

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560331

研究課題名(和文) 全周表示インタラクティブ3次元ディスプレイに関する研究

研究課題名(英文) A study on the interactive omnidirectional three-dimensional display

研究代表者

高橋 秀也 (TAKAHASHI HIDEYA)

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30197165

研究成果の概要(和文)：協調作業空間となる平面型の全周表示3次元ディスプレイでできたテーブルの上に3次元像が表示され、3次元像を取り囲んだ複数の人がインタラクティブに表示像を操りながら効果的に協調作業を行うためのツールを提案する。提案システムは、全周表示3次元ディスプレイ、カメラアレイ、触覚提示装置から構成される。撮影した3次元物体を全周表示3次元ディスプレイに表示し、3次元像をインタラクティブに操作できる試作システムを構築して原理確認を行った。

研究成果の概要(英文)：We propose a flatbed-type interactive omnidirectional three-dimensional (3D) display system for multiple users. This system is a tool for cooperative working among a small number of people around a 3D image. It consists of a flatbed-type 3D display, a circular camera array, and a haptic device. In order to demonstrate the effectiveness of the proposed system, we constructed a prototype system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：3次元画像入出力

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：3次元表示、光線再生、全周表示3次元ディスプレイ、カメラアレイ、バーチャルリアリティ、ユーザーインタフェース

1. 研究開始当初の背景

これまで、多くの3次元ディスプレイに関する研究が行われてきたが、せつかくの3次元表示であるにもかかわらず、ディスプレイの正面である一方向から観察するものばかりであり、表示された物体の3次元像を周囲のいろいろな方向から観察できるものは実現されていなかった。つまりこれまでの3次元ディスプレイでは、表示された物体の裏側を見るためには、従来の2次元ディスプレイ

で行ってきたように、表示された物体を回転させる必要があった。また、たとえ表示物体を回転させながらいろいろな方向から観察できても、複数の観察者が同時に様々な方向から観察することは不可能であった。このことは、3次元ディスプレイが切望されている医療応用や設計・デザインなどの分野において、複数の人が3次元表示された物体を同時に様々な方向から観察し、協調しながら作業を行う用途に、あえて3次元ディスプレイを

導入する効果がない理由であった。

この問題を解決するために、本研究では、複数の人が3次元表示された物体を同時に様々な方向から観察でき、さらに観察者が表示像に触れるような感覚を持てるように、インタラクティブに表示像を操作でき、複数の人が協調しながら作業を行うために効果的な、テーブル型協調作業ツールを提案した。

研究開発当初では、全周表示が可能な3次元ディスプレイは、国内外においてわずかではあるが提案されていたが、協調作業のためのツールを意識したものではなく、その用途は表示用に限定されていた。さらに、3次元画像入力システムによって撮影された物体の3次元像を観察者が触ることができる、インタラクティブな全周表示システムに関しても、国内外で研究されていなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、協調作業空間となるテーブルそのものが平面の3次元ディスプレイできており、テーブル（3次元ディスプレイ）の上に3次元像が表示され、3次元像を取り囲んだ複数の人がインタラクティブに表示像を操りながら効果的に協調作業を行うためのツールを開発することである。

実現する機能は、(i)複数の人が3次元表示された物体を同時に様々な方向から観察できる3次元ディスプレイ、(ii)ディスプレイと触覚提示装置を組み合わせ、観察者が表示像に触れるような感覚を持てるように、インタラクティブに表示像を操作可能とする、(iii)実写の3次元像も表示可能とするために、3次元の物体の立体情報を取得する3次元入力システム、である。

我々はこれまでに、ホログラフィのように自然な立体表示が可能な、視差光線再生方式を用いた3次元表示システムを開発し、広視域、広視野、大きな飛び出し量を実現できる手法を確立した。また、視差画像データのみから実際に存在する物体の視差光線データを得る手法も確立しており、このことは、これまで行われてきた多くの3次元ディスプレイの研究が表示系だけの研究にとどまり、入力系の研究に至っていなかったことを克服し、入出力系としてまとまったシステムと成り得ることを示している。

