

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 6 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650015

研究課題名（和文） 波動光学再生シミュレータによる 3D 映像の光学的評価法の検討

研究課題名（英文） Study on optical evaluation methods for three-dimensional images by using an optical-wave reconstruction simulator

研究代表者

坂本 雄児 (SAKAMOTO YUJI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：40225826

研究成果の概要（和文）： 3Dディスプレイの光学的特性を解析するソフトウェアを開発、これによる3D映像の理論的解析を行うとともに、各種3Dディスプレイと等価な3D映像を表示する電子ホログラフィを用いた波動光学再生シミュレータを開発し、各種3Dディスプレイの主観評価実験を行った。これにより、様々な3Dディスプレイの光学特性と主観的な評価の間の基礎的な関連を明らかにした。

研究成果の概要（英文）： A software for analyzing optical characteristics of various three-dimensional displays and an optical-wave reconstruction simulator using by an electro-holography that can simulate the three-dimensional images of various types of three-dimensional displays were developed. The basic relations between optical characteristics and subjective evaluations were clarified by using them.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	0	2,300,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	210,000	3,210,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：3D映像、画質評価、主観評価、波動光学再生シミュレータ

1. 研究開始当初の背景

近年、様々な方式の立体映像表示ディスプレイ（3Dディスプレイ）が実用化されている。これらの3Dディスプレイは多視点画像を空間に投影するものが基本であり、3D映像の視覚生理的矛盾による疲労、画像の不自然さの問題が指摘されている。しかし、各々の3Dディスプレイの疲労等がどのような光学的特性によるものかは、まだ明らかではない。立体映像の画像の評価を行うには、開発

された装置を実際に用いて、被験者へのアンケート方式による主観評価が行われている。これらの実験により、3Dディスプレイの方式と立体知覚の関係による疲労や不自然な立体感などが報告されている。しかし、どのような光学的特性によって発生しているのかはまたはっきりはしていない。特に、客観的な定量的な検討に関しては、ほとんど行われていないのが現状である。立体画像の画質の基本となるべき、S/Nの測定法さえ確立して

いない。

2Dの画像に比べて3D映像の評価が困難な原因は、

(1) 3D映像自体の空間分布の光学的特性の問題、

(2) 人間の立体認知は非常に多くの情報の統合であり、高度に抽象化されておりそのメカニズム自体が分かっていない

などがあげられる。例えば、我々がある物体を見るとき、物体に焦点を合わせるとはっきりと見えるが、奥行きが違う物体を見る時、先ほどの物体は網膜上ではボケているはずである。逆にこのボケた状態も含めて立体感を得ているとも言われており、3D映像の画質を評価する際には、このような3D映像自体の空間分布の光学的特性を考慮する必要がある。

2. 研究の目的

現在、様々な方式の3Dディスプレイが実用化または提案されているが、それぞれ立体知覚が異なることが言われている。しかし、主観評価実験は実機によるものであり、そのサイズや明るさ、解像度等は異なり、各方式の3Dディスプレイを同一の条件で比較することは困難である。各方式の3D映像の画質を実機を用いずに理論上で比較することのできる評価法が必要とされている。本研究では3Dディスプレイの光学的特性を基に、3D映像の画質の定量的指標を用いた評価法の確立を目的として、以下の点を検討する。

(1) 方式毎の3Dディスプレイの光学的特性を明らかにする。

(2) これらの3Dディスプレイを定量評価するための指標の検討を行う。

(3) 人間の主観評価との関係を基礎として、指標の有効性を確認する。

3. 研究の方法

(1) 各種の3Dディスプレイの空間に投影する光波動的分布を計算するソフトウェアを開発し、基礎となる光学的特性を明らかにする。

(2) 上記のソフトウェアを用いて定量評価するための評価手法の検討を行う。特に、焦点調整、視差などの変化にも対応したS/N、画像の解像度、立体感などを評価しうる定量評価指標であることを重視する。

(3) 電子ホログラフィ装置を用い、各種の3Dディスプレイの光学的分布を実際に空間に投影し、これを用いて観察者による主観評

価を行う。

(4) 上記2つの結果をもとに、3Dディスプレイの定量評価指標と人間の主観評価結果の間の関係を求め、指標の有効性の検討を行う。

4. 研究成果

(1) 3Dディスプレイが空間に投影する光の分布は、それぞれの装置により大きく異なる。そのため、人間が立体知覚する際の視差、焦点調節、解像度などの特性が異なってくる。そこで、これらの装置の光学系をモデル化し、装置の投影する光の分布をシミュレーションするソフトウェアを開発した。これはIP (Integral photography)、HS (Holographic Stereogram)、ホログラフィの各方式の3Dディスプレイが空間に投影する3次元空間の光分布と実際の物体が発する光 (インコヒーレント結像) のシミュレーションを行うことができる。これを用いて投影される光空間の特性の解析を行った結果、3Dディスプレイの方式毎に、空間の光分布が大きく異なることが示された。このシミュレーションにより、ホログラフィ方式が最も良い3D映像を作り出している様に見える。しかし、ノイズも多く、この点IPが優れている。このことは、理論から定性的には予測されていたことであるが、これをシミュレータにより定量的な確かめることが出来た。この結果の一例を下図に示すが、ここでは2物体を奥行きが違うところに置き、各ディスプレイが作り出す光分布を示したものである。



(2) 光空間の特性を定量評価するための指標として、VSNR (Volume Signal to Noise Ratio)を提案した。VSNRはインコヒーレント結像と3Dディスプレイが作り出す空間光分布をSN比として示したもので、3Dディスプレイの解像度、画素数、ノイズ、奥行きによるボケ方も含めた空間に投影された光分布全体の評価が含まれており、総合的な評価指標となっている。これを各方式の3Dディスプレイに適応し評価した結果は、上記の空間の光分布結果を良く反影するものであった。このことは、VSNRが3Dディスプレイを設計の段階で他の方式の3Dディスプレイと光学特性を比較可能な一つの指標となりうることを示された。

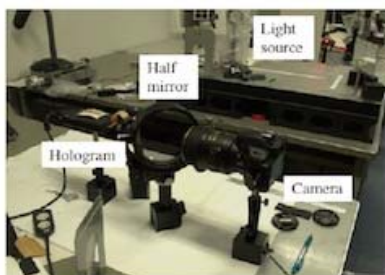
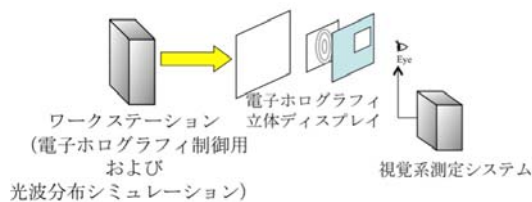
以下に、VSNRをIPとホログラフィで求めた結果の一例を示す。IPに比べホログラフィが高いVSNRを示す傾向があり、原因として解像度による影響が大きいことが上げられる。

IPと電子ホログラフィでのVSNRの比較

Display Type	Point object (PSF)	Two objects
Electro-holographic display	Identification	14.8[dB]
Integral Photography	-1.0[dB]	1.8[dB]

(3) VSNRの有効性の確認には、主観評価との関連を明らかにする必要がある。主観評価実験を行うためには、様々な方式の3Dディスプレイが必要となるが、製作を行うことは時間、費用の面で大きなコストを必要とする。そこで、計算機合成ホログラムで用いられる波面合成技術を用い、各3Dディスプレイから投影される波面の分布を計算し、これを電子ホログラフィ装置で実際の光波面を投影する波動光学再生シミュレータを開発した。これによって、原理的には様々な方式の3Dディスプレイによって表示された際の波面と同様な波面が空間に投影される。これによって、3Dディスプレイのサイズや解像度などのパラメータを実機を作ること無く変更することができるため、各種の方式の3Dディスプレイのパラメータを同一とした評価実験が可能となる。

3Dディスプレイから投影される波面の計算は、3Dディスプレイの光学系のモデル化と波面のシミュレーションが必要であるが、これは(1)の3次元空間の光分布のシミュレータを基に開発した。以下に、その構成図と装置自体の写真を示す。



(4) 上記、波動光学再生シミュレータに立体知覚測定を行うために、奥行き評価のために三桿法野原理を用いた装置、視点移動による視差の変化を評価するための装置を組合せ、これを用いて主観評価実験を行った。これによって、より精度の高いデータを得られるとともに、各種3Dディスプレイの主観的特性を確認することができた。

(5) データの統計的分析方法を検討し、主観評価に関して適応し、統計的に3Dディスプレイ毎に有為な相違があることが明らかになった。フルパララックスのホログラフィが3Dディスプレイとして、優れていることが確認された。

主観評価結果より、ホログラフィは他の3Dディスプレイとの比較において、VSNRの値での比較より高く評価される傾向があることが分かった。これはVSNRがホログラムのスペックルと呼ばれるノイズの影響を大きく受けるのに対し、人間の視覚系は何かの方法でこれを低減していると思われる。この原因については今のところ不明である。この点以外はVSNRが主観評価と良い相関が得られた。

(6) 明らかになった点

- ① VSNRは、3Dディスプレイの設計段階でも他の手法と比較評価が可能な客観的な定量評価手法の候補となりうる。
- ② 電子ホログラフィを用いた波動光学再生シミュレータは3Dディスプレイ方式の評価方法として有効である。
- ③ IPやHSに比べフルパララックスのホログラフィ方式の作り出す3D映像が優れていることが、空間の光分布と主観評価の面から定量的に示された。

(7) 今後の課題

- ① 今回の研究において対象とした3Dディスプレイは、ホログラムの他2種類であったが、この研究の信頼性を上げるためには、多くの手法との比較が必要である。
- ② 小規模な人数による実験であり、大規模な人数による評価実験により、高い信頼性を得る必要がある。
- ③ 今回の電子ホログラフィを用いた波動光学再生シミュレータは画角が小さく、大画面の評価では異なってくる可能性があり、大画面での研究が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

① Yusuke Sato, Yuji Sakamoto, Calculation method for reconstruction at arbitrary depth in CGH with Fourier transform optical system, Proceedings of SPIE, 査読有, 8281, 2012, 8281OW1-8, DOI: 10.1117/12.907615

② Yusuke O H S awa, Yuji Sakamoto, Computer-generated holograms at arbitrary positions using multi-view images, Proceedings of SPIE, 査読有, 8281, 2012, 8281OY1-8, DOI: 10.1117/12.907682

③ Noriyuki Hayashi, Yuji Sakamoto, Yasuhiro Honda, Improvement of camera arrangement in computer-generated holograms synthesized from multi-view image, Proceedings of SPIE, 査読有, 7957, 2011, 795711-1-8, DOI: 10.1117/12.874444

④ Yuji Sakamoto, Fumio Okuyama, Quantitative quality measure based on light wave distribution to access 3D display, Proceedings of SPIE, 査読有, 7957, 2011, 795715-1-6, DOI: 10.1117/12.874585

[学会発表] (計4件)

① 佐藤裕典, 坂本雄児, フーリエ変換光学系における自由な奥行きで再生可能な計算機合成ホログラム、第10回情報科学技術フォーラム、2011年9月9日、函館大学(北海道)

② 坂本雄児, 計算機合成ホログラムを用いた立体映像の評価法、第10回情報科学技術フォーラム、2011年9月9日、函館大学(北海道)

③ 本多康洋, 坂本雄児, 多視点画像を用いた計算機合成ホログラムのパラメタが画質に与える影響、映像情報メディア学会研究会(AIT)、2011年2月、北海道大学(札幌)

④ 本多康洋, 坂本雄児, 多視点画像を用いた計算機合成ホログラムにおける奥行き知覚評価、平成22年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会、2010年10月、北海道大学(札幌)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 雄児 (SAKAMOTO YUJI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：40225826