

直交マルチディスプレイを用いた裸眼立体映像における フレームブレイク効果の検証

徳永 恵太^{1,a)} 藤代 一成^{2,b)}

概要: 徳永らは、アナモルフォーシスとよばれるデザイン技法を応用した裸眼立体視システムを開発してきた。このシステムでは、オブジェクトの位置とユーザの視点位置によってはオブジェクトの一部が描画範囲外となり欠落し、立体感を低下させていることが問題となっている。本稿では、この問題を緩和するために、近年映画制作などに使われている frame-break とよばれる手法をこのシステムに適用し、立体感の増強に与える効果を検証する。

Verification of Frame-break Effect for Naked-Eye 3D Imaging with Orthogonally Arranged Multiple Display Monitors

KEITA TOKUNAGA^{1,a)} ISSEI FUJISHIRO^{2,b)}

Abstract: Tokunaga et al. have been developing a naked-eye stereoscopic imaging system based on a design technique called anamorphosis. Their system, however, suffers from a problem that part of the displayed object may be out of the rendering area and missing depending on the relative position of the object to the user's viewpoint, and thus resulting in reduced stereoscopic effect. We attempt to address this problem by applying to the system a so-called frame-break method that has recently been used in film making. This article reports the results of an initial empirical study on how the amelioration approach works.

1. 背景と目的

アナモルフォーシス (anamorphosis) とよばれる、ある視点から見たときのみ正常な投影像が見えるように構図を工夫して作品を描くことで、絵を立体的に見せるデザイン技法が知られている。例として永井 秀幸 [1] の作品を図 1 に示す。永井は、壁と床に対して L 字状に開いたスケッチブックを用いて、アナモルフォーシスをベースとするトリックアート作品を数々発表している。これらはスケッチブックの各画用紙に壁と床というメタファを与え、ユーザに錯覚を引き起こすことで 3 次元のプレゼンスを与えている。しかし、その特性上、正しい視点から見た場合には立体的な絵が見られるが (図 1a)、他の視点から見た場合、構図は崩れ立体感が損なわれてしまう (図 1b)。

井阪ら [2]、徳永ら [3] は、永井の作品群におけるスケッチブックを 2 台のディスプレイモニタに置き換え、視点追跡を組み合わせることで、ユーザの顔の位置に合わせて正常な投影像が常に見えるようにリアルタイムで映像を変更し、ユーザの運動視差を誘発することで個人向けの裸眼立体視を実現するシステムを開発した。徳永らのシステムの実行例を図 2 に示す。

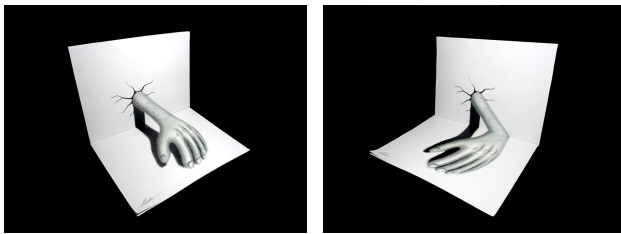
しかし、これらのシステム [2], [3] では、図 3a のように、視点によってはオブジェクトが画面の描画範囲からはみ出し、その一部が欠落することで立体感を低下させてしまう問題があった。永井は、スケッチブックにオブジェクトの輪郭にそって切りそろえられた画用紙片を糊付けすることでこの問題を解決していた。しかし、常に映像を変更するこれらのシステム [2], [3] では、永井の方法を用いることは困難である。井阪ら [2] は、第三面のディスプレイモニタを側方に配置することでこの問題の解決を試みていた。しかし、追加のディスプレイモニタを用いることや、第三面に投影する背面映像をカメラで取得する必要があるため、近年見られる折畳み式ディスプレイモニタに井阪らの手法を実装する場合、その軽薄短小性を損なってしまう。

