

全周観察可能な空中像を形成する3次元ディスプレイ

宮崎 大介

大阪市立大学大学院工学研究科電子情報系専攻

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138

Three-dimensional display that forms floating image visible from surrounding view points.

Daisuke Miyazaki

Department of Electric & Information Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka City University

3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka, 558-8585 Japan

E-mail: miyazaki@elec.eng.osaka-cu.ac.jp

概要

眼鏡等の装着物を必要とせず、スクリーンや表示パネルが存在しない空中に3次元像を形成し、全周囲から多人数で観察可能なフルパララックス立体表示装置の開発を目的として、インテグラルイメージングと回転ミラーによる360度走査、さらに凹面鏡による空中結像を組み合わせたシステムが提案されている。デジタルマイクロミラーデバイスを用いた表示システムの試作により、提案手法の有効性を確認している。

1. はじめに

実際に物を見るのと同様の臨場感の実現を目指した画像表示技術への探求が続けられている。直感的な3次元情報の把握が可能な画像表示技術をして立体表示は重要であり、近年非常に関心が高まっている。立体表示技術の形態の一つとして、全周からの観察が可能な立体表示装置の研究がいくつか行われている。表示物を全周から観察できることによる臨場感の向上や、複数の人数で表示像を取り囲んで同時に観察できるなどこれまでにない映像表現が可能になる。

従来の研究・開発において提案されてきた実現法として、投影スクリーンを高速に回転させる方式[1,2]や円筒形のパララックスバリアを回転させる方式[3]、などがある。また、立体ディスプレイの表示面を水平に設置し、その周囲から観察するテーブルトップ型の立体表示装置の研究が近年報告されている[4]。この形態では、会議・打ち合わせしている複数人数への情報提示や、協調作業やインタラクションの容易さなどにおいて利点を有する。

我々は、使い勝手がよく、自然な立体感と

アクセス性、インタラクティブ性を備えた3次元映像の表示技術として、次に示す条件を満たすような全周観察可能なフルパララックス空中立体ディスプレイの実現を目指して研究を行ってきた。

- 眼鏡等の装着物を必要としない裸眼立体視が可能であること。
- 水平・垂直方向ともに視差を持つフルパララックス立体像であること。
- 滑らかな運動視差を持つこと
- 表示像を周囲360度から多人数で観察可能であること。
- 像の形成場所にスクリーンや表示パネルが存在しない空中像が形成されること。
- 動画やインタラクティブに変化する表示が可能であること。

各条件をそれぞれ満たす個別の立体表示技術として様々な手法がすでに開発されているが、これらの条件を全て一度に満たすことのできるディスプレイ技術はまだ開発されていない。

本研究では、以上の条件を満たす立体表示システムとして、インテグラルイメージング

[5]と回転ミラーによる360度走査[2],さらに凹面鏡による空中結像[6]を組み合わせたシステムを提案した.提案手法の有効性の実証のために,3次元ディスプレイシステムを試作し表示を行った結果について報告する.

2. 全周囲観察可能な3次元空中映像形成の原理

本研究の提案手法では,インテグラルイメージングに基づく立体表示技術に対して,凹面鏡と回転ミラーによる走査光学系を導入して,全周囲から観察可能な3次元ディスプレイを実現する.図1に提案する立体ディスプレイシステムの光学系の概略図を示す.光学系はインテグラルイメージング光学系,リレー光学系,全周囲走査光学系の各部分により構成される.

インテグラルイメージング光学系の典型的な構成は,空間光変調素子(あるいは二次元ディスプレイ)の後にレンズアレイを配置したものである.レンズアレイ中の各レンズに対応する要素画像において,光を発する位置に従いレンズからの光線角度が変化する.このことを利用すると,観察方向に従って見える画像を変化させることが可能になる.これにより,上下左右方向に関する視差情報を持った立体映像の表示を提供することができる.

リレー光学系は,インテグラルイメージング光学系からの光を全周囲走査光学系に導く働きがあり,レンズを用いた結像光学系で構成される.また,リレー光学系のレンズ配置を変化させることで,最終的に得られる像からの光線方向を調節する機能も持つ.

