

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：82636

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2011

課題番号：23650064

研究課題名（和文） 射出瞳の結像による高解像度立体映像伝送システムの開発

研究課題名（英文） Hi Resolution 3D Image Communication System with Method of Forming Real Image of Projectors' pupils.

研究代表者

前川 聡 (MAEKAWA SATOSHI)

独立行政法人情報通信研究機構・ユニバーサルコミュニケーション研究所超臨場感映像研究室・主任  
研究員

研究者番号：60358893

研究成果の概要（和文）：

2面コーナリフレクタアレイ (DCRA) および拡散板を用い、分散処理を用いたマルチプロジェクション方式による立体ディスプレイを提案した。本ディスプレイは光線再生方式によるものであり、プロジェクタ瞳を実像として結像する多眼方式に相当する。結像光学素子として実像鏡である DCRA を用いたことで、プロジェクタ瞳および映像が投影される拡散板の両方を実像として結像することが可能となり、テーブルトップに浮かぶ映像上に輻輳と調節をほとんど矛盾なく合わせることができるようになった。さらにこのことにより、水平視差しか与えない場合においても、垂直方向への視点移動による定位位置のずれを抑えることができ、垂直運動に伴う定位感、実在感の破たんを最小限に抑えられた。

研究成果の概要（英文）：

We propose a distributed processing multi-projection 3D display using the dihedral corner reflector array (DCRA) and diffuser. This method produces a light field of 3D objects and is a multi-view display system which forms real images of projectors' pupils. By using the DCRA that is a real image mirror as the imaging optics, both images of the diffuser on which images are projected and projectors' pupils can be formed as real images over the table top. Therefore we can see the floating image over the table top almost without vergence-accommodation conflict. Because of this characteristics, even if only the horizontal disparity was given, the unnatural movement of floating image is suppressed according to the vertical movement of viewpoint.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

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：バーチャルリアリティ・裸眼三次元映像

## 1. 研究開始当初の背景

鏡映像を、空間に実像として結像させることができる結像光学素子 DCRA が開発されている。面对称結像であるので、物体と素子面との距離に依らずに等倍結像し、無歪の三次元実像結像系となる。この DCRA を利用し、2台のプロジェクタの射出瞳をそれぞれの眼の位置に合わせて結像させ、HMD を構成する提案がされている。この場合、観察するのは DCRA により結像した虚像であり、鮮明

な画像を観察するためには非常に高精度の DCRA を必要とする。また他の関連研究として、再帰性反射スクリーンとハーフミラーを用いて、複数視点映像をスクリーンに投影することで多視点の三次元ディスプレイを構成する提案がされている (Repro3D)。この方式では、市販されている再帰性反射スクリーンの精度の悪さを逆に利用し、投影系の結像された瞳をぼかすことで離散的に配置された射出瞳像を連続的につなぐことを可能と