そこで本研究では、これまでの研究成果に基づき、全周からの観察に適した光線を再生するようにホログラフィック光学素子を改良し、高解像平面ディスプレイ上に設置して全周表示の手法を確立する。また、3次元ディスプレイと触覚提示装置を組み合わせ、観察者の操作に応じて表示像を変形させるインタラクティブ化を行う。さらに、入力系としてカメラアレイによって得られる複数の視差画像から実在する物体の全周の3次元

表示用視差光線データを得る3次元画像入力手法を確立する。

3. 研究の方法

本システムは、我々がこれまでに研究を行ってきた、眼鏡などの特殊な装置を必要とせず、自然な3次元像を表示することが可能な3次元ディスプレイの成果を発展させ、複数枚のホログラフィック光学素子(HOE)を平面ディスプレイ上に設置し、ディスプレイの全周にわたって観察者が見ている方向に合わせた3次元像を表示するものである。さらに、観察者の操作に応じて表示像を変形させるインタラクティブ化を可能とする。また、実写の3次元像も表示可能とするために、複数の視差画像から実在する物体の全周の3次元表示用視差光線データを得る3次元画像入力手法も確立する。以下に、具体的な方法について年度ごとに述べる。

(1) 平成 20 年度は、以下の項目について研究を行った。

- ① 提案するシステムでは、ディスプレイの画面を水平な方向に配置し、ディスプレイから浮かび上がるように3次元像を表示する必要がある。このような3次元表示を可能とするホログラフィック光学素子(HOE)の設計・製作を行った。
- ② ①で製作したHOEを用い、2次元ディスプレイと組み合わせたシステムを構築し、ディスプレイから浮かび上がるように3次元像を表示するための画像データを作成する手法を確立した。
- ③ 全周から観察できるディスプレイを構築する原理を確立するため、①で製作したHOEと同じものを2枚使い、前面と後面の2方向から3次元像を観察できるシステムを構築した。各HOEによって表示される3次元像を正確に3次元空間で位置合わせする必要があり、その手法を確立した。さらに、ここで得られた知見を発展させ、多くのHOEを組み合わせた全周表示可能な3次元ディスプレイの設計を行った。

(2) 平成 21 年度は、以下の項目について研究を行った。

- ① 平成20年度に得られた水平配置3次元ディスプレイと2方向表示3次元ディスプレイに関する知見をもとに、全周表示に最適なHOEの枚数と複数の高解像度の小型プロジェクタの投影像の組み合わせ手法を検討し、平成20年度に試作したシステムを全周表示を目指した多方向表示に発展させた。
- ② 2方向表示および多方向表示3次元ディスプレイで再生するための光線データを、複数の視差画像から取得する手法を

確立した。さらに、カメラ入力による実写の3次元多方向表示を行うために、撮影対象物体を複数のカメラが円形に取り囲んだシステムを構築し、多方向表示3次元ディスプレイに必要な光線データを取得できるように発展させた。

(3) 平成 22 年度は、以下の項目について研究を行った。

- ① 平成21年度までに一部作製した多方向表示ディスプレイと触覚提示装置を組み合わせ、表示された3次元画像をインタラクティブに操作できる機能を付加した。
- ② インタラクティブに3次元像を変化させる必要があり、3次元ディスプレイに与える光線データを、高速に生成する手法を確立した。

4. 研究成果

全周からの観察可能な多方向表示3次元ディスプレイを開発し、観察者の操作に応じて表示像を変化させるインタラクティブ化の手法を確立した。また、入力系として、複数の視差画像から実在する物体の全周の3次元表示用視差光線データを得る3次元画像入力手法の原理も確立した。以下に、具体的な成果について述べる。

