

コーナーキューブ型モニタを用いた逆遠近法に基づく映像提示の 立体感誘起パラメータの評価

竹内凌一^{†1} 橋本渉^{†1} 水谷泰治^{†1} 西口敏司^{†1}

概要: 逆遠近法とは絵画の技法のひとつである。凹んでいるように見える箇所が出っ張っているように描き、出っ張っているように見える箇所を凹んでいるように描くことでユーザが動いたときにその動きに合わせて凹んでいるように見える箇所が追いつけながら向きを変えているように感じる。この逆遠近法を3つのモニタを組み合わせて1つの立体的なモニタに提示することでユーザに向けて常に情報を提示するデジタルサイネージやエンタテインメントに活用できると考え、立体に見える映像の歪み率を評価した。

Evaluation of evocation parameters of stereoscopic effect based on the reverse perspective representation using monitors arranged to corner cube shape

RYOICHI TAKEUCHI^{†1} WATARU HASHIMOTO^{†1}
YASUHARU MIZUTANI^{†1} SATOSHI NISHIGUCHI^{†1}

Abstract: The reverse perspective representation is one of the technique of the drawing picture. This technique expresses objects far away from the projective plane are drawn as larger, and closer objects are drawn as smaller. When the user's viewpoint moves, he/she feels that the dented part seems to be swell oppositely due to the reverse perspective illusion. Our basic idea is that the inverse perspective method can be utilized for the field of digital signage and entertainment that always presents information toward to users by presenting them to monitors arranged to corner cube shape. We investigated the distortion rate of the picture which looked like a cubic.

1. はじめに

絵画的手法の一つに逆遠近法というものがある。遠近法とは、近くのを大きく描き、遠くのを小さく描くことで、実際の視覚に基づいた表現であるといえる。一方逆遠近法では近くのを小さく描き、遠くのを大きく描く。ペーパーラフトである Gathering for Gardner の"Thinky the Dragon"[1]などが逆遠近法を活用した例として有名である。この作品は逆遠近法とホロウマスク錯視を組み合わせてドラゴンが常にこちらを見ているように見えるというものである。

この錯視をモニタに応用することで動画やコンテンツを動的に提示することができるため、ユーザに向けて常に情報を提示するデジタルサイネージやエンタテインメントに活用できるのではないかと考えた。そこで"Thinky the Dragon"の鼻部分がコーナーキューブ型であることに着目し、逆遠近法によって凹凸が逆転することを狙い、3枚のモニタを用いてコーナーキューブ型モニタを作成し、このモニタに提示する映像を工夫することで提示する映像や情報が常にユーザを追いつけながら向きを変えるモニタにすることができると考え検証を行った。

2. 逆遠近法

本章では逆遠近法についてさらに詳細に説明する。逆遠近法を使った芸術作品では実際の形状とは逆に描画、つまり凹んでいるように見える箇所が出っ張っているように描き、出っ張っているように見える箇所を凹んでいるように描くことでユーザが動いたときにその動きに合わせて凹んでいるように見える箇所が追いつけながら向きを変えているように感じるトリックアートとして広く親しまれている。この技法を使った芸術作品では、Patrick Hughes の"Reverspective"の作品[3]が有名である。

また、Cook らの"Factors Contributing to Depth Perception: Behavioral studies on the reverse perspective illusion"[4]では心理学的側面から現象を調査しており、格子線の密度が最も錯覚を知覚させやすく、続いて陰影やテクスチャの影響を受けるということ等がわかっている。インタラクションを取り入れた例では、小笠らは「逆遠近錯視を用いたインタラクティブプロジェクションマッピングシステムの構築」[2]でプロジェクションマッピングに足りていない立体感を補うために錯視を取り入れるコンテンツを提案している。逆遠近法を使った芸術作品の多くはユーザの動きに連動

^{†1} 大阪工業大学
Osaka Institute of Technology.

