

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12034

研究課題名（和文）トリックアート原理に基づく簡易マルチディスプレイ3次元映像表示環境の開発

研究課題名（英文）Development of a Simple Stereoscopic Display System with Multiple Monitors Based on a Trick Art Principle

研究代表者

藤代 一成 (Fujishiro, Issei)

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：00181347

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、標準な投影型ディスプレイを効果的に利用し、安価ながら立体視表示を可能にするディスプレイシステムを提案した。複数枚の汎用ディスプレイを直交配置したL字型の表示空間内で、陰影を中心とした心理的な奥行き知覚要因および運動視差によって、一般的な2Dグラフィックスと同等の解像度と明度をもつ、個人向けの裸眼立体映像を手軽に生成する。アナモルフォーシスの原理に従い、ユーザ視点から見た3次元オブジェクトを、直交配置された複数枚のディスプレイ上に射影変換し、ウェブカメラから取得したユーザ視点の移動に応じて更新する。視線追跡によるユーザ評価を行い、本提案手法の有効性を実証した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we reexamined more effective use of projective display hardware to propose a cost-effective stereoscopic display system. A novel method relying primarily on psychological factors of depth perception, mainly through shadowing & shading and motion parallax, was presented to easily generate high-resolution and bright enough 3D images, which are perceivable with the naked eyes of a personnel only with orthogonally-arranged multiple general-purpose display monitors. The system builds upon the principle of anamorphosis to render the partial images of an input object projected to each of the display monitors, and updates the displayed image fragments in real time according as the position of the user's eyes captured by a webcam. The effectiveness of the proposed method was verified through user evaluation experiments with eye-tracking facility.

研究分野：知的環境メディア

キーワード：立体視 3次元錯視 アナモルフォーシス 視線追跡 没入感

1. 研究開始当初の背景

投影に頼らない立体視は、ビジュアルコンピューティング分野における究極の目標の一つである。その目的でホログラフィをはじめ、さまざまな描像原理のディスプレイが提案されてきた。しかし現状では、いずれのデバイスも 4K や 8K といった解像度や HDR の精細度を有する今日の投影型ディスプレイが示すリアリティある表現の品質には遠く及ばない。そこで本研究では、ヒトの視覚系がもつ錯視効果に注目することによって、標準的な投影型ディスプレイを上手に利用し、立体視が実現できないか再考する。

2. 研究の目的

近年 3 次元トリックアートが多数提案され、その可能性に大きな注目が寄せられている。本研究では、永井秀幸 (アーティスト) が発表してきた一連の 3 次元トリックアートに見られる魅力的な視覚効果に着目した。彼の作品は共通して、図 1 に示すように、立てかけたスケッチブックの画用紙に続けて描かれた対象が紙面から飛び出したように見える。彼は、対象が影も含めて用紙を跨いで連続して見えるように描いているので、鑑賞者も作画時と同じ位置に視点をおかなければ、その強いポップアップ効果は得られない。そこで、この画用紙を市販の狭額ディスプレイ 2 枚に置き換え、それらを直交に配置した簡易な表示空間を設定してみる。鑑賞者がそこに映る映像に対し視点を動かしても、Web カメラで追跡すれば、その位置に合わせて表示コンテンツをリアルタイムに変形させることができる。こうすれば、個人向けにポップアップ効果をもつ裸眼立体視システムを手軽に実現できるのではないかと基本的なアイデアを着想した。



図 1：永井秀幸の作品例

3. 研究の方法

本研究では、上記の基本アイデアに基づき、試験的システムを実装し、視線追跡を利用した評価実験を通して、被験者が表示対象を立体的に知覚している事実を確認した。次に、この立体視を可能にする原理を考察した。さらに、提案する簡易立体視に適合する 3 次元映像コンテンツのクラスを同定した。

4. 研究成果

(1) 提案手法における基本的な処理の流れを示す (雑誌論文, 学会発表)。

- ・ 対象となるポリゴンモデルを用意し、壁面と床面が形作る L 字型表示空間の中心部に収まるように配置する。
- ・ 2 個のスポットライトを相異なる位置に配置し、壁面と床面、および入力モデル上にキャストシャドウを生成する。
- ・ Off-axis 投影を用いて、直交配置された各ディスプレイ面に対し、ポリゴンモデルを射影変換する。
- ・ ウェブカメラを用いて Viola-Jones 法によりユーザの顔を追跡することで視線を特定し (雑誌論文), 表示内容をリアルタイムに更新する。
- ・ 立体視を聴覚的に補助するために、視線位置に合わせて対象から発する音量と音高を調整する。