(1) 全周からの観察可能な多方向表示3次元ディスプレイの開発

- ① 我々がこれまでに開発していたホログラフィック光学素子を用いた光線再生法式の3次元ディスプレイを応用した水平配置3次元ディスプレイ（基本ディスプレイ）を、複数個組み合わせて多方向表示（全周表示）3次元ディスプレイを構成するために、基本ディスプレイの特性と組み合わせるディスプレイ数の関係を明らかにし、4方向表示のディスプレイを試作し、原理の確認を行った。試作したディスプレイの表示可能エリアは、プロジェクタ（1画素のサイズは 0.107mm^2 ）を用いた場合は $82.3 \times 82.3 \times 82.3\text{mm}$ 、プリンタ出力（600dpi）による静止画の場合は $114.3 \times 114.3 \times 114.3\text{mm}$ となった。
- ② それぞれの基本ディスプレイで再生された3次元像を空中で重ね合わせる必要があるため、3次元像の重ね合わせの精度を測定する手法を確立した。この手法を用いて試作ディスプレイを調整し、97.6%の精度で3次元像の表示位置合わせが可能となった。
- ③ 多方向表示3次元ディスプレイのインタラクティブ化に必要な3次元表示像の明るさと飛び出し量を確保するために、上記の3次元ディスプレイにレンチキュラーレンズを加えた改良を行い、基本構成要

素となる3次元ディスプレイを20個円周状に並べることにより、全周表示が可能となることを明らかにした。基本構成要素となる3次元ディスプレイを8個組み合わせたシステム（全周の2/5）を試作し、直径34mmの3次元像を視域角124度で観察可能であることを確認した。試作ディスプレイでの複数の3次元像の表示位置合わせは、90.7%の精度であった。図1に表示3次元像を示す。

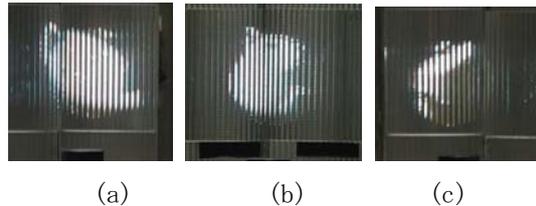


図1 表示3次元像(ティーポット)：観察方向はそれぞれ、(a)左60°、(b)正面(0°)、(c)右60°

(2) 全周表示ディスプレイ用3次元入力カメラシステムの開発

多方向表示（全周表示）3次元ディスプレイで再生するための光線データを取得するために、多数のカメラを円周状に配置したカメラシステムを提案し、必要とするカメラ台数を削減するための光線データの補間法を確立した。さらに、再生表示される3次元画像の劣化に注目し、必要とするカメラ台数を見積もる手法を確立した。カメラ台数14台、中心角 40° のカメラアレイシステムを試作した。インタラクティブ化を目指すため、光線データの補間するための簡易な補間方法を確立し、中心角 40° の円周カメラシステムで取得した画像から光線情報を取得するのに必要な時間は約0.07秒となった。これにより、3次元像に変形を伴わない操作では、ほぼリアルタイムでインタラクティブ動作が可能であることが確認できた。図2に試作したカメラシステムと、カメラシステムから取得した光線データを再生した3次元像を示す。

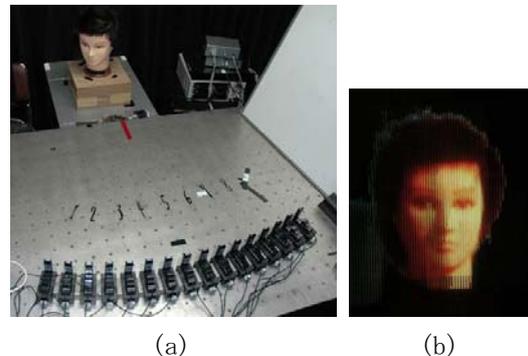


図2 3次元入力カメラシステム：(a)試作カメラシステム、(b)表示像(マネキン)