してその見え方が変わるため、ユーザの興味を引きやすいと考えた。そこで本研究ではコーナーキューブ型モニタを使った不特定多数のユーザごとに違った見え方をする映像、コンテンツを提案するための基礎研究として画面に提示する映像の立体に見えやすい歪み率を検証する。

3. コーナーキューブ型モニタの作成

3枚のモニタを図1のように配置する。

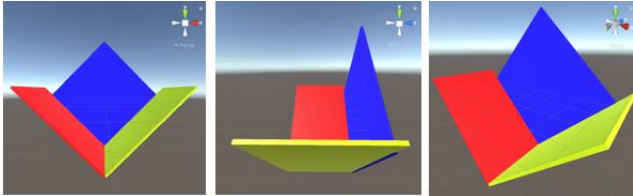


図1 モニタの配置イメージ

3面のモニタでコーナーを構成する場合、画素を有効に活用するという観点から正方形型モニタを3枚用いるのが望ましい。しかし、正方形かつ狭ベゼルの製品がなかったため、1面を正方形型、2面を狭ベゼルの WUXGA 型モニタを使用した。正面のモニタには Eizo EV2730Q を-135 度回転し、左右のモニタには Eizo EV2455 を正面のモニタに合うように組み合わせる。正面モニタは 1920 ドット×1920 ドットの正方形モニタで左右のモニタは 1920 ドット×1200 ドットの長方形のモニタである。

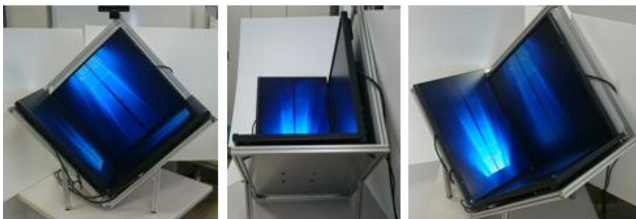


図2 実際のモニタの配置

固定はアルミフレームを用いて自作した。なお、画面の回転は配線とベゼルが見えにくい組み合わせを検討した結果である。

4. 錯視による映像提示

逆遠近法を用いた映像の作成には、先行研究としては筑波大学の伊藤らの「逆遠近感を利用した錯視立体図形のモデリング」[5]のように 3D ポリゴンモデルを入力して逆遠近錯視の立体をモデリングする方法もあるが、今回は作成した映像をモニター一枚一枚に描画する必要があることから、ホモグラフィを用いて立体を作成することにした。Unity 内で傾けた平面を投影することでも射影変換は可能だが、平面の辺とディスプレイの辺の整合性が保てない。さらにコンテンツを別々のモニタに分割して描画する必要があるので、頂点が 4 つの平面を別の平面に射影することができるホモグラフィを用いる必要があった。ホモグラフィによる

変換には”Shogo Computing Laboratory”[6]を参考に実装した。ホモグラフィとはある視点で見た平面を別の視点から見たように変形する射影変換である。アフィン変換では平行四辺形に変形することしかできないが、ホモグラフィでは台形に変形することが可能になる。例えば、図3の左に示すような正面からみた正方形の4頂点のうち、左上の頂点について、図3の右に示すように、右下の頂点の方向に、その距離が正方形の状態から 80%となるような変形を施すと、当該正方形を右下から左上に見上げたような見えを得ることができる。

本研究では、この距離の割合を”歪み率”とし、これをパラメータとして 100% - 50% の割合で変化させたとき、どのようなパラメータの範囲で凸の感覚（立体的に見える感覚）を得ることができるかを評価する。Unity の Shader でホモグラフィを用いてテクスチャを変形し、”Illusory cube”[7]を模した歪み率の立体を作成した。今回はテクスチャに動かないものを用いたが、アニメーションなど動的に変化させることも可能である。