全周囲走査光学系は凹面鏡と回転ミラーにより構成されており,スクリーン等の存在しない空中に,周囲360度からの観察が可能な実像を形成することができる.回転ミラーは凹面鏡の曲率中心付近に配置されている.リレー光学系を通して画像をミラー付近に結像すると,図1に示すように,ミラーで反射された光はさらに凹面鏡で反射され,中心付近に結像する.この画像はインテグラルイメージングに基づく立体視が可能である.ミラーを回転させて凹面鏡上の光の反射位置を変化させると,実像の形成位置は凹面鏡の中心付近のままであるが,画像と光線の向きを変化させることができる.ミラーを高速に回転さ

せながら,全周からの様々な方向から見える立体画像を角度に同期させて高速に切り替えて表示すると,それらの画像を全周囲の各角度から観察することが可能となる.

従来の全周囲立体映像の多くは水平方向の視差の変化のみを実現していたが,本手法では,レンズアレイを用いたインテグラルイメージングを全周囲立体映像に適用することで,垂直方向の視差も同時に実現することができる.また,通常のインテグラルイメージングに基づく立体ディスプレイでは,表現できる光線角度数と表示立体像の画素数の積が,二次元ディスプレイの画素数と等しくなり,十分な表示立体像の解像度を高めることが困難であった.本手法では,インテグラルイメージングに加えてさらに空間的な走査を導入しているため,時間多重化により画素数や視差方向の分解能を従来の手法よりも向上できる可能性がある.

3. 実験方法と結果

提案手法の有効性の検証のために,二種類の検証用立体表示システムを試作した.まず,インテグラルイメージング光学系は導入せずに二次元画像を全周囲走査光学系に入力し,

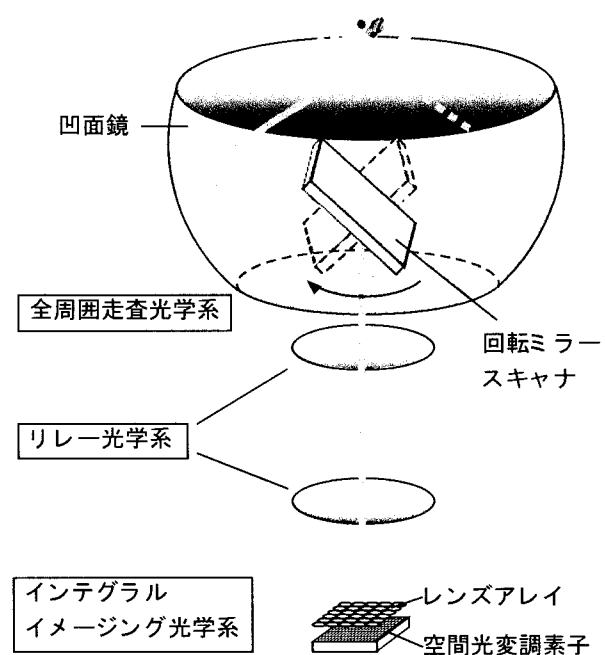


図1 半球凹面鏡とミラーレスキャナを用いた全周囲観察可能な浮遊3次元ディスプレイ.

全周囲から観察可能な空中映像の形成を確認した。次に、レンズアレイを適用してインテグラルイメージング光学系を構成し、全周囲から観察可能なフルパララクス立体画像表示を行った。

3.1. 全周囲観察可能な空中浮遊立体画像

全周から観察可能な空中浮遊像を形成するために構成した光学系の構成を図2に示す。

スキャナの角度に合わせて投影する画像を切り替える必要があるため、デジタルマイクロミラーデバイス(DMD)により構成される高フレームレートプロジェクタ(テキサスインスツルメンツ製 Discovery1100)を用いた。プロジェクタの画像は拡散板に投影され、さらにリレー光学系により全周囲走査光学系に伝送される。リレー光学系は4枚の凸レンズ(直径:152 mm, 焦点距離:248.5 mm)で構成される。

全周囲走査光学系は、穴の空いた半球凹面鏡(焦点距離は175 mm, 直径は350 mm)と、パルスモーターによりミラーを回転させるスキャナにより構成される。ミラーの回転はコ

ンピュータにより制御される。投影画像はミラーと凹面鏡で反射した後、凹面鏡の中心付近に実像として結像される。ミラーの回転周波数を20Hzとし、1回転の間に映像を400枚の画像を切り替えて表示するようにDMDプロジェクタを制御した。その他のシステムの仕様を1に示す。光学系によって凹面鏡の中心付近に実像を形成し、走査光学系を駆動しながらDMDの表示を同期させ順次切り替えると、全周囲の0.9度方向ごとに異なる画像を観察することができる。