(3) 3次元ディスプレイのインタラクティブ化

(1)で述べた多方向表示(全周表示)3次元ディスプレイと触覚提示装置PHANTOM(Sensable Technologies)を組み合わせ、(2)で述べた3次元入力カメラシステムで得られた光線データから再生された3次元像をインタラクティブに操作できるシステムを構築し、原理を確認した。表示される3次元画像と触覚提示装置の位置合わせを行う手法を確立した。試作システムにおいて、表示された3次元像と触覚提示装置の指示する位置の誤差は8.2%以下であった。手作りの試作システムのため誤差が大きかったが、精度の高い組立を行えば精度の向上が期待できる。図3にインタラクティブ3次元ディスプレイを操作している様子を示した。



図3 インタラクティブ3次元ディスプレイ：(a)被写体、(b)操作風景

(4) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクトおよび今後の展望

本研究で実現したインタラクティブ全周表示3次元ディスプレイは、協調作業空間となるテーブルそのものが全周表示可能な平面の3次元ディスプレイでできており、テーブル(3次元ディスプレイ)の上に3次元像が表示され、3次元像を取り囲んだ複数の人がインタラクティブに表示像を操りながら協調作業を行うためのツールを目指している。全周表示が可能な3次元ディスプレイは、国内外においてわずかではあるが提案されているが、協調作業のためのツールを意識したものは少ない。さらに、3次元画像入力システムによって撮影された物体の3次元像を観察者が触ることができる、インタラクティブな全周表示システムに関しても、国内外で研究されていない。

今後、本研究で試作したシステムをブラッシュアップするとともに、表示像に触感表現を付け加えることにより、リアルな触感をもった触れることが可能な3次元表示が可能となれば、3次元画像データを伝送する技術と組み合わせることにより、遠距離に離れている人たち同士の協調作業にも応用できることはもちろん、ロボットなど機械の遠隔制御やインターネットを利用した遠隔地手術などへの応用が期待でき、工学、医学、理学、

教育、娯楽、ヒューマンインタフェースなどの分野に大きな影響を与えることができると考えられる。

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5件)

(1) H. Takahashi, K. Hirooka, K. Yamada, and T. Aida, Implementation of a circular light field camera array for 3D displays based on the reconstruction of parallax rays, ICIC Express Letters, 査読有, Vol.4, 2010, pp.2311-2315.

(2) H. Takahashi, S. Miyatake, K. Yamada, and T. Aida, Circular camera array system for 3-D displays based on the reconstruction of parallax rays, JSID, 査読有, Vol.18, 2010, pp.501-506.

(3) H. Takahashi, N. Kureyama, K. Yamada, and T. Aida, Flatbed-type bidirectional three-dimensional display system, IJICIC, 査読有, Vol.5, 2009, pp.4115-4124.

(4) H. Takahashi, S. Miyatake, K. Yamada, and T. Aida, Three-dimensional camera system for the thin three-dimensional display based on the reconstruction of parallax rays, IJICIC, 査読有, Vol.5, 2009, pp.619-629.

[学会発表](計4件)

(1) H. Takahashi, K. Hirooka, K. Yamada, and T. Aida, Implementation of a circular light field camera array for 3D displays based on the reconstruction of parallax rays, Proc. ISII2010, ISII2010-291 (CD-ROM), ISII2010, Sep. 7, 2010, Dalian, China.

(2) S. Miyatake, H. Takahashi, and K. Yamada, Three-dimensional circular camera system for the thin three-dimensional display based on the reconstruction of parallax rays, Proc. IIHMS2009, pp.174-177, IIHMS2009, Sep. 12, 2009, Kyoto, Japan.

(3) H. Takahashi, N. Kureyama, M. Chikayama, and K. Yamada, Flatbed-type three-dimensional display system as a tool for cooperation working, Proc. ICIC2008, IS03-008 (CD-ROM), ICIC2008, June 18, 2008, Dalian, China.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 秀也 (TAKAHASHI HIDEYA)

大阪市立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30197165

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし