

平成21年 4月30日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760251

研究課題名（和文） 純電子式時分割型光線再現ディスプレイの基礎研究

研究課題名（英文） A Basic study of ray reconstruction display using pure electronic time-division multiplexing

研究代表者

圓道 知博 (TOMOHIRO YENDO)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70397470

研究成果の概要：

Integral Photography に代表される，物体からの光線を再現するタイプの立体ディスプレイでは，表示デバイスの画素数および画素密度の不足が問題となって総合的な画像品質の向上が困難という問題がある．本研究では高速な表示デバイスと光シャッターを用いた時分割による表示方式を提案し，シミュレーションおよびディスプレイ装置の試作を行ってその効果を実証した．

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	3,300,000	480,000	3,780,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：信号処理，画像処理

1. 研究開始当初の背景

立体映像は SF 映画などでは必ず登場するといっているほど、将来のメディアとして実現が待望されている技術ではあるが、その表示技術については基本原理すら確固たる方式が未だ確立されているとは言い難い。これまでに実現されている立体映像表示技術のうちリアルタイム性を有するものの多くは、「左右両眼に「視差のある2枚の画像を見せる」という考え方に基づいている。これらは情報としては左右2枚分の画像でよい反面、観察者は特殊な眼鏡の装着が必要であったり、もしくは自由な視点から観察することはできないなどの制約や、さらに短時間の観察でも

眼精疲労を生じるなどの問題があり、次世代の映像メディアとして広く普及するとは考え難い。

光の干渉と回折を利用した立体表示方式であるホログラフィは、上記のような問題のない究極の立体映像と言われるが、未だその画質や画像サイズには大きな問題があり、実用的な立体画像の表示が可能となるまでにはまだかなりの時間が必要と予想されている。その理由は、表示素子に求められる解像度が可視光の波長オーダーとなり、現在の技術で実現可能な表示デバイスに対して画素密度で2-3桁、画素数では3-4桁大きなものが必要となるためである。

ホログラフィは立体映像を波動光学的に取り扱い、光波の波面の記録と再生を行う技術である。一方で、立体映像を光線の集合と捉え、これを記録・再生しようとするアプローチがある。光線空間という考え方は、ある基準面を通過する1本の光線を、通過する位置 (x, y) と方向 (θ, ϕ) の4つのパラメータで記述し、その光線の色を定義するというものである。言い換えれば、ディスプレイ面から発せられる光を位置と方向の4パラメータに対してそれぞれ独立に色を制御することによって、任意の光線空間を再現できる、すなわち任意の立体映像が表示できることになる。

Integral Photography (IP) は、この4次元情報の表示を2次元平面である写真と2次元状に並んだレンズアレイで実現する。レンズ自体は単に像面上の位置を光線の方向に変換するデバイスに過ぎないので、4次元情報は結局すべて2次元の平面に展開されることとなり、非常に高い解像度が必要となる。そのため従来は写真を利用した静止画像しか実現できなかったが、近年の液晶等の表示素子の発達により、このIPの原理に基づく立体動画像表示システムの研究がNHKなどで行われている。

ホログラフィほどではないとはいえ、IP方式は表示素子に非常に高い解像度が必要である。そこで、上下方向の視差の再現を放棄し、水平方向視差のみとしている例が多い[4]。このような方式では、垂直方向の画素数も水平方向視差へ割り当てるための光学的工夫が見られる。しかしそれでも表示素子の解像度は十分とは言えず、立体映像の画質には問題がある。全方向視差に対応する場合はなおさらである。しかもこれらの方式は基本的に表示素子の解像度を向上させることでしか、画質を向上させることができない。

2. 研究の目的

IP方式のように光線情報を2次元平面に展開する空間分割方式において、表示素子に対する問題点は実は二つある。一つは、膨大な画素数が必要である点、もう一つは、高い画素密度が必要となる点である。単にたくさんの画素が必要だけでなく、非常に狭い場所にそれを詰め込まなくてはならない。その理由は、レンズ1つ分の領域中に、各光線方向に対応する画素を収めなくてはならないからである。つまり、水平垂直各100方向の光線で表示するとすれば、通常の2次元ディスプレイでの1画素分の大きさの中に10000画素を詰め込まなくてはならない。このため、高密度かつ大型の表示素子が必要となり、歩留まりを確保するのが大変難しくなることが予想される。

時分割を導入すると、この複合した二つの

問題を大幅に緩和することが可能となる。まず画素数の問題は、一つの表示素子を時間的に区切って複数の光線表示に利用することによって緩和できる。次に、画素密度の問題については、個々のレンズから出る光線を時間をずらして表示することにすれば、レンズ一つ分の領域に画素を詰め込まなくてもよくなる。

時分割方式はIP等の空間分割方式と対立するものではなく、併用することでシステム全体として高い性能を実現するために研究されるべきものである。したがって本研究課題では時分割方式のみで高性能なシステムを実現することは目的とせず、時分割方式の効果を実証することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題で想定するシステムの構成は、高速な平面型表示デバイスと光線の偏向方向を制御するデバイスの組み合わせである。両者は共に通常のフレームレートの数百倍の速度が求められる。

光線の偏向を制御する方法としては、光の透過・遮断を部分的に制御できるデバイスを用いてスリット状の光学的開口を形成し、その開口位置を変化させることによって実現する。このデバイスには高速性が必要であるがon/off制御でよいため、専用デバイスを開発を想定する。また、高速な表示デバイスとしては、DMD (Digital Micromirror Device) を利用する。

4. 研究成果

4.1 提案するディスプレイの概要

提案する三次元ディスプレイの構成を図1に示す。三次元ディスプレイは、二次元ディスプレイ、シリンダカルレンズアレイ、光シャッタから成り、二次元ディスプレイはレンズアレイの焦点面に設置され、レンズアレイはシャッタに密着して設置されている。観察者はシャッタ側から見るため、シャッタの開口部を通してディスプレイ面の光を観察する。光シャッタは縦方向のスリットを疎らに数本生成し、それらをシャッタ面全てをスキャンするように移動させるが、この動作を高速で行うことにより、観察者はシャッタ面全てから光を観察することができる。以下、光線を再現する原理と、時分割手法について述べる。

まず、図2(a)のように、1つのシリンダカルレンズとその背後に置かれた要素画像の画素を考える。この時、画素はレンズの焦点面におかれているため、1画素が準平行光を作る。また、準平行光の向きは画素とレンズ中心との相対的な位置関係によって決まるため、全ての画素が作る光の向きは異なる。言い換えれば、レンズから出る準平行光

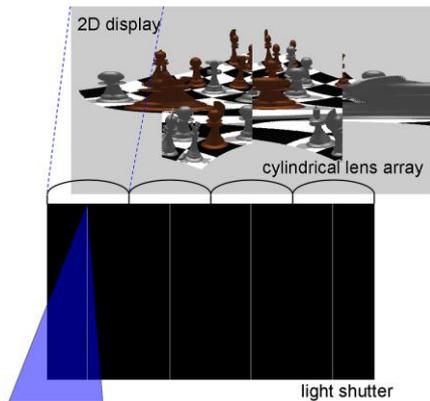


図1 提案ディスプレイの構成

の方向数は、そのレンズに割り当てられた要素画像の画素数に等しくなる。ここで、図2(b)のようにレンズの前にスリットを設置すると、準平行光の幅が狭くなり、スリットから多数の光線が射出されることになる。

次に、スリットの位置を移動させると共に、要素画像の画素を変更する。すると、先ほどとは別の場所において光線が射出されることになる。この作業を非常に高速で行うと、残像によって人間の眼には光線数が増えたように見えるため、結果として時分割で光線数を増やしたことになる。また、スリットをレンズの端から端までスキャンするように移動させることで、全ての場所から光線が射出されているように見えるため、パララックスバリア方式の欠点である、バリアが目障りになる問題を解消することが出来る。ただし、時分割によって移動させられるスリットの範囲は限られるため、ディスプレイを大きくする場合は、レンズや要素画像を並べることによって実現する。

4.2 使用デバイス

本研究では、現在実際に入手可能であるデバイスとして、二次元ディスプレイに Digital Micromirror Device (DMD) を、光シャッタに透過性セラミックスである PLZT を用いて設計を行った。以下、それぞれのデバイスについて記述する。

4.2.1 二次元ディスプレイ

二次元ディスプレイは、プロジェクタとリアスクリーンによるリアプロジェクション方式を取る。ただし今回は時分割方式を用いるため、高速変調が可能な DMD (Digital Micromirror Device) を用いる。DMD 素子は反射型の 2 次元空間光変調器であり、2 値表示ではあるが非常に高速な応答性能を有する。この高速応答性は通常のプロジェクタ用途では PWM を用いた階調表現に用いられるが、今回は直接的に高フレームレート表示を行