図3に、コンピューターシミュレーションにより実験光学系の光線追跡を行った結果を示す。図中の最下部の破線は、プロジェクタからの映像が投影される拡散板を表している。拡散板中の3点から拡散する多くの光線が凹

表2 全周囲観察可能ディスプレイの仕様

画像解像度[画素]	1024×768
表示枚数[枚]	400
水平方向の視差ピッチ[度]	0.9
水平方向視野角[度]	360
垂直方向視野角[度]	17
モータの回転速度[rpm]	1200



図2 全周囲観察可能立体像形成システム

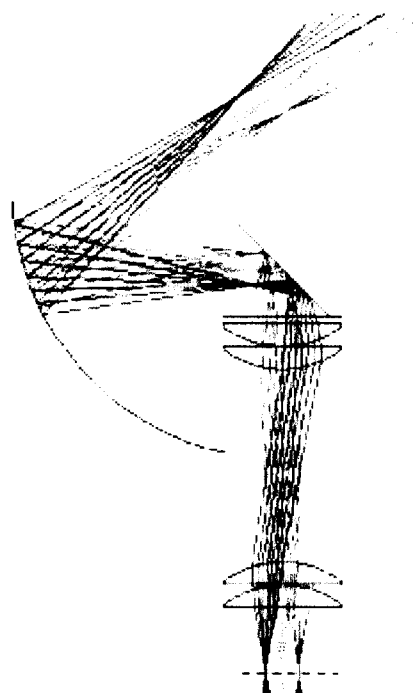


図3 インテグラルイメージングに基づく浮遊立体像形成実験光学系の光線追跡結果

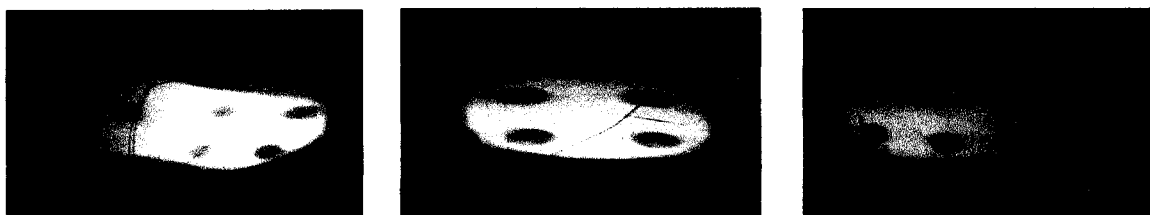


図4 実験系により形成された三次元像を異なる方向から観察した結果. 視差のある画像が得られている.

面鏡の上に集光して像を形成することがシミュレーションにより確かめられた.

三次元物体を全周囲の様々な角度から観察した画像を三次元コンピュータグラフィクス技術により合成し, それを DMD プロジェクタからスキャナミラーの角度に対応させて順次それらの画像を投影した. ミラースキャナを高速に回転させて, 空中像を凹面鏡の上に形成した. 図5に観察角度を約90度変えて表示された三次元像を撮影したものを示す. この結果から, 提案手法により, 全周から観察可能な空中浮遊画像を形成できることが確認できた.

この実験ではレンズアレイを用いたインテグラルイメージングを構成しておらず, 視差は全周囲走査と画像の切り替えにより得られている. そのため, 水平方向の観察角度の違いに対しては視差による画像の変化が観察できたが, 上下方向の視差は実現できなかった. また, 観察画像は光学系の収差により大きく歪んでいることが分かる.

3.2. インテグラルイメージングに基づく全周囲観察可能な浮遊立体像形成

前節のシステムにおいて, 拡散スクリーンの代わりに2次元レンズアレイ(各要素レンズの直径: 2.2 mm, 焦点距離: 3.0 mm)を配置することでインテグラルイメージングによる3次元画像形成を実現した. システムの仕様を表2に示す.

プロジェクタにより表示する画像を得るために, 通常インテグラルイメージングの原理に基づいて, コンピュータ内で構成した三次元物体を様々な角度から観察した画像を計算し, それを元にレンズアレイ中の各レンズ

に対応する要素画像を求めた. プロジェクタにより表示される画像の一例を図5に示す.