¹ 慶應義塾大学 大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University

² 慶應義塾大学 理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University

a) keita.tokunaga@fj.ics.keio.ac.jp

b) fuji@fj.ics.keio.ac.jp

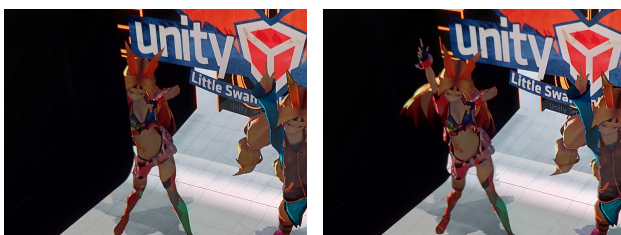


(a) 正しい視点の場合 (b) 他視点の場合

図 1: 永井 秀幸 [1] の作品



図 2: 徳永らの裸眼立体視のシステム [3]



(a) frame-break 無しの場合 (b) frame-break 有りの場合

図 3: 徳永らのシステム [3] に frame-break を適用した様子

ところで、映画上映手法の一つである IMAX [4] において frame-break とよばれる技法が用いられている。frame-break とはあらかじめスクリーンの大きさに余裕をもたせておき、手前に飛び出すシーンにおいてオブジェクトを余っているスクリーンにも投影する手法である。この手法によって四角形の映像の投影範囲からあたかもオブジェクトが飛び出しているように錯覚させている。

我々は、この手法を徳永らのシステムに適用することで、上記の問題を改善できるのではないかと考えた。徳永らのシステムに frame-break を適用した例を図 3b に示す。

本稿では徳永らのシステムに frame-break を適用し、frame-break の有無による立体感の変化を実験により確かめる。さらに、frame-break を適用した場合の立体感の変化についてオブジェクトの位置を変えて実験し、後述する余白の大きさを変えた場合の立体感の変化についても実験を行い、その分析結果を報告する。

2. 先行システムの概要

本節では、徳永らのシステム [3] を中心に、先行システムで裸眼立体視を実現する仕組みについて説明する。

先行システムでは、作成済みの 3 次元幾何学的モデルを入力するだけでディスプレイモニタ上に裸眼立体映像を表示可能である。また、光源を設定し、影付けをすることが可能である。ディスプレイへの投影には、軸外投影法を採用し、仮想空間上のカメラのビューボリュームが疑似的なディスプレイを必ず通過するようにすることで、ユーザーの視点位置から見た際のビューをディスプレイモニタに表示する。これらの位置関係を図 4 に示す。

また、このシステムでは OpevCV に登録されている Viola-Jones 法 [5] を利用し、web カメラで取得したユーザーの左眼・右眼の画像空間上の位置座標値を取得する。取得した位置座標値を変換し、実空間上のユーザーの視点位置の 3 次元座標値を得る。変換した座標値を仮想空間上のカメラの 3 次元位置座標値として利用する。その座標値は、web カメラから出力される画像の縦横の画素値と実空間上のディスプレイモニタの縦横の長さの比を利用して計算する。また、Viola-Jones 法では、画像空間上の位置推定は可能であるが、奥行き情報は得られないため、ユーザーと web カメラ間の距離と、追跡対象として推定された領域の大きさの比を利用し、奥行きを算出している。

このように、徳永らのシステムでは視点追跡を組み合わせることでユーザーの顔の位置に合わせて正常な投影像が見えるように常に映像を生成し、アナモルフォーシスを与えることで、ユーザーの運動視差を誘発し裸眼立体視を実現している。また、このシステムはキャストシャドウを用いることにより、副次的に立体感を強めている。

しかし、アナモルフォーシスは単眼性を仮定した技法であるため、両眼視差情報を提示することができず、ユーザーが感じるプレゼンスを低下させてしまう可能性がある。そこで、仮想的な単眼であるサイクロプスの眼の概念を応用し、両眼視差の影響を考慮した裸眼立体視を実現している。実際、追跡する視点位置を決定する際にサイクロプスの眼の位置を推定し、その位置に向けて 3 次元モデルの投影像を更新し続けることで、両眼視差による立体感の低下を軽減する (図 2)。視距離の近いラップトップでは両眼視差の影響が大きい。この研究ではラップトップと同様の視距離でも効果があると報告されている [3]。

