

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330251

研究課題名(和文)多視点対応ピクセルの積層構造を利用した裸眼立体視ディスプレイ

研究課題名(英文)An autostereoscopic display using a stack of semitransparent panels consisting of multiscopic pixels

研究代表者

後藤田 洋伸 (Gotoda, Hironobu)

国立情報学研究所・情報社会相関研究系・准教授

研究者番号：80300705

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：多視点対応ピクセルとは、見る向きによって表示色が変わるピクセルを指す。レンチキュラーディスプレイなどの裸眼立体視ディスプレイでは、こうした多視点対応ピクセルを平面上に並べたパネルが用いられている。本研究では、多視点対応ピクセルからなる透過パネルを何枚か積層するという裸眼立体視の新たな方式を提案した。提案手法に基づくディスプレイは、レンチキュラーディスプレイよりも高解像度の立体画像を表示することができた。また、通常の液晶パネルを積層して作られる積層式ディスプレイとの比較においても、物体間の遮蔽関係が正しく表示されるなどといった点において、優れた性質を持っていることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Multiscopic pixels are pixels whose intensities or colors change as the angles of viewing vary. Two-dimensional arrays of multiscopic pixels have been utilized in autostereoscopic displays, such as lenticular displays, as the devices to deliver viewer-position-dependent images of 3D scenes. In this study, we proposed and investigated a new method of autostereoscopy using a stack of semitransparent panels consisting of multiscopic pixels. By using multiple panels rather than a single panel, the resulting autostereoscopic display was able to outperform the lenticular display built on the same panel. The display was also shown to overcome the problems of multilayer displays, which occasionally exhibited images that were visually inconsistent with each other.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：情報システム ディスプレイ 立体視

## 1. 研究開始当初の背景

メガネなどの器具を装着せずに立体視を行なうことを、裸眼立体視と言う。裸眼立体視の実現方式は、二眼式、多眼式、超多眼式、波面再生式、体積表示式などのタイプに分類することができる。

このうち、多眼式の一つである視差バリアー方式やレンチキュラー方式については、特に重点的に研究されており、少数の視点位置に対応するものであれば、商品化されているものもある。しかし、多眼式の多くは、「1枚のパネルの中にあるピクセルを、様々な視線方向で分け合う」という原理に基づいて構築されており、視線方向数と表示される画像の解像度とが反比例してしまう。このため、滑らかな運動視差を与え(視点位置を動かすと表示画像が滑らかに変化し)、かつ高解像度の画像表示が可能という、二つの要求を同時に満たすことは難しい。こうした状況を踏まえ、複数のパネルを利用した多眼式ディスプレイの研究も行われている。

一方、体積表示式を改良した積層式ディスプレイの研究も、近年盛んに行われている。積層型とは、複数の液晶パネルを適当な間隔を空けて積層するという単純な構造を持つディスプレイであるが、光線空間を近似的に表示できることが、本研究の研究代表者らを含む複数の研究グループによって確認されており、注目を集めている。指向性を持つ光源と液晶パネルの積層構造とを組み合わせれば、光線空間の近似度をさらに高めることができることが知られている。

これらの研究とは別に、ホログラフィー技術を応用した波面再生式の研究も、国内外で精力的に進められている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、多視点对応ピクセル(multiscopic pixel)から成る透過型パネルを複数枚積層した構造を利用して立体画像の表示を行なうという、裸眼立体視の新たな方式を提案し、その方式の理論的な解析やプロトタイプの実装・評価を行なうことにある。

先にも述べた通り、本研究の研究代表者は、通常の液晶パネルを積層することによって、視線方向に依存した画像表示を行なうという裸眼立体視の方式(積層式)について研究してきた。この研究を続けていく中で、積層方式では、物体の遮蔽関係(occlusion)を正確に表示できない場合があることや、表示されるシーンの被写界深度(depth of field)が限定的であることなどが明らかとなってきた。

一方、従来からよく知られている多眼式の裸眼立体視では、微小なレンズや衝立からなるシートを液晶パネルの前面に貼り付けて、パネル中のピクセルに方向依存性を与える

という方法が採られている。このようなピクセルを利用すると、画像の解像度は低く、被写界深度は浅いという欠点はあるものの、物体の遮蔽関係に関しては、整合性の取れた立体像の表示が可能になる。

これらの状況を踏まえ、本研究では、積層式と多眼式とを融合した新たな裸眼立体視の方式を模索することにした。具体的には、

- (1) 通常の液晶パネルを積層するのではなく、多視点对応ピクセルから構成された透過パネルを積層することによって、積層式の欠点の一つである「遮蔽関係の不整合な表示」に対処し、
- (2) 単一のパネルを画像の表示面として使うのではなく、複数枚のパネルを使うことによって、表示される立体像の解像度の向上を図り、被写界深度を深くする

