様式Ｃ－１９

科研費
KAKENHI

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　25　年　3　月　31　日現在

機関番号：６２６１５
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2010～2012
課題番号：22650024
研究課題名（和文）　積層型液晶パネルを用いた多視点裸眼立体視ディスプレイ

研究課題名（英文）　Autostereoscopic displays using multilayer liquid crystal panels

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

研究成果の概要（和文）：積層型ディスプレイとは、複数の液晶パネルを光源の上に積層して構築されるディスプレイで、３Ｄシーンに由来する任意の光線空間を表示することができる。本研究では、この新しいタイプの裸眼立体視ディスプレイについて研究した。具体的には、与えられた光線空間を複数層の画像に変換してディスプレイ上で表示可能にする方法を開発した。また、層数やパネル間隔など構成上のパラメータと，表示される立体像の画質との関係を調査した。さらに、プロトタイプシステムを構築して、ディスプレイ上で光線空間が近似的に再現されていることを確認した。

研究成果の概要（英文）：　A multilayer display is constructed by stacking multiple layers of liquid crystal panels on top of a light source. It is a new type of autostereoscopic display capable of showing a light field representing an arbitrary 3D scene. In this study, we first developed an algorithm to convert a light field into a set of layered images. We then examined several properties of the multilayer display identifying key parameters relevant to the quality of the resultant stereoscopic images. Finally, we constructed a prototype of multilayer display to verify that an approximation of the light filed was actually reproduced on the surface of the display.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2010 年度	600,000	0	600,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総　計	2,700,000	630,000	3,330,000

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：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、多眼式の一種である視差バリヤ

一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、商品化されているディスプレイもある。しかし、視点数と表示される画像の解像度とが反比例するという性質を持っているため、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。

このような状況を克服するために、超多眼式や波面再生式などの研究が、国内外で精力的に進められている。

２．研究の目的

本研究では、「複数の液晶パネルを適当な間隔を空けて積層すれば、視線方向に依存して表示素子の重なり合い具合が変化する」という現象に着目し、これを利用した新たな裸眼立体視の方式を研究した。

「複数の液晶パネルを積層する」というアイディア自体は、体積表示式のディスプレイとして実装されている例もあるが、視点位置が固定されているケースがほとんどで、滑らかな運動視差が実現できるか否かについては、十分な知見が得られていなかった。また、パネルに画像を描画する際には、複数のパネルのうちの１枚にのみ画像を描画し、残りのパネルは“透明”になるように制御するという方式（逐次表示方式）のみが考案されており、複数のパネルに同時に画像を描画した場合に、その“重ね合わせ”が視点位置に応じてどのように変化するのかということに関しては、全くと言っていいほど知見が得られていなかった。

そこで本研究では、「積層された液晶パネルネルを用いて、視点位置に応じて滑らかに変化する画像を生成する」という方式（以下、「積層型方式」と呼ぶ）の基本的な性質を解明し、理論的な基盤を与えると共に、プロトタイプシステムを構築して実用化の可能性を検証することを目的とした。

３．研究の方法

積層型方式の基本的な性質を解明し、実用化の可能性を検証するために、以下の計画に沿って研究を推進することにした。

(1)積層型液晶パネルの制御方式の確立

裸眼立体視が可能なディスプレイは、光線空間（三次元のシーンから発せられる光線の集合）を近似的に表示する能力を有する。積層型液晶パネルで裸眼立体視を行なうには、光線空間が与えられたときに、その空間を近似的に再現できるように液晶パネルを制御する（各々のパネルに表示する画像を定める）ことが必要となる。こうした制御の方式を確立する。

(2)積層型液晶パネルの理論解析

積層型液晶パネルによって再現される光線空間は、あくまでも近似的なものにとどまる。このとき近似の精度は、積層するパネルの枚数、パネルの間隔、パネルの開口率、表示対象となる光線空間の深度、立体視が可能な視域の広さなど、種々のパラメータに依存して変化する。これらのパラメータの間の関係を調べ、最適な組み合わせを見つける。