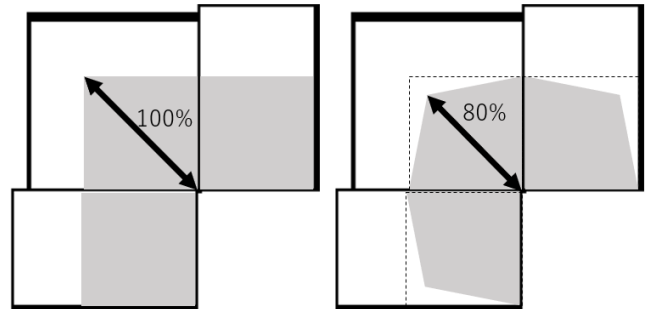


図3 テクスチャの歪み率

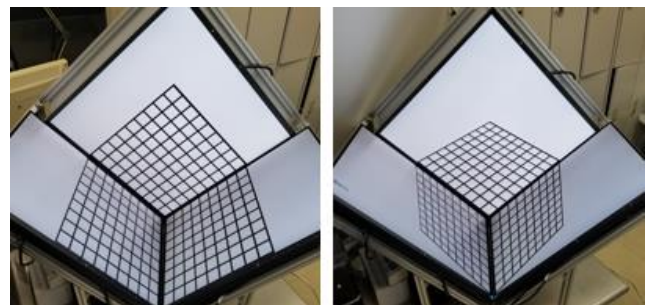


図4 モニタに表示した際のテクスチャの歪み率

図5は図4右のモニタを別角度から撮影したものである。このように視点を変えると映像は変わっていないが頂点が自分の方に向くように立方体が回転したように見える。

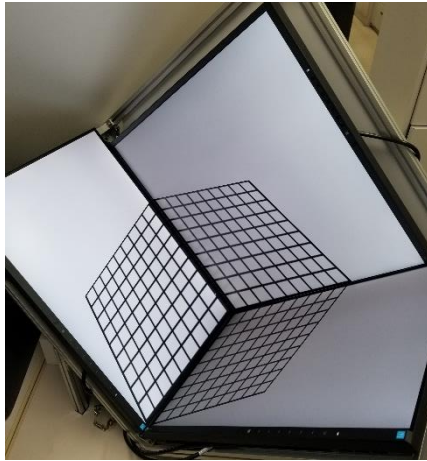


図5 別角度の立体

4.1 錯視が起こりやすい歪み率の調査

図5のテクスチャの歪みは“Illusory cube”を模した変形を利用しており、根拠のない値を適応している。コーナーキューブ型モニタに錯視による映像提示をする場合に錯視が起こりやすい歪み率の検証を行った。

4.1.1 評価実験

被験者には図4左の歪みのない正方形のテクスチャを表示したものを提示し、「歪みのない立方体になるまで調整してください」と伝えて被験者が調整する。被験者が歪みのない立方体になるまで歪み率の調整が終わった後に「歪みが出て立方体が崩れるまで、矢印キーで操作してください」と伝えて被験者は歪みが出て立方体が崩れる歪み率に調整する。さらに「頂点が飛び出して見えなくなるまで調整してください」と伝え、被験者は立方体ではないが頂点が飛び出して見える状態から、頂点が飛び出して見えない歪み率まで調整する。

また、歪み率80%のテクスチャを表示して、「頂点に焦点を合わせた場合に頂点が飛び出して見えるか」と「全体をぼんやりと見た場合に頂点が飛び出して見えるか」の2点についても実験を行った。なお、実験の際はディスプレイの正面かつ真ん中の頂点から80cmほど離れた位置に立ち、両目で見るように指示した。今回の実験では19歳～22歳10人に対して実験を行った。

4.1.2 評価実験結果

実験結果を図7, 8に提示する。図7の斜線の入った四角の範囲は被験者が歪みのない立方体に見えた範囲であり、立方体には見えないが頂点が飛び出して見える範囲を誤差棒で示している。立方体に見え始める歪み率の平均値が83.6%で立方体に見える限界が67.9%である。また、立方体には見えないが頂点が飛び出して見える範囲の平均値は67.9%から54.5%の間であった。