ことを狙った。このような積層式と多眼式の融合が、実際に可能なのかどうかということも含め、研究目標としては、以下の5点を掲げることにした。

- (3) 多視点对応ピクセルの積層構造を使った新たな方式で、裸眼立体視が可能であることを示す。
- (4) 上記の方式で、物体の遮蔽関係が正確に表示できるようになることを示す。
- (5) パネルの積層枚数やパネルの間隔、マイクロレンズの焦点距離などの種々のパラメータと、被写界深度との関係を明らかにする。
- (6) プロトタイプの構築を通して、提案方式が実装可能であることを示すと共に、実装上の課題を明らかにする。
- (7) 他の裸眼立体視方式との比較を行ない、提案方式の持つ利点・欠点を明らかにする。

## 3. 研究の方法

多視点对応ピクセルの積層構造を利用した新たな裸眼立体視方式を確立するため、以下の計画に沿って研究を推進することにした。

- (1) 多視点对応ピクセルの積層構造に対する理論解析

多眼式の裸眼立体視ディスプレイでは、液晶パネルなどの平面パネルと、レンチキュラーレンズなどの光学素子を敷き詰めたシート(以下、レンチキュラーシートと呼ぶ)を組み合わせ、多視点对応ピクセルの2次元配列を構築する。典型的なレンチキュラーディスプレイでは、平面パネルの前面(表示面)にレンチキュラーシートを1枚貼り付ける。レンチキュラーシートのレンズのピッチは、ピクセルの大きさの整数倍になるものが望

ましく、貼り付ける際には、ピッチの連れが極力生じないように注意する。

本研究では、複数枚のパネルを積層するため、各々のパネルは、光を透過するように設計される必要がある。この場合、パネルの前面にのみにレンチキュラーシートを貼り付ける方法と、パネルの両面にレンチキュラーシートを貼り付ける方法、さらにはパネルとレンチキュラーシートとの間に拡散シートを挟み込む方法など、多視点对応ピクセルの構築方法に様々な選択肢が生じる。

ここでは、これらの構築方法の各々において、裸眼立体視が可能かどうかを確認すると同時に、物体の遮蔽関係が正確に表示できるのかどうかや、表示される立体像の解像度と積層枚数との関係などを調べた。さらに、こうした調査結果に基づいて、構築方法の間で比較を行い、どの構築方法が裸眼立体視に最も適しているのかを見極めた。

#### (2) 積層構造に即したピクセルの制御方法の確立

積層式の裸眼立体視ディスプレイでは、与えられた光線空間の近似が表示されるように、各パネルのピクセルの“透明度”を適切に制御する必要がある。典型的な積層式ディスプレイでは、この制御を実施するに際して、大規模な最小二乗問題を解くことが求められる。実時間で制御を可能にするためには、様々な工夫が必要となる。

本研究で提案する裸眼立体視方式でも、ピクセルの積層構造を利用する。多視点对応ピクセルを使用するという違いはあるものの、視線方向に応じてピクセルの重なり具合が変化するという点では従来型の積層式と同じで、大規模な最小二乗問題を解くという点も変わらない。

ここでは、最小二乗解を素早く安定的に得る方法を研究した。

#### (3) プロトタイプシステムの構築と評価

(1)で得られた知見を踏まえ、液晶パネルとレンチキュラーシート等を組み合わせたディスプレイを実際に構築し、(2)で開発した制御方式を適用して、裸眼立体視が可能かどうかを確認した。構築したディスプレイはモノクロディスプレイとカラーディスプレイの2種類で、このうちカラーディスプレイは、モノクロディスプレイの前面にカラー液晶パネルを置く(レンチキュラーシート等と組み合わせて)という方法によって実現した。

なお、当初の計画では構築されたプロトタイプシステムをもとに、他の裸眼立体視方式との比較も行なう予定であったが、レンチキュラーシート等の仕様上の制約により、十分に解像度の高い立体像を得ることができなかったため、この部分の実施は見送ることに

した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 多視点对応ピクセルの積層構造に対する理論解析

前節で述べた通り、多視点对応ピクセルからなる透過型のパネルを構築するには、

(液晶パネル等の透過型の)パネルの前面にレンチキュラーシートを貼り付ける方法  
パネルの両面にレンチキュラーシートを貼り付ける方法  
パネルの片面に拡散シートを貼り付けた上で、その両側をレンチキュラーシートで挟む方法

が考えられる。これら三つの方法の各々について数値シミュレーションを行い、その性質を調べたところ、以下のことが分かった。

①～③のいずれの方法においても、それを積層したパネルで裸眼立体視が可能であった。ただし、の方法では、パネルの間隔を狭く取る必要があり、得られた立体像の被写界深度は最も浅かった。一方、の方法では、二重像の問題に遭遇した。これは、同じ向きを持つ光線であっても、どのレンズと交差するかによって、パネル群を透過した後の最終的な光線の向きが2種類以上になるという性質によるもので、これを解消するには、指向性を持つバックライトを必要とした。の方法は、最も安定的に立体像を表示できる方式であったが、各パネルの光の透過率が低く、複数のパネルを積層する方式にはあまり向かないことが分かった。

以上の結果を踏まえ、とを併用して、プロトタイプシステムの実装を進めることにした。具体的には、積層が可能なの方法に基づいて、モノクロディスプレイのプロトタイプを構築し、これにの方法に基づくレイヤーを追加してカラーディスプレイに転換するという方式を採用することにした。

