] T.M. Cowan and R. Pringle：“An investigation of the Cues Responsible for Figure Impossibility”，Journal of Experimental Psychology, 4, pp.112-120, (1978)
- [7] C.W. Khoh and P. Kovessi：“Rotating the Impossible Rectangle”，Leonardo, 34, 3, pp.197-198, (2001)
- [8] M.W. Scott：“Implementing the Continuous Staircase Illusion in OpenGL”，SIGGRAPH '02: ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications, pp.200, (2002)
- [9] S. Tsuruno：“The Animation of M.C. Escher's ‘Belvedere’”，In SIGGRAPH '97 Visual Proceedings, pp.237, (1997)
- [10] M.B. Clowes：“On Seeing Things”，Artificial Intelligence, 2, pp.79-116, (1971)
- [11] M. Lourakis：“levmar: Levenberg-Marquardt Nonlinear Least Squares Algorithms in C/C++”，<http://www.ics.forth.gr/~lourakis/levmar/>
- [12] 中溝幸夫：“視覚迷宮 両眼視が生み出すイリュージョン”，ブレーン出版，(2003)