研究速報

論文特集 ■ 映像表現とコンピュータグラフィックス ～映像表現・芸術科学フォーラム2017を中心に～

スマートフォンとDFD錯視現象を利用した小型3D画像表示装置の開発

Development of 3D Display Device Using Smartphone and Depth Fused 3-D (DFD) Phenomenon

三瓶卓方[†], 正会員 下馬場朋禄[†], 正会員 角江 崇[†], 正会員 伊藤智義[†]
Takuho Sanpei[†], Tomoyoshi Shimobaba[†], Takashi Kakue[†] and Tomoyoshi Ito[†]

あらまし スマートフォンとDFD錯視現象を利用した小型3D画像表示装置の開発とDFD用画像の自動生成システムの開発を行った。開発した装置とDFD用画像を元に複数人の観測者に主観評価を行ってもらった結果、奥行き知覚に対して良好な評価を得ることができた。

キーワード：DFD, 立体視, スマートフォン

1. ま え が き

近年、3D映像表示の新たな手法として、DFD (Depth Fused 3-D)錯視現象を利用した表示装置が提案されている¹⁾。この手法では、奥行き異なる位置に2枚の画像を配置し、これらの画像の輝度を変化させることで違和感のない奥行き立体知覚を得られる。従来の3D映像表示方法と比べ装置を簡易に構築することが可能であり、観測者の疲労感も少ないという利点を持っている。DFDを利用した3D映像表示の研究は、さまざまところで行われているが、コンピュータスクリーンのような大型で高価な光学系を用いてDFD錯視を表現しているものが多い。

本研究では、簡易に構築可能な装置を実現するために、普及率の高いスマートフォンを用いたDFDによる小型3D画像表示装置を開発した。小型のDFD装置の開発事例としてLCDを2枚積層した装置がある²⁾。この研究では、特別に設計されたLCDを用いて完成度の高い装置の開発に成功している。本研究では、このような特殊なLCDを用いずに、Google Cardboard³⁾のコンセプトのような安価な装置を目指している。また、本研究ではカメラで撮影した静止画や動画を3D表示することを見据え、デプスマップ情報を利用したDFD用の前後画像を自動で生成するシステムの構築を行った。次に構築した装置および自動生成した前後画像を評価するために、装置上で前後画像を表示し、奥行き表現ができていないかどうかの評価を行った。評価方法として、複数人の観測者の協力を得て、表示した3D画像について奥行きを感じるかどうかのアンケートを取った。アンケート結果から、意図した奥行き表現ができていないという結果

を得ることができた。

2. DFDを用いた小型3D画像表示装置

DFD錯視とは、図1のように奥行き方向前後に2枚の画像を配置し、輝度を変化させることで奥行きを表現することができる現象である。例えば、前面の輝度を高く、後面の輝度を低くすることで、観察者は手前側に映像を知覚することができる。逆に前面の輝度を低くし、後面の輝度を高くすることで、奥側に映像が知覚される¹⁾。

装置の概念図を図2に示す。前面画像と後面画像を重ねるためにハーフミラーとミラーを用い、前後画像を映すためのディスプレイとして1台のスマートフォンを用いる。本来、画像を表示するためには、透明なディスプレイが必要であるが、ハーフミラーとミラーを用いることによって同等の機能を実現した。スマートフォンのディスプレイに

図1 DFD錯視現象の原理

2017年6月9日受付, 2017年7月28日採録

[†] 千葉大学大学院工学研究科

(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33, TEL 043-251-1111)

図2 概念図

図3 3D画像表示装置

前後画像を表示する．後面画像はミラーに映って反射し，ハーフミラーに映された前面画像と重なることでDFD錯視を利用した3D画像を表示する．

図3に実際に開発した3D画像表示装置を示す．ハーフミラー，ミラーを設置する筐体は厚紙でできており，この設計図を例えばインターネットで配布しユーザが印刷することで，Google Cardboard³⁾のように誰もが簡単にDFD装置を作成することができる利点がある．

また，前後画像を生成するためにGoogleカメラ⁴⁾のデプスマップ画像を利用する検討を行った．カメラで撮影した静止画や動画は，手動で輝度を変化させて前後画像を作成することが難しいため，デプスマップ情報を元に自動で輝度を変化させる．Googleカメラは，Googleによって開発されたスマートフォン向けのカメラアプリで，スマートフォン1台だけでデプスマップ情報を含んだレンズぼかし画像を撮影することができる．このようにディスプレイとしての利用だけでなく，表示画像の撮影にもスマートフォンを利用した．

3. 奥行き表現の評価

3D画像表示装置の評価方法として，観測者に表示した画像に対する奥行き表現についてアンケートを取得した．観測者は，20代から40代の視力に問題のない男女13人であった．

検証画像は図4に示すA～Dである．画像の輝度（前面：後面）は，A（100%：25%），B（75%：50%），C（50%：75%），D（25%：100%）である．理論的には手前から奥に向かって，A→Dの順に認識される設定である．検

図4 検証画像（上:前面下:後面）

図5 DFD錯視画像

表1 アンケート結果 (%)

前後知覚	A	B	C	D
1番	92.4	7.6	0	0
2番	7.6	92.4	0	0
3番	0	0	84.7	15.3
4番	0	0	15.3	84.7

証画像を3D画像表示装置上で表示した画像を図5に示す．装置から観測者までの距離は100 cm程度，前後画像の距離は5 cm，各四角形の大きさは縦横共に1.4 cmである．観測者には，A～Dの画像に対して，手前に見えたものから1→4の順に番号で答えてもらった．

結果を表1に示す．Aが1番目（一番手前）に見えた割合が92.4%，Bが2番目に見えた割合が92.4%，Cが3番目に見えた割合が84.7%，Dが4番目に見えた割合が84.7%であった．AとBおよびCとDの順番を逆に答える観測者もいたが，このアンケート結果から，輝度を変化させることにより意図した順番で奥行きを表現できていることを確認できた．

4. デプスマップを用いたDFD錯視映像の自動生成

続いて，手動ではなく，カメラで撮影した静止画や動画を3D表示させるために，デプスマップを用いてDFD用の前後画像を自動生成するシステムの構築を行った．

図6にGoogleカメラで撮影したレンズぼかし画像，図7にレンズぼかし画像からデプスマップ情報だけを表示させた画像を示す．手前に表示されている部分は暗く，奥に表示されている部分は明るく表示される．

図6 撮影したレンズぼかし画像

図7 デプスマップ画像

図8 自動作成した前後画像(上：前面，下：後面)

DFD用画像を自動生成するために、デプスマップ画像から画素ごとの輝度を取得する。取得した輝度を20のレンジに分け、輝度レベル毎に画像処理を行った。具体的には、輝度が高い部分は前面画像を明るく、後面画像は暗く、輝度値が低い部分はそれぞれ逆の処理を行う。図8に自動作成を行った前後画像を示す。

観測者に図9の前後画像を装置上に表示した図9のDFD錯視画像を見てもらい、奥行きを感じるかどうかの質問を行った。装置から観測者までの距離および前後画像の距離は同じで、画像の大きさは縦3.5 cm、横6.2 cm、デプスマップ画像の奥行き範囲は100 cmである。

結果としては、13人中13人の観測者から奥行きを感じるという回答を得た。ただし、前後画像で輝度の差がない画

図9 DFD錯視画像

像中央部分に関しては、像が重ならず見にくいという指摘があった。これは、輝度の差が少ないため画像を重ねた際に、前後画像ともその部分がはっきりと見えてしまい、目の焦点が合わないことが原因だと推測される。

5. むすび

スマートフォンを用いた3D画像表示装置の開発およびDFD用画像の自動生成システムの構築を行った。構築した装置上で評価を用い、奥行きを表現することができた。今後の課題として、前後画像の輝度の差が少ない部分についての処理、および、デプスマップ情報がついた動画の撮影についての検討を行う。

〔文 献〕

- 1) S.Suyama, S.Ohtsuka, H.Takada, K.Uehira and S.Sakai: "Apparent 3-D Image Perceived from Luminance-Modulated Two 2-D Images Displayed at Different Depths", Vision Research, 44, 785-793 (2004)
- 2) 高田英明, 陶山史朗, 伊達宗和, 昼間香織, 中沢憲二: "前後2面のLCDを積層した小型DFDディスプレイ", 映像学誌, 58, 6, pp.807-810 (2004)
- 3) https://vr.google.com/intl/ja_jp/cardboard/
- 4) <https://support.google.com/googlecamera/?hl=ja>

三瓶 卓方 2010年、山形大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。現在、千葉大学大学院工学研究科博士後期課程在学中。3次元映像技術や教材開発の研究に従事。WEBエンジニア。

下馬場朋裕 2002年、千葉大学大学院自然科学研究科博士課程修了。同年、理化学研究所基礎科学特別研究員。2005年、山形大学工学部助教授。2007年、同大学院理工学研究科准教授。2009年、千葉大学工学研究科准教授。ホログラフィ応用技術の研究に従事。博士(工学)。正会員。

角江 崇 2008年、京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科電子システム工学専攻修了。2011年、日本学術振興会特別研究員(DC2)。2012年、京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科設計工学専攻修了。同年、千葉大学大学院工学研究科助教。ホログラフィに基づく3次元映像技術や3次元計測技術に従事。博士(工学)。正会員。

伊藤 智義 1992年、東京大学大学院総合文化研究科博士課程中退。同年、群馬大学工学部助手。1994年、同大学助教授。1999年、千葉大学工学部助教授。2004年、同大学教授。専用計算機による数値計算の高速化の研究に従事。博士(学術)。正会員。