3. frame-break 効果の検証実験

徳永らのシステム [3] に frame-break 効果を適用した場合の影響を検証する実験を行った。実験で用いるシステムにおける処理の流れを図 5 に示す。視点追跡にはサイクロプスの眼を推定する徳永らの手法を採用入れた。まず、3 次元モデルを入力し、直角に折り曲げた折畳み式ディス

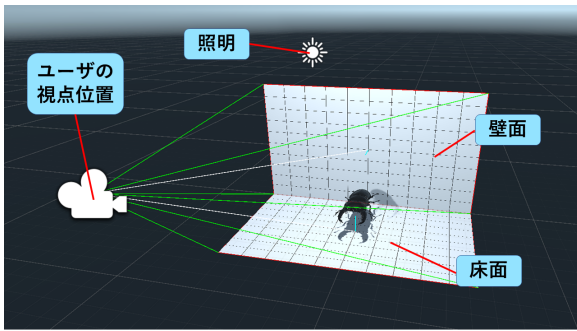


図 4: 壁面と床面として対応付けられたディスプレイモニタ・3次元オブジェクト・照明・ユーザ視点位置の関係

ディスプレイモニタに投影する。次に画面にテスト用パターンを表示してユーザのサイクロプスの眼の位置を推定する。そして、推定した位置から視線を追跡し、描画の更新を繰り返すことによってアナモルフォーシスを維持し、裸眼立体視を実現する。

実験には ThinkPad X1 Fold [7] を用いた。性能はプロセッサ: Intel Core i5-L16G7 (1.40 GHz) CPU, GPU: Intel UHD Graphics, 実装メモリ 8.0 GB, ディスプレイ: 折りたたみ式 13.3 型 QXGA OLED (2048x1536) である。また、実験シーンは Unity 2019.1.3f1 Personal [6] を用いて作成した。ThinkPad X1 Fold は折り曲げた部分に曲面があり、この部分が立体感を著しく下げたため、これを白紙で覆った状態で実験を行った。この様子を図 6 に示す。画面の周囲に作る、ユーザの視点から見た場合に本来の描画領域からはみ出した物体のみを描画する領域を「余白」と定義した。余白はシーンに関係なく黒い。これは ThinkPad X1 Fold のベゼル部分が黒く、ベゼルとディスプレイモニタの境界を意識させないためである。

余白の大きさを、画面幅に対する片側の余白領域の幅の比として定義した。余白の大きさが 50 のとき、左右合わせて 100 となり画面が余白で埋まり、描画領域が消失するため、これが最大値となる。実験には 3 つの立方体を空間に配置したシーンを用意した。3 つの立方体の位置によって 5 種類のシーンを作成した (図 7)。これら 5 種類のシーンにおいて、余白の大きさ 15 (描画領域は元の画面の 0.7 倍 × 0.7 倍) の場合、frame-break の効果の有無に応じて 1 から 5 の 5 段階で立体感の評価を行ってもらった。数値が大きいほど強い立体感を感じたことを表す。また、5 種類のシーンにおいて余白の大きさを 0, 5, 15, 25 に変化させ、同様に 1 から 5 の 5 段階で立体感の評価を行ってもらった。

はじめに、評価 3 の基準となるシーン (図 7a) を椅子に座った参加者に見せ、その後上記の 20 通りの frame-break 有シーンと 5 通りの frame-break 無シーンをランダムな順序で提示し評価を行ってもらった。参加者ははじめ、椅子に座った状態で頭をカメラから 50cm の位置にした状態で実験を始めるが、実験開始後は椅子に座った状態で自由に頭を動かしてもらった。