図 2 に本研究で開発した試験的システムの動作例を示す (雑誌論文, 学会発表)。

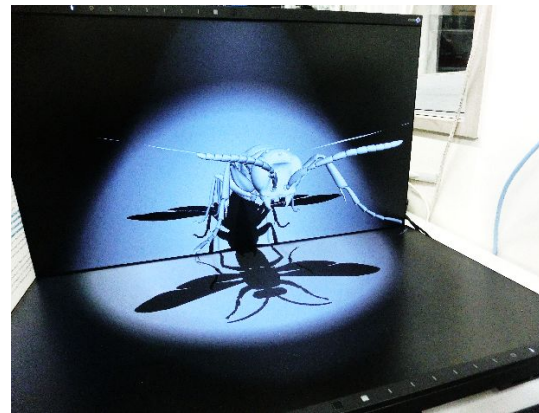


図 2：試験的システムの動作例

(2) 提案手法によって、鑑賞者が立体視を感じているかどうか、視線追跡を用いて客観的に評価した。図 3 にその結果を示す。ここでは、橙色の円が注視点を表し、それらを繋ぐ線分が軌跡を表している。実際、鑑賞者は直交に配置されたディスプレイの額等を気に留めず、描画された対象にそって連続的に視線を動かしている様子が観察される (雑誌論文)。



図 3：視線追跡による立体視効果の確認

(3)提案手法によってポップアップ効果が成立する原理は、以下のように説明できる。

- ・ 特定の視点から見た 3 次元空間像を投影する原理自身は、アナモルフォーシス（歪像図）とよばれるデザイン技法として 15 世紀から知られている。永井秀幸作品のトリックの根本はここにある。
- ・ しかも、アナモルフォーシスを成立させる Off-axis 投影は、接続する直交ディスプレイの境界付近の投影図において、ゲシュタルト心理学のよい連続の要因（Good continuation）を保証している。
- ・ さらに、垂直と水平のディスプレイをそれぞれ壁と床と認識する構図に対する前提知識が垂直ディスプレイから手前に伸びる対象の突出し感を増強する。
- ・ 提案手法はアナモルフォーシスにおける特定視点の幾何拘束をリアルタイム視線追跡によって解くことに成功している。連続的に変化する視点において常にアナモルフォーシスが成立することによって、いわゆる Structure from Motion による強い奥行き感が得られる。
- ・ 本来のアナモルフォーシスであれば、両眼視差をキャンセルできる単眼カメラによる撮影が最も効果が高い。逆に提案手法は運動視差を誘発し、立体感の増強につなげている。

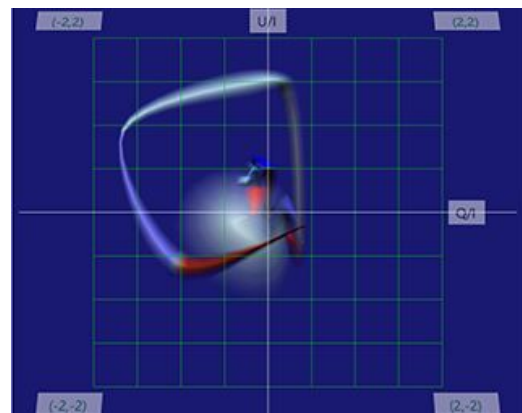
(3)多画面展開の一つとして、三面表示拡張系も試作した。図4のように、左端のディスプレイには外向きウェブカメラからの背景映像を透過表示し、そこにコンテンツの一部を重畳することにより、横からの覗込みに対してポップアップ効果をさらに増強させている。これは Augmented virtuality の好例として位置づけることができる（雑誌論文）。



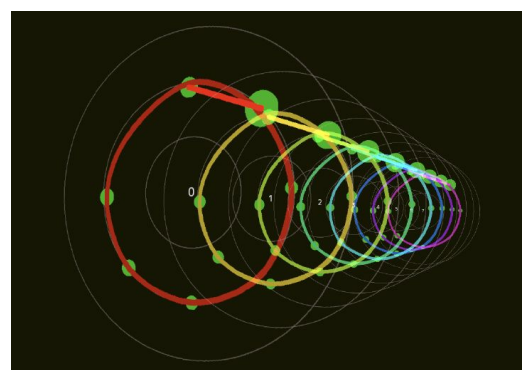
図4：三面画面拡張系の応用例

(4)本提案手法による立体視が効果的なコンテンツクラスとして、突起状のオブジェクトを利用する情報可視化応用 2 種を選定した。いずれも研究代表者が別の研究課題で研究に携わっているものである。図5(a)は、プレーヤー天体の時系列多次元観測データを幾何学的に表現する TimeTubes（引用文献 1）、

図5(b)は、複数音楽プレーヤーの演奏におけるグルーブ感を軌道メタファによって可視化する SeeGroove2（引用文献 2）である。



(a) TimeTubes



(b) SeeGroove2

図5：提案手法に適したコンテンツクラス

（引用文献）

- 1) Longyin Xu, Masanori Nakayama, Hsiang-Yun Wu, Kazuho Watanabe, Shigeo Takahashi, Makoto Uemura, and Issei Fujishiro: “TimeTubes: Design of a visualization tool for time-dependent, multivariate blazar datasets,” in *Proceedings of SAS NICOGRAPH International 2016*, pp.15-21, IEEE Xplore, Hangzhou, China, July 6, 2016 [DOI:10.1109/NicoInt.2016.3].
- 2) 神 展彦, 芳賀直樹, 藤代一成:「マルチスレッド設計によるインタラクティブなグルーブ可視化」, 画像電子学会誌, 46 巻, 1号, 160 頁-164 頁, 2017 年 1 月