(3)プロトタイプシステムの構築と評価

液晶パネルを積層したディスプレイを実際に構築し、(1)で開発した制御方式を適用してみて、裸眼立体視が可能かどうかを確認する。この際、使用する液晶パネルの光学特性を計測し、その結果を制御方式に反映させる。ディスプレイに表示された立体像を、入力として与えた光線空間と比較し、そのずれを計測するほか、滑らかな運動視差が実現されているなどを確認する。

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、プロトタイプシステムの表示する画像の解像度が十分ではなかったため、この部分の実施は見送ることにした。代わりに、画像解像度を向上させるための方策を検討し、部分的な実装を試みた。

４．研究成果

(1)積層型液晶パネルの制御方式の確立

積層された液晶パネルを外部から眺めると、複数のパネルに描画された画像が互いに重なり合っている様子が見える。どのように画像が重なり合うかは、視点の位置によって異なり、視点を動かすとそれに応じて視点に届く画像も変化する。こうした視点位置と画像との関係は、光線空間という概念を用いると定式化することができる。ある１本の光線Ｌが通過するピクセルを $p_1, p_2, \cdots, p_N$ とすると、その光線の輝度は

$$I(L) = f(g(p_1), g(p_2), \cdots, g(p_N))$$

という式によって与えられる。ここで $g(p_i)$ は、ピクセル p_i の輝度（グレースケール）を表わし、関数 f は複数のピクセルを重ね合わ

せたときに、全体としてどのような輝度になるのかを計算するためのものである。

積層型液晶パネルを用いて光線空間を再現するには、空間中の各光線について上記の式を立て、それらを連立させた方程式を解く必要がある。ここで注意しなければならないのは、パネルに含まれるピクセルの総数と光線の総数との関係である。一般に、光線空間は4次元の広がりを持つのに対して、液晶パネル上に並んだピクセルは2次元の広がりしか持たない。従ってピクセルの総数は、光線の総数に比べてはるかに小さいというのが典型的な状況であり、前述の連立方程式を解く際にも、残差を最小とするような近似解を求めることになる。

関数fが線形な場合には、最小二乗問題を解くための様々な数値解法が適用できる。この研究では、LSQR法を適用して連立方程式を解いてみたところ、一定時間内に近似解が求まり、残差も意味のある範囲内に収まった。一方、関数fが非線形な場合には、ニュートン法を適用し、逐次的に線形問題を解くことによって近似解を求めることができた。なお、非線形な場合の関数fの具体的な形は、プロトタイプシステムを構築する際に、液晶パネルの光学的な性質を計測することによって定めた。

(2)積層型液晶パネルの理論解析

ここでは、前述の近似解の精度（残差の大きさ）が、種々のパラメータにどのように依存しているのかを、コンピュータ上でのシミュレーションを繰り返すことによって調査した。

最前面のパネルと最背面のパネルとの距離を一定に保ったまま、その間に挿入するパネルの枚数を変化させてみた。このときにパネルの総数が増えるに従って、残差の大きさ(平均二乗和)がそれにほぼ反比例して減少することが分かった。

パネルの枚数を保ったままパネルの間隔を変化させた場合、残差の大きさはそれにほぼ比例するように減少した。減少の度合いは、表示対象となっている光線空間の種類によって異なり、中には途中で減少が打ち止まりになるケースも見られた。これらのことから、パネルの間隔にはある最適値があり、その値には光線空間の深度が関係していると推定された。

パネルの開口率（パネル全体の領域のうち、光を透過する領域の割合）と残差の大きさとの関係については、開口率がある一定値（しきい値）以上の場合には、両者の間に相関関係は見られなかった。ただし、そのしきい値を下回った場合には、開口率の低下に伴って残差が急速に増加した。しきい値は70%前後の値であったが、この値はパネルの枚数に依存して変化した。

光線空間の深度や視域の広さ（角度）が残差に及ぼす影響については、視域が広がるに従って“遠方”の物体がぼやけるという傾向が一般に観測されたものの、それらの間の関係を定式化するまでには至らなかった。この部分の解明は、今後の課題として残されている。