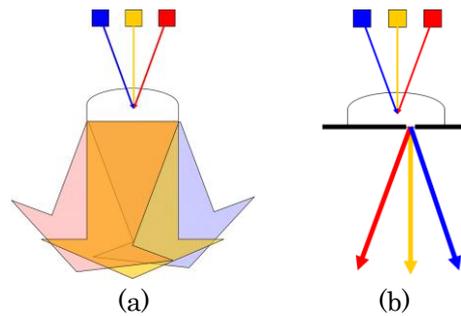


図2 光線方向の制御

う。このために市販のプロジェクタではなく DMD アプリケーション開発キットである「DMD Discovery™ 3000」を用いる。

4.2.2 光シャッタ

今回、光シャッタには PLZT を用いた。PLZT は透明強誘電体セラミックスであり、シャッタ用途としては、三次元ディスプレイの分野においてもめがね式の二眼ディスプレイにおいて使用されたことがある材料である。シャッタとして使用する場合は、偏光面を互いに直交させた 2 枚の偏光板の間に PLZT を入れ、PLZT にかかる電圧を制御することで透過・非透過を制御する。素子自体の応答速度は 0.2~0.3ms 程度と非常に高速であるが、100 ボルト超の電圧を制御するため、取扱いには注意が必要である。本研究では、縦方向のスリットを 1 セグメントとし、それを横方向に並べたものを用いる。主な仕様は表 1 に示す。

表 1 PLZT シャッタの仕様

サイズ	140x100mm
スリット数	294
スリットピッチ	0,475mm
開口率	72.8%
フレームレート	4433fps

3.3 レンズによる像品質の向上

本研究で扱うディスプレイはパララックスバリア方式の拡張であるが、像の品質を向上させる目的でシリンダリカルレンズを用いている。本節では、レンズを用いることによって像の品質が向上する原理について述べる。

レンズが有る場合と無い場合を比較すると、図 3 のように光線の広がり角が異なることが分かる。この時、スリットの幅や二次元ディスプレイの画素ピッチ、射出される光線の角度ピッチなどが一緒でも、図のように隣り合う 2 光線が重なっている部分の面積が異なる。

この 2 光線が重なっている部分に視点がある場合、1 スリットから複数の画素が見え

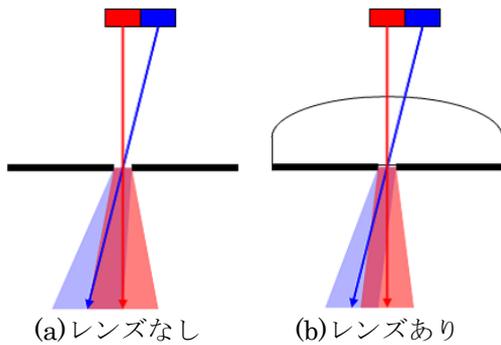


図 3 光線の広がり方の違い

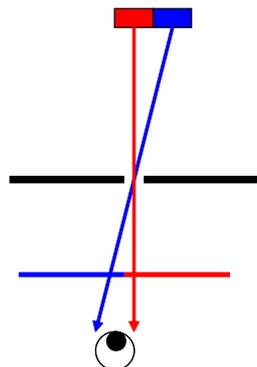
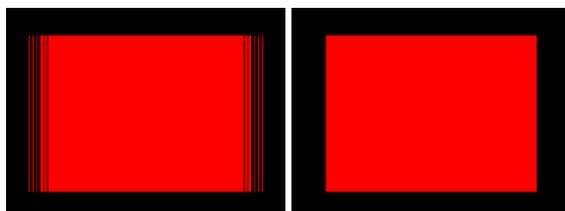


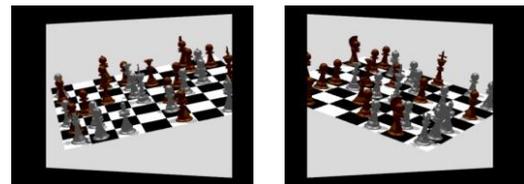
図 4 1 スリットから複数画素が見える場合



(a) レンズなし (b) レンズあり

図 5 レンズの有無による見え方の違い

る。例えば図 3 の場合、スリットの左のほうは赤色に、右のほうは青色に見える。ここで図 4 のように、シャッタの手前に左半分が青色、右半分が赤色の三次元像を表示していた場合、本来観察者からは左側に青色、右側に赤色が見えるべき状況であるが、その色が反転して見えていることになる。以上のことから、レンズを用いると 1 スリットから複数の画素が見える状況を減らすことができるため、特にシャッタの手前側に三次元像を再現した場合に、像の質を高めることができる。図 5 はレンズを使用した場合と使用しない場合において、シャッタの手前に長方形の像を表示し、見え方をシミュレーションしたものである。レンズが無い場合、長方形の左右



(a) 視域の左端から (b) 視域の右端から



(c) 視域の中央から

図 6 見え方のシミュレーション

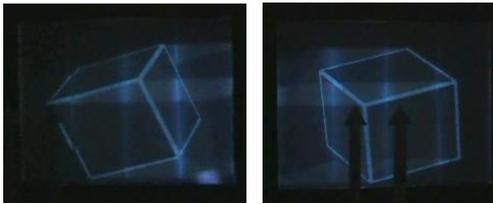
にノイズのようなものが見えているが、レンズを使用した場合はそのような問題が起きていないことが分かる。

4. 3 設計例とシミュレーション

本節では、ディスプレイの設計例について述べる。今回想定した光シャッタ・二次元ディスプレイはともにサイズがあまり大きくないため、視距離を短めにする必要がある。また、光線再現型ディスプレイの特徴を生かすために、視点を移動させられるだけの視域を取る必要がある。そこで今回の設計では、視距離 400mm において視域の幅が 400mm になるよう設計を行ったところ、1 スリットあたりの光線数は 338 となった。ここで、試作するディスプレイの見え方を調べるために、レイトレーシングによるシミュレーションを行った。その結果を図 6 に示す。図 6 は、視距離 400mm からピンホールカメラでディスプレイを撮影した様子である。結果より、試作ディスプレイが回り込み効果を持った三次元像を表示できることが分かる。

4. 4 試作ディスプレイ

提案する時分割方式の効果を実証するため、ディスプレイ装置を試作し表示実験を行った。大型のシリンドリカルレンズが入手できなかったため、DMD による高速プロジェクタと PLZT 光シャッタのみの構成となっている。表示画像の様子を、レンズを省いた構成のため複数の光線が混合してしまう現象が観測されたが、視点の移動による運動視差は滑らかに再現された。また立体映像の前に実視標を設置して同時に観測することにより、視差による奥行き提示位置が設計通りとなっていることが確認できた。さらに、小型の球面レンズを挿入することにより光線の混合度合いが大幅に減少することも確認され、



(a)左から

(b)右から

図 7 試作ディスプレイによる表示画像

必要なレンズが入手できればほぼ設計通りの表示が実現可能であるとの見通しを得た。表示画像の例を図 7 に示す。

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)

[学会発表] (計 5 件)

- ① Junya Yamamoto, Tomohiro Yendo, Toshiaki Fujii, Masayuki Tanimoto, “Light Beam Reconstructing 3D Display Using Light Shutter”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), 2008 年 1 月 8 日, 新竹市(台湾)
- ② 山本純也, 圓道知博, 藤井俊彰, 谷本正幸, “光線再現型 3 次元ディスプレイにおける時分割手法の検討”, 映像メディア処理シンポジウム(IMPS), 2007 年 11 月 1 日, 伊豆市
- ③ 山本純也, 圓道知博, 藤井俊彰, 谷本正幸, “光シャッターを用いた光線再現型 3 次元ディスプレイの検討”, 電気関係学会東海支部連合大会, 2007 年 9 月 28 日, 長野市
- ④ Junya Yamamoto, Tomohiro Yendo, Toshiaki Fujii, and Masayuki Tanimoto, “Timemultiplexing 3D display using fast light shutter”, SPIE Optics East, 2007 年 9 月 12 日, Boston(USA)
- ⑤ 山本純也, 圓道知博, 藤井俊彰, 谷本正幸, “高速光シャッターを用いた時分割多眼ディスプレイの検討”, 3 次元画像コンファレンス, 2007 年 7 月 13 日, 東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

圓道 知博 (TOMOHIRO YENDO)

名古屋大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：70397470