(5)本方式は、CAVE に代表される多画面没入型表示技術の簡易版と捉えることができる。一方、リアルタイムに環境、特に利用者の状態を捕捉し、それに合わせて適応的に表示コンテンツを調整する SAM (Smart Ambient Media)(雑誌論文, 学会発表) の一例と位置づけることも可能である。

提案環境は、急速に普及しつつある、高性能のカメラ・ディスプレイ・通信機能が同時搭載されたタブレット端末やスマートフォ

ンを利用して、ユビキタスな個人向け裸眼立体視環境を安価に提供できる。また、パブリックディスプレイに利用すれば、特定のビューワーの動きに追従した立体コンテンツ表示が可能である(雑誌論文,学会発表)。このような展開に際しては、外界照明の反射特性を考慮した表示色の校正や、複雑化したコンテンツの更新における遅延表示の問題の解決が重要になる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

長尾 建, Kwan-Liu Ma, 藤代一成:「往来者の位置に合わせた大型ディスプレイ広告の形状・レイアウトの適応的変更」,画像電子学会誌,46巻,1号,176頁-188頁,2017年1月[査読付]

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」(動画付き研究速報),映像情報メディア学会誌,70巻,6号,J143頁-J146頁,2016年5月[査読付]

井阪 建, 藤代一成:「IFWB:「第四の壁」を壊す簡易イメージベースモデリング手法」,芸術科学会論文誌,14巻,4号,150頁-159頁,2015年9月[査読付]

[学会発表](計11件)

Fumiya Shimizu and Issei Fujishiro: “Selection of localized audio track based on eye-tracking technologies with application to musical art gallery,” in *Proceedings of the 5th IEEE International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2017)*, 5C-1, Da Nang, Vietnam, March 3, 2017. [査読付]

Ken Nagao, Issei Fujishiro, and Ikuo Takahashi: “Effects of non-contact interaction on digital signage advertisement,” in *Proceedings of the 5th IEEE International Workshop on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2017)*, 3C-2, Da Nang, Vietnam, March 2, 2017. [査読付]

斎藤英雄(ファシリテータ),茂木健一郎,木村聡貴,三上 弾,今井倫太,藤代一成:「コンピュータに騙される人間の脳-バーチャルリアリティとロボットに見る」,KEIO TECHNO-MALL 2016(第17回慶應科学技術展)ラウンドテーブルセッションI,東京国際フォーラム(東京都千代田区),2016年12月16日

清水文也,藤代一成:「空間局在オーディオの視線追跡選択:エンタテイメント応用に向けて」,画像関連学会連合会第3回秋季大会予稿,D10,京都工織大学(京都府・京都市左京区),2016年11月18日
Anri Kobayashi and Issei Fujishiro: “An affective video generation system supporting impromptu musical performance,” in

Proceedings of Cyberworlds 2016, pp.17-24, IEEE Xplore, Chongqing, China, September 29, 2016, DOI:10.1109/CW.2016.11. [査読付]

藤代一成:「ビジュアル情報処理のパイプラインと研究スパイラル再考」,画像電子学会第278回研究会招待講演,公立ほこだて未来大学(北海道函館市),2016年8月26日(映像情報メディア学会技術報告,40巻,7号,9頁-10頁,AIT2016-139)

藤代一成:「知覚心理学応用のスメー「見せる」から「魅せる」へ」,3D合同シンポジウム招待講演,東京国際フォーラム(東京都千代田区),2016年6月21日

Ken Nagao, Yucong Ye, Chuan Wang, Issei Fujishiro, and Kwan-Liu Ma: “Enabling interactive scientific data visualization and analysis with see-through HMDs and a large tiled display,” in *Proceedings of IEEE VR Workshop on Immersive Analytics 2016*, Greenville, USA, March 20, 2016, DOI:10.1109/IMMERSIVE.2016.7932374 [査読付]

小林杏理,藤代一成:「即興演奏に呼応するアフェクティブな映像生成システム」,映像表現・芸術科学フォーラム2016,東京工芸大学(東京都・中野区),2016年3月9日(映像情報メディア学会技術報告,40巻,11号,261頁-264頁,AIT2016-42)[優秀ポスタ賞(インタフェース)・CG-ARTS人材育成企業賞(株式会社アニマ)受賞]

藤代一成,井阪 建:「トリックアート原理に基づく裸眼立体ディスプレイシステム」,KEIO TECHNO-MALL 2015(第16回慶應科学技術展),No.14,東京国際フォーラム(東京都千代田区),2015年12月4日

井阪 建,藤代一成:直交配置マルチディスプレイを使った錯視による裸眼立体映像生成,Visual Computing/グラフィクスとCAD合同シンポジウム2015予稿集, No.15,姫路市民会館(兵庫県姫路市),2015年6月29日[査読付]

[その他]

ホームページ等

慶應義塾大学理工学部藤代研究室

<http://fj.ics.keio.ac.jp>

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤代 一成 (FUJISHIRO, Issei)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号: 00181347

(2)研究分担者

茅 暁陽 (MAO, Xiaoyang)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号: 20283195