なお、本研究では液晶パネルとレンチキュラーシートの組み合わせに対して解析を加えたが、同様の解析は、液晶パネルとマイクロレンズアレイとの組み合わせに対しても可能である。このような解析は将来の課題として残されている。

##### (2) 積層構造に即したピクセルの制御方法の確立

積層式の裸眼立体視ディスプレイでは、最小二乗問題を解くことによってディスプレイ内のピクセルの制御を行う。与えられた光線空間をN本の光線によって離散化できると仮定し、ディスプレイ内のピクセルの総数をMとすると、この最小二乗問題は、 $\|Ax-b\|^2$ を

最小にするベクトル  $x$  を求めることに帰着される。ここで、 $A \in R^{M \times N}$ ,  $x \in R^N$ ,  $b \in R^M$  である。このような問題を解くには、一般に LSQR 法、CGLS 法、ART 法などが有効であるとされている。

ここでは、正規方程式  $A^T A x = A^T b$  の近似解を、SOR 法を用いて素早く得る方法を研究した。一般的な線形最小二乗問題とは異なり、積層構造に伴って生じる係数行列  $A$  の場合、転置行列との積  $A^T A$  の近似行列を、簡単な画像演算によって求めることができる。同様に、 $A^T b$  の近似ベクトルも、光線空間の固定焦点画像として得ることができる。このような性質を利用して、 $A^T A x = A^T b$  の近似解を素早く求めた上で、ランダム化された ART 法を適用すると、直接 ART 法を適用する場合に比べて、計算時間を大幅に短縮することができた。

### (3) プロトタイプシステムの構築と評価

液晶パネルとレンチキュラーシート等を組み合わせて、提案方式に基づく裸眼立体視ディスプレイのプロトタイプを実装した。構築したディスプレイはモノクロディスプレイとカラーディスプレイの2種類で、このうちモノクロディスプレイでは、前述の方法に基づいて作成したパネルを2枚ないしは3枚積層した。使用した液晶パネルは NLT テクノロジー社製の 23 インチ IPS 液晶パネル (1600×1200 ピクセル) で、レンチキュラーシートとしては Fresnel Technology 社製の 15 インチ角のもの (レンズピッチ 480  $\mu$ ) を用いた。

構築したモノクロディスプレイと比較するために、パネルの枚数を1枚に減らしたディスプレイ (レンチキュラーディスプレイに相当) と、パネルからレンチキュラーシートを取り除いたディスプレイ (従来型の積層式ディスプレイに相当) をそれぞれ用意した。提案方式のディスプレイは、レンチキュラー方式のディスプレイに比べて、表示可能な立体像の解像度が向上していることが確認できた。一方、従来型の積層式ディスプレイとの比較においては、物体の遮蔽関係の表示において明確な改善が見られたものの、立体像の解像度は低下した。これは、多視点対応ピクセルのピッチが、元になる液晶パネルのピッチとよりも粗いことによるものと考えられる。

次に、構築したモノクロディスプレイにパネルを1枚追加し、これをカラーディスプレイに転換した。モノクロディスプレイに含まれる全てのモノクロ液晶パネルをカラー液晶パネルに置き換えると、裸眼立体視の可能なカラーディスプレイが原理的には得られるが、複数のカラーフィルターが重なり合う形になるので、表示される立体像が暗いものになってしまう。そこで、導入するカラー液晶パネルを1枚に絞り、前述の方法を適

用してレンチキュラーシート等を貼り付け、光線空間の色づけが可能なデバイスを作成した。この色づけデバイスをモノクロディスプレイの前面に配置すると、カラーディスプレイが得られた。

数値シミュレーション上での比較では、全てのモノクロ液晶パネルをカラー液晶パネルに置き換えた場合と比べて、モノクロディスプレイと色づけデバイスを組み合わせるという上記の方式は、色の再現性という点では劣ることが分かっている。しかし、実用上は、立体像の明るさを確保することの方が、立体感を表現する上で重要であるように思われる。このような知見を集めていくことは今後の課題の一つであり、被験者を交えた実験等が必要である。

### 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 1 件)

H.Gotoda, "A multilayer display augmented by alternating layers of lenticular sheets", Proc. SPIE Vol.9011, pp.90110Z:1-7, 2014.  
DOI: 10.1117/12.2040869

[学会発表](計 3 件)

H.Gotoda, "Time-sequential lenticular display with layered LCD panels", In Proc. Stereoscopic Displays and Applications XXVI, 2015年2月9日-11日. サンフランシスコ(米国).  
後藤田 洋伸「積層型ディスプレイのための高速画像計算法」, 映像情報メディア学会技術報告, 2015年9月11日, 日本大学(千葉県船橋市).

H.Gotoda, "Light field modulation using a double-lenticular liquid crystal panel", In Proc. Stereoscopic Displays and Applications XXVII, 2016年2月15日-17日. サンフランシスコ(米国).

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

後藤田 洋伸 (GOTODA HIRONOBU)  
国立情報学研究所・情報社会相関研究系・  
准教授  
研究者番号：80300705

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：