(3)プロトタイプシステムの構築と評価

モノクロの液晶パネルを積層してプロトタイプとなる裸眼立体視ディスプレイを構築した。使用したのは、NLTテクノロジー社製の19インチIPS液晶パネル(1280×1024)で、積層した枚数は4枚であった。

まずこの液晶パネルの光学的性質を調査した。特に積層した場合に光の“透過度”がどのように変化するかを調べ、(1)で触れた関数fをモデル化した。マルチドメインを持つ液晶パネルに対して、ほぼ垂直に入射する光の透過度については先行研究があり、それを参考にして関数fを二次関数で近似してみたところ、計測値とほぼ一致した。入射角が90度でない場合についても、関数fの近似式として、水平角や垂直角を含む複雑な数式を得た。

4枚のパネルをバックライトの前に等間隔に配置して裸眼立体視を試みた。パネルの間隔は45㎜に固定した。4種類の光線空間をディスプレイに表示してみたところ、いずれの場合においても立体視の可能な像が得られた。また、ディジタルカメラで撮影した際、カメラのオートフォーカス機能が正常に動作することを確認できた。

表示された得られた立体像を元の光線空間と比較するために、複数の方向からカメラで立体像を撮影し、同じカメラ位置において光線空間から得られるはずの画像（理論画像）と比較した。カメラは、正面（入射角＝90度）を中心に、左右に30度の範囲まで、5度刻みに配置した。ディスプレイ上に表示される立体像は、水平方向、垂直方向の双方に視差を有していたが、ここでは水平方向の変化のみをカメラで捉えることにした。

±15度の範囲では撮影画像と理論画像との間には、解像度に関しての違いを除いて、大きな違いは見られなかった。±15度を超えると、撮影画像において“歪み”や“ぼやけ”が見られるようになり、±30度付近では、それらの現象が極めて顕著となった。また、全ての範囲において、撮影画像の解像度は理論画像の解像度よりも低く、1/4程度であった。全体にぼやけていることが確認された。

解像度の不足を補うために、積層する4枚のパネルを可動式のものとし、周期的にパネ

ルの位置を変えながら立体画像の表示を行なってみた。コンピュータ上でのシミュレーションの結果では、改良された方式は、パネルの枚数を 12 枚程度に増やした場合と、ほぼ同等の結果を与えることが分かった。一方、実装上の結果では、使用したバックライトの光量の不足等もあって、画質の改善は微少なレベルにとどまった。高画質の立体像を表示できるようにするには更なる改良が必要であり、その実現は今後の課題として残されている。

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 H.Gotoda, “Design of time-multiplexed autostereoscopic displays based on virtual stacking of multi-layer panels”, 査読有, Proc. SPIE, Vol.8648, pp.86480K:1-7, 2013.
DOI: 10.1117/12.2005849
② H.Gotoda, “Implementation and analysis of an autostereoscopic display using multiple liquid crystal layers”, 査読有, Proc. SPIE, Vol.8288, pp.82880C:1-7, 2012.
DOI: 10.1117/12.909881
③ H.Gotoda, “Reduction of image blurring in an autostereoscopic multilayer liquid crystal display”, 査読有, Proc. SPIE, Vol.7863, pp.786321:1-7, 2011.
DOI: 10.1117/12.872708
④ H.Gotoda, “View-dependent image generation from a multilayer liquid crystal display”, 査読有, Proc. IADIS CGVCVIP 2010, pp.157-164, 2010.
http://www.iadisportal.org/digital-library/view-dependent-image-generation-from-a-multilayer-liquid-crystal-display

〔学会発表〕（計　２件）

① H.Gotoda, “Light field reproduction with layered liquid crystal panels”, IMID 2012, 2012 年 8 月 31 日, 大邱（韓国）.
② 後藤田 洋伸「積層型液晶パネルを用いた裸眼立体視ディスプレイの実装」, 映像情報メディア学会技術報告, 2011 年 9 月 9 日, 千葉.

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
なし

(3)連携研究者
なし