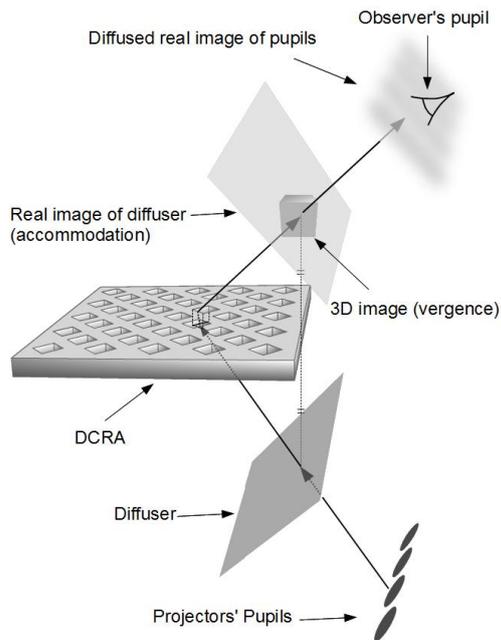


Fig.1 Concept of the proposed 3D display

している。本研究では、これらに対して、DCRA 面直下（直上）の拡散板をスクリーンとして用いた瞳結像方式による視差方式三次元ディスプレイを提案する。

## 2. 研究の目的

本研究では、面対称位置に実像を結像する機能を持つ 2 面コーナリフレクタアレイ（以下、DCRA(Dihedral Corner Reflector Array)）を用い、DCRA 素子面直下（あるいは直上）に配置した拡散板をスクリーンとしてプロジェクタアレイからの映像を投影し、各プロジェクタの射出瞳を DCRA によって空中に結像（拡散板によりぼかされる）させることによって三次元映像を表示するシステムを構築する。また、カメラアレイによって取得した映像を計算機による加工なしに直接共役な位置に配置されたプロジェクタによって投影することで実現できる三次元映像伝送システムの原理検証を行う。

## 3. 研究の方法

Fig. 1 に、本システムの構成例を示す。DCRA と拡散板および、映像を投影するプロジェクタアレイからなる。ここでは、プロジェクタはその瞳のみを図示している。DCRA は、多数のマイクロミラーを用いた受動結像光学素子であり、平面鏡のように素子面に対して面対称位置に、虚像ではなく実像を結像することができる。凸レンズのように光軸や固有焦点距離というものがない、DCRA を用いた場合には、鏡映像がそうであるように、物体との距離とは無関係に等倍で歪みのな

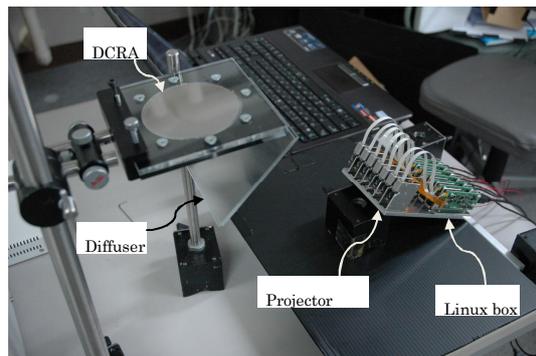


Fig.2 Overview of the proposed 3D display

い実像を結像することができる。

プロジェクタ映像は、DCRA 下面に配置された拡散板に焦点を合わせて投影される。拡散板に投影された映像は、DCRA によって面対称位置に実像として結像する。これは、拡散板そのものが面対称位置に結像していると考えてもよい。さらに、プロジェクタアレイの各プロジェクタ瞳も面対称位置に結像し、実像瞳となる。ただし、プロジェクタ瞳については拡散板を透過することによってボカされる。

観察者が表示物体上のある点を向いているとして、観察者瞳と表示物体上の当該点を結ぶ直線上にプロジェクタ瞳の像が存在しており、その瞳から出射している光線が観察者瞳に入射するのであれば、観察者は表示物体上の当該点を観察することができる。つまり、広い視点から連続した視点移動によって途切れることなく表示物体を観察するためには、瞳像によって、ある瞳結像面を埋め尽くすことが必要となる。一般的にプロジェクタ瞳は小さく、その直接の瞳像だけで瞳結像面を埋め尽くすことは困難であるため、拡散板によって瞳像をぼかして拡大するという手法を用いる。

Fig.1 のように、プロジェクタアレイが 1 次元であれば、水平方向は隣接瞳が重なる程度に拡散させ、垂直方向には適度に視域を確保できる程度に拡散させることで、瞳結像面を拡散された瞳の実像で埋めることができる。これにより、瞳結像面より視点が後ろにあるときには、瞳結像面の実像がまるで空間に空いた穴のように働き、その穴を通して映像が観察できる。また、瞳結像面より視点が前にあるときには、この穴に吸い込まれていく光線によって映像が観察できる。さらに瞳結像面の位置で観察した場合には、あるプロジェクタの実像瞳の位置を視点として観察すると、1 台のプロジェクタが投影する映像をそのまま見ることができ、横に視点移動するとその視点の映像を投影するプロジェクタ映像をそのまま見ることができる。

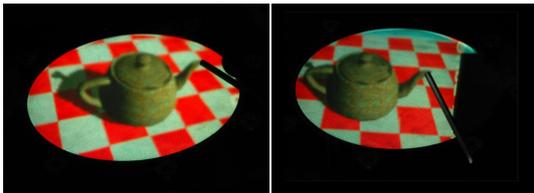


Fig.3 Observed images from right and left viewpoints.

本システムにおけるプロジェクタアレイの構築例について紹介する。マルチプロジェクション方式における一般的な構成としては、画像生成は1～数台の少数の計算機で行い、その画面を複数に分割して各プロジェクタに映像を送る方式がある。このような手法は、スケーラビリティに欠け、プロジェクタ数の変更は少々面倒である。本提案では、これに対してプロジェクタ毎に独立に画像生成を行う分散システムによって実装する。この実装によって、プロジェクタの追加が1台毎に簡単に行えるようになる。

本システムでは、各プロジェクタユニットは、独立したMPUボードに接続されている。使用したプロジェクタユニットは、qHD(960x540)解像度で、大きさ30×31×7mm、明るさは6lmとなっている。また、MPUボードは、最大1GHzで動作するARM Cortex-A8のCPUコアおよびOpenGL ES 2.0に対応するGPUを搭載しており、USBおよび無線LANインターフェースを保有しており、OSとしてLinuxを動作させている。つまり、各プロジェクタは、独立したLinux BOXに接続されており、自由に画像表示が可能である。各Linux BOXは、視点だけが異なる画像を表示するため、立体データおよびプログラムを共通として、視点のみを相対的に変更すればよい。なおプロジェクタ間の相対視点は不変であることから、あらかじめ固定パラメータとして指定できる。つまり、新たな視点に対応するプロジェクタを増設する場合は、ハードウェア、ソフトウェアを共通のものとして、相対視点パラメータだけを変更すればよい。表示映像に対する視点を変更するには、基準視点のみを各Linux BOXにブロードキャストすればよく、通信量は抑えられる。制御用のPCも存在するが、表示時には視点情報を送るのみであり、特に処理能力は要求されない。

Fig.2では、以上の各プロジェクタユニットおよびLinux Boxを組みとして、7台を12mm間隔でアレイ状に並べてプロジェクタアレイを構成している。

#### 4. 研究成果

提案システムによる表示画像例をFig.3に示す。画面上に見える棒の先端は、空間上のある1点を指している。この先端は、映像で

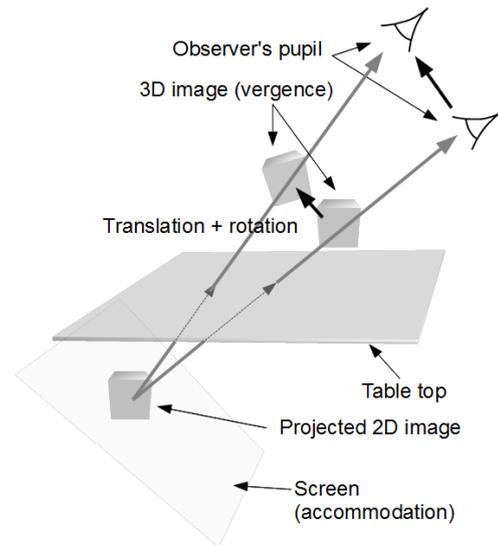


Fig.4 Effect of the vertical movement of viewpoint in case of fVision and Repr3D.

あるポット先端と一致しているが、視点を上下に移動させてもこの関係が維持される位置に表示されている。なお、このような垂直方向の視点移動に対しては、拡散板実像の位置が重要な要素となる。拡散板実像位置と視差上の位置が一致している場合には、垂直視点移動によっても定位位置は動かない。

本提案と似たマルチプロジェクションシステムとして、テーブルトップ上に3D表示を行うfVision[5]あるいは、プロジェクタ瞳を面対称位置に実像として結像する多眼方式であるRepr3D[6]などがある。fVisionは、原理としては一般的な投影系の瞳が拡散板背面に存在する空間像方式によるものであるが、テーブルトップ面下部に拡散板を円筒あるいは円錐状にして配置することで、視点を斜め上方の周囲360度に拡張している。Repr3Dは、ハーフミラー下部に再帰性反射スクリーンを配置した実像鏡光学系を利用したものである。再帰性反射面に拡散性を持たせることによって、プロジェクタ瞳の実像を拡散して重ね合わせている。ただし映像は、スクリーンに投影された映像をそのままハーフミラー越しに観察することとなる。

いずれの例もプロジェクタ投影面(拡散面)が、テーブルトップ(Repr3Dの場合にはハーフミラー面)背面に距離をおいて存在しているという点が共通している。そのため、これらでは、テーブルトップ面上方に定位する立体映像を表示した場合には、調節と輻輳の矛盾が非常に大きくなるという欠点がある。

これらの例において、プロジェクタアレイが水平視差しか与えない場合(Repr3Dは、

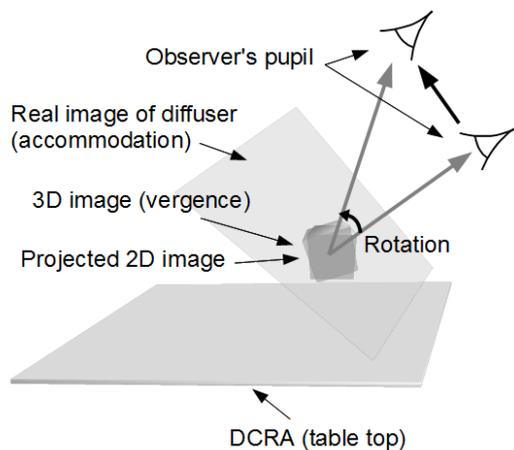


Fig.5 Effect of the vertical movement of viewpoint in case of real imaging system.

垂直視差も与えているが、これがないと仮定する)に、垂直視点移動の影響がどのように与えられるかを Fig.4 に示す。観察者の瞳が上方に移動した場合、見ているものはあくまでもスクリーン（拡散板）上の映像であることから、垂直位置が動いてしまう。さらに映像は変化しないために、立体として解釈すると回転が起こる。

一方、本提案システムにおける垂直視点移動の影響を Fig.5 に示す。図のように拡散板実像位置と定位位置をほぼ一致させることで、垂直視点移動に伴う垂直位置の移動を抑えられる。つまり、垂直運動に伴う定位感、実在感の破たんを最小限に抑えることが可能となる。ただし、視点が変わっても映像が変化しないことから来る立体の回転解釈は避けられない。

なお撮像・伝送系については、実施が間に合わなかったが、多眼方式であるため共役視点に配置したカメラ画像を無変換でそのままプロジェクターに表示させることが可能となる。

## 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)

[学会発表] (計1件)

[1] 前川聡、前田有希、フシエジャンミシエル、宮崎大介、2面コーナーリフレクタアレイを用いた瞳結像によるテーブルトップ型裸眼立体ディスプレイ、3次元画像コンファレンス、2012/7/12, 早稲田大学, 東京都.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前川 聡 (MAEKAWA SATOSHI)

独立行政法人情報通信研究機構・ユニバーサルコミュニケーション研究所超臨場感映像研究室・主任研究員  
研究者番号：60358893

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

宮崎 大介 (MIYAZAKI DAISUKE)

大阪市立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60264800

前田 夕希 (MAEDA YUUKI)

大阪市立大学・工学研究科・大学院生

研究者番号：なし