前節のシステムと同様に, 全周囲光学系を構成し, リレー光学系により画像を伝送した. ミラースキャナを駆動させ, それに同期してプロジェクタの表示を切り替えることで全周囲観察可能なフルパララクス3次元像形成を行った.

形成された立体像をカメラにより異なる角度で撮影した結果を図6に示す. 水平方向に

表2 インテグラルイメージングに基づく浮遊立体像形成システムの仕様

プロジェクタ解像度	1024×768
レンズ数	60×60
一回転の画像数	250
レンズ当たりの画素数(光線数)	52
光線角度ピッチ[度]	5
水平方向視野角[度]	360
垂直方向視野角[度]	16.8

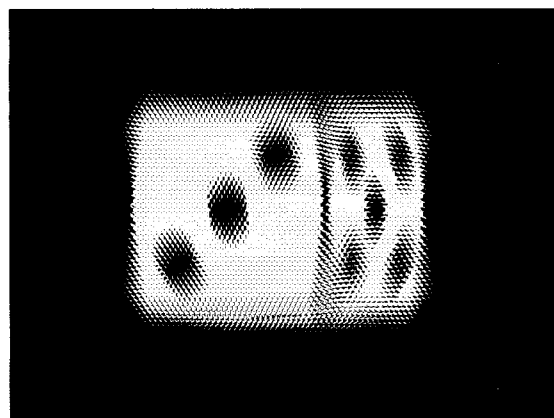


図5 プロジェクタに表示する画像の一例

関しては全周囲からの観察が可能であった。前節のインテグラルイメージングを行わないシステムとの違いとして、フルパララクス特性を持つことから、観察角度を上下方向に観察位置を移動しても視差に基づく画像の変化が得られた。ただし、画素数はレンズアレイの要素数となるので、低下している。これらの結果より、提案手法で空中に浮遊する立体映像を形成できることが確認できた。

光学系の収差や凹面鏡の形状の歪みなどの影響により、表示像が歪んでいることが分かる。また、観察画像において、像が多重に見える箇所もある。これは、光学系の配置誤差や凹面鏡の形状誤差、各光学素子の収差により、表示画像から射出される光線の方向が設計時と実際の光学系で異なることから生じている。像の歪みや多重像の問題を解決する方法として、実際の光学系における画像の形成の特性や光線方向を計測して、その結果をインテグラルイメージングの画像生成に反映させることが考えられる。

4. まとめ

我々は、眼鏡等の装着物を必要とせず、スクリーンや表示パネルが存在しない空中に三次元像を形成し、全周囲から多人数で観察可能なフルパララクス立体表示装置の開発を目的として、インテグラルイメージングと回転ミラーによる360度走査、さらに凹面鏡による空中結像を組み合わせた手法を提案した。デジタルマイクロミラーデバイスを用いた高フレームレート画像変調を利用して、提案原理を確認することができた。しかし、リレー光学系や凹面鏡における収差に基づいた像の

歪みが残っていたため、それらの補正手法の開発が今後の課題である。

文 献

- [1] G. E. Favalora, J. Napoli, D. M. Hall, R. K. Dorval, M. G. Giovinco, M. J. Richmond, and W. S. Chun: "100 Million-voxel volumetric display," in *Cockpit Displays IX: Displays for Defense Applications*, D. G. Hopper, ed., Proc. SPIE, 4712, pp.300-312 (2002).
- [2] A. Jones, I. McDowall, H. Yamada, M. Bolas, P. Debevee: "Rendering for an interactive 360° light field display", *ACM Trans. Graph.*, 26, 40 (2007).
- [3] T. Yendo, T. Fujii, M. Tanimoto: "The Seelinder: Cylindrical 3D display viewable from 360 degrees", *J. Vis. Commun. Image R.*, 21, pp.586-594 (2010).
- [4] 平山雄三: "平置き型立体ディスプレイシステム", *光学*, 35, pp.416-422 (2006).
- [5] F. Okano, J. Arai, K. Mitani: "M Okui Real-Time Integral Imaging Based on Extremely High Resolution Video System", *Proceedings of the IEEE*, 94, pp.490-501 (2006).
- [6] D. Miyazaki, T. Honda, K. Ohno and T. Mukai: "Volumetric Display System Using a Digital Micromirror Device Based on Inclined-Plane Scanning", *J. Display Technol.*, 6, pp.548-552 (2010).



図6 実験系により形成された全周囲観察可能なフルパララクス3次元像を90度ずつ異なる方向から観察した結果。