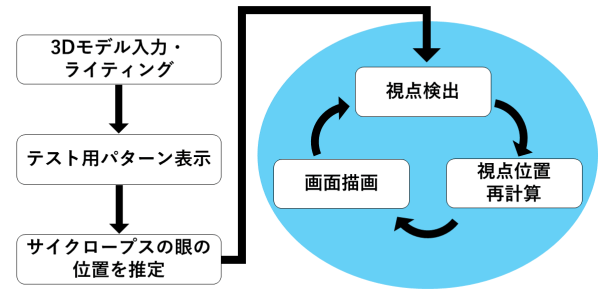


図 5: 実験で用いるシステムの処理の流れ

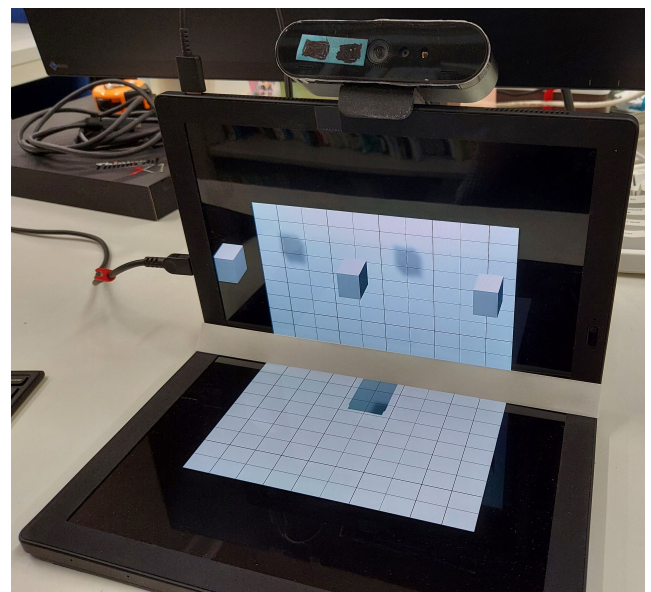


図 6: 実験環境。画像は余白の大きさ 15 の場合

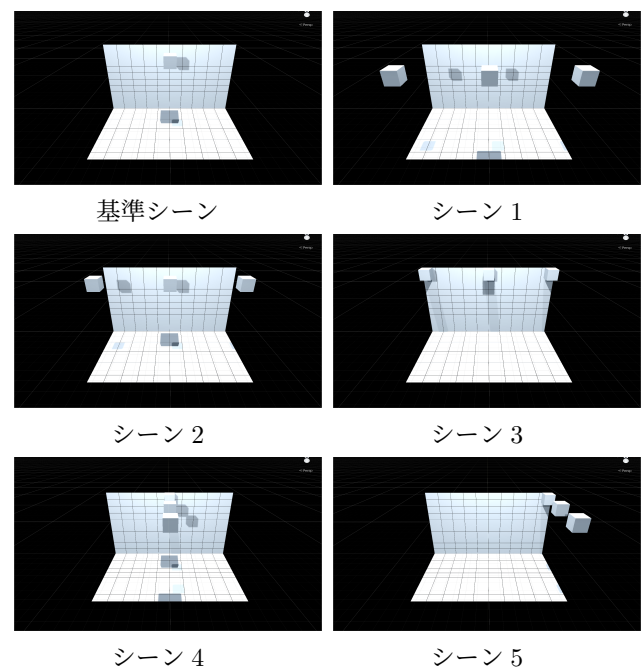


図 7: 実験で用いた評価シーン

表 1: 余白の有無に応じた立体感の評価結果

	余白有り	余白無し
	平均 ± SD	平均 ± SD
シーン 1	4.14 ± 0.90	2.86 ± 0.69
シーン 2	4.14 ± 0.38	2.86 ± 0.69
シーン 3	3.57 ± 0.79	2.29 ± 0.76
シーン 4	4.29 ± 0.76	4.14 ± 0.69
シーン 5	4.14 ± 0.69	2.00 ± 0.81

表 2: 余白の大きさごとの立体感の評価結果

	余白の大きさ			
	0	5	15	25
	平均±SD	平均±SD	平均±SD	平均±SD
シーン 1	3.29±0.95	3.57±0.98	4.14±0.90	3.71±0.76
シーン 2	3.14±0.90	3.57±0.98	4.14±0.38	4.00±0.00
シーン 3	2.86±0.69	3.71±0.76	3.57±0.79	3.57±1.13
シーン 4	3.86±0.90	3.86±0.69	4.29±0.76	3.14±0.90
シーン 5	1.86±0.90	3.14±1.21	4.14±0.69	3.36±0.69