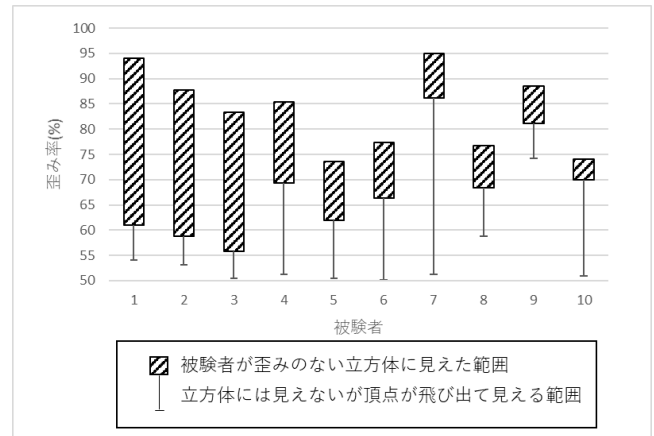


図7 錯覚の知覚範囲

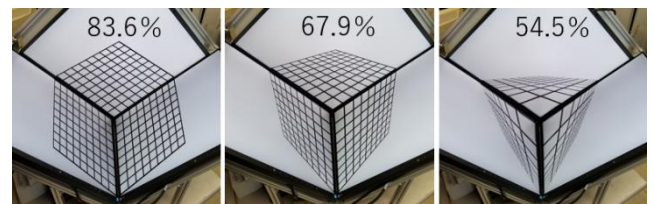


図8 各パラメータの実際の見た目

また、焦点を頂点に合わせる場合と全体をぼんやりと見る場合の結果は図9に示す。

頂点に焦点を合わせて、
頂点が飛び出して見えるか

頂点に焦点を合わせずに、
頂点が飛び出して見えるか

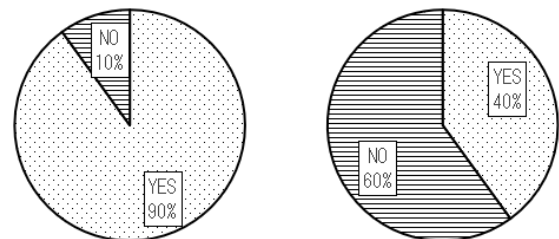


図9 注視点による差異

4.1.3 評価実験考察

調査結果より、歪み率の許容度には個人差があるものの、83.6%～67.9%の間で大抵のユーザが錯視による立体視が可能であることがわかる。歪み率80%は1辺が34cmの正方形を対角線が回転軸として41度傾け、64cm離れた場合に相当し、歪み率70%は55度傾け、46cm離れた場合に相当する。今回の実験では1辺が34cmのモニタを使用したため、被験者に指定した立ち位置80cmから34cmを引くと46cmとなり、被験者の身長などの差を考慮すると今回の結果が実際の環境と概ね合致することがわかる。

また、立方体に見えなくなったとしても頂点は引き続き飛び出して見えることがわかる。注視点を変えて行った調査より、ユーザの視線を頂点に固定することができればより確実に錯視を誘起できると考えられる。

4.2 VR 空間でのシミュレーション

今回の評価実験内での被験者の反応を受け、逆遠近法を用いたコーナーキューブ型モニタに提示するコンテンツには改善の必要性があることが見えてきた。その一つはモニタの配置角度による見え方の変化があげられる。聞き取り調査では横から見た際に正面から見た場合より立体感が増して見えたという意見もあり、モニタ結合部の正面からの観覧が適切ではない可能性もある。また左右方向だけでなく、手前から奥への傾斜も現在は水平に配置しているが傾斜をつけたほうが立体感が増す可能性もある。しかしモニタをアルミフレームで固定しているため重量感があり、移動が容易ではないのでヘッドマウントディスプレイを用いたバーチャルリアリティ環境でのシミュレーションを作成した。予備調査ではヘッドマウントディスプレイでもペーパーラフトやコーナーキューブ型モニタと同様の錯覚を確認することができたため、今後の実験ではシミュレーションを用いて様々な角度やアニメーション、モニタ形状を検討していく。

5. おわりに

本研究ではモニタ 3 枚を立体的に組み合わせてコーナーキューブ型モニタを作成し、Unity を用いて逆遠近法を用いたコンテンツを提示し、多くの人が逆遠近法としてコンテンツを立体的に見ることができる歪み率を調査した。また、聞き取り調査で得たコーナーキューブ型モニタで逆遠近法を使う際の改善方法をシミュレーションできるバーチャル環境を作成した。今後はヘッドマウントディスプレイを用いたシミュレーションやプロジェクションマッピングによるデモンストレーションによってモニタの組み合わせ方や提示映像の種類を検証し、ユーザの方向を常に向き、情報を提示するデジタルサイネージやエンタテインメントの開発を目指す。

参考文献

- [1] "Thinky the Dragon".
<http://www.puzzles.com/thinkyandfriends/>, (参照 2017-12-15).
- [2] 小笠航, 片寄晴弘, 逆遠近錯視を用いたインタラクティブプロジェクションマッピングシステムの構築, EC2015
- [3] "Patrick Hughes Reverspective".
<http://www.patrickhughes.co.uk/>, (参照 2017-12-15).
- [4] Norman D. Cook, Asami Yutsudo, Naoki Fujimoto and Mayu Murata: Factors Contributing to Depth Perception: Behavioral studies on the reverse perspective illusion, Spatial Vision, Vol.21, No.3-5, pp.397-405, 2008.
- [5] 伊藤紘治, 金森由博, 三谷純, 福井幸男. 逆遠近感を利用した錯視立体図形のモデリング. 芸術科学会論文誌, Vol.12, No.3, pp.143-151, 2013.
- [6] "Shogo Computing Laboratory".
<http://shogo82148.github.io/homepage/memo/geometry/homography/>, (参照 2017-12-15).
- [7] "逆遠近法の図".
<http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/reverspective.html>, (参照 2017-12-15).