4. 結果と考察

20代の大学生男女7人に対し実験を行った。frame-break 効果の有無によるシーンごとの評価の平均値と標準偏差 (SD) を表 1 に示す。余白の大きさに応じたシーンごとの評価の平均値と標準偏差 (SD) を表 2 に示す。

余白の大きさ 15 の結果において、シーン 4 を除いて frame-break 効果の有無による立体感の差があるという結果となった。シーン 4 はオブジェクトを中央に寄せたシーンであるため、実験参加者の視点位置の範囲では frame-break の効果が無かったと考えられる。同様に frame-break の効果が無い余白の大きさ 0 においてもシーン 4 は高いスコアが得られている。これらの結果から、frame-break は本システムにおいても立体感を向上させると考えられる。また、余白が過剰であった場合、立体感が変化しなくなる結果となっているため、最低限の余白の大きさを考慮することで描画領域を広く保つことが可能である。

立体感が低いと評価されたのは、余白の有無によらず実際の画面端にオブジェクトが到達し一部が欠落したケースであった。しかし余白の大きさ 0 のシーン 1 のように、一部のオブジェクトがほぼ画面外に存在し、視点を動かしても一部分しか見えない場合、評価が大きく下がるのが無かった。全く見えていないのであれば、シーン内に存在しない状態と同様であるため、影響がないと考えられるが、視点によって一部分見えているような場合であっても大きな影響を及ぼさなかった。おそらく、はじめから大きく欠落しているオブジェクトを立体として認識していないため影響がないのではないかと考えている。オブジェクトに対する認識と、オブジェクトの欠落した大きさの影響については、今後より詳細な検証が必要である。

5. 結論と課題

本稿では徳永らの裸眼立体視システム [3] に対し frame-break 効果を適用した際の影響について述べた。実験結果を分析したところ、画面の大きさを犠牲にしても、frame-break 効果はシステムの立体感の向上につながる結果という結論を得た。

今後は実験データを増やし、より詳細な分析をする必要がある。また、静的なシーンにおいては、事前にシーンオブジェクトが欠落しない適切な大きさの余白を生成することで立体感の向上が図れる。しかし、frame-break 効果を用いても、その余白からオブジェクト大きくはみ出し一部が欠落した場合は立体感が低下する。動的なシーンや、投影範囲外から画面内へ移動するオブジェクトが避けられないシーンも想定され、これらの場合においてオブジェクトの一部が欠落することによる立体感の低下への対応も今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、科研費挑戦的研究 (開拓) 20K20481 の支援により実施された。

参考文献

- [1] 3D アーティスト 永井秀幸 公式サイト 鉛筆/3d アーティスト 永井秀幸 - official site オフィシャルサイト, <https://nagaihideyukiart.jimdo.com/> (2021)
- [2] 井阪 建, 藤代 一成: “L 字型表示面を用いた錯視による裸眼立体映像生成”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 70, No. 6, pp. J142–J145 (2016), doi: 10.3169/itej.70.J142
- [3] 徳永 恵太, 長澤 彦己, 藤代 一成: 「サイクロプスの眼: 直交配置マルチディスプレイを用いた裸眼立体映像生成のためのアナモルフォーシスの先鋭化」, 画像電子学会誌, Vol. 50, No. 4, pp. 550–557, 2021 年 10 月
- [4] The IMAX Difference— IMAX, <https://www.imax.com/content/imax-difference> (2022).
- [5] P. Viola, M. Jones: “Robust Real-Time Face Detection”, International Journal of Computer Vision, Vol. 57, No. 2, pp. 137–154 (2004).
- [6] Unity Real-Time Development Platform — 3D, 2D VR & AR Visualizations, <https://unity.com/> (2022).
- [7] ThinkPad X1 Fold 世界初の画面折りたたみ式 PC レノボジャパン, <https://www.lenovo.com/jp/ja/thinkpad-x1-fold> (2022)