単眼ヘッドマウントディスプレイを用いた立体視法

Stereovision Using A Monocular Head Mounted Display

丸山 剛[†], 青木 伸[†]Go Maruyama[†] and Shin Aoki[†]

Abstract We have developed a stereovision method that uses a monocular head-mounted display(mono-HMD). In the past, both images in stereovision have been set in either a virtual world or in the real world. In the former case, a person wearing special glasses can see 3D images, but other people can't even see 2D images. In the latter case, viewers can only see 3D images from a particular location. Our method solves both problems. In our method, one image is set in a virtual world displayed in a mono-HMD, and the other image is set in the real world. The viewer wears the mono-HMD and moves her body to align one retinal image with the other retinal image. The brain's vision center then perceives the two images as one stereoscopic image. Our experiments have shown that 3D images can be viewed stereoscopically using our method.

キーワード：ビデオシースルー，単眼ヘッドマウントディスプレイ，両眼視差

1. ま え が き

より高い臨場感や立体感を求めて立体ディスプレイへの関心は高まりつつあり，近年非常に多くの立体映像表示技術が提案されている．特に両眼視差に基づいた方式は，ディスプレイ自身が比較的簡単に作れることもあって最も普及している．両眼視差を用いた立体ディスプレイの代表的なものに2眼式がある．さらに2眼式はメガネ方式とメガネなし方式に分類される¹⁾²⁾．

メガネ方式の立体映像表示技術には，アナグリフ方式や偏光メガネ方式，時分割シャッタ方式などが挙げられる．メガネ方式では，左右の画像を重ねて表示媒体に表示する．そしてメガネのレンズ部に加工を施すことで，両眼に異なる映像を入射させることができる．しかし，メガネを装着していない人には左右の画像が重なって見えてしまう．一方，メガネなし方式にはパララックス方式やレンチキュラー方式などがある．これらの方式は多人数で同じ立体映像を共有することを可能にしている．しかし立体視画像を正常に鑑賞できる位置が限定されていたり，一つの表示装置から二つの画像を表示するため，表示装置の解像度を十分に生かしきれないなどの問題がある．

これらの問題を解決するため，2枚の視差画像をそれぞれ仮想空間と現実空間に配置し，それぞれを異なる眼で見ることにより立体視を行う新しい立体視方法，Mixed Reality

図 1 MRSV の原理
Principle of MRSV.

StereoVision(MRSV) を提案する．

第 2 章では MRSV の原理について説明を行う．第 3 章では，MRSV の原理を検証した実験に関して報告する．第 4 章では，MRSV を用いた応用システムの一つを提案する．最後に，本報告のまとめと今後の課題を述べる．

2. MRSV の原理と MRSV システムの特徴

MRSV の原理を図 1 を用いて説明する．まず，2枚の視差画像（右視差画像，左視差画像）を用意する．現実空間に存在するディスプレイや紙などの平面に左視差画像を，単眼ヘッドマウントディスプレイ（単眼 HMD）の表示部に右視差画像を配置する．そして閲覧者は単眼 HMD を右眼に装着しながら，左眼で左視差画像を見る．左の網膜に結像している像（網膜像）と，右の網膜像の関係を，ステレオ視を行った際の左右の網膜像の関係と同じ関係にすることで立体視することができる．自らの体を移動させると左の網膜像は変形するが，右眼と単眼 HMD の相対位置は体の移動に対して不変である．そのため，右の網膜像を固

2006 年 12 月 26 日受付，2007 年 6 月 25 日採録

[†]株式会社リコー 研究開発本部

(〒 224-0035 横浜市都筑区新栄町 16-1, TEL 045-593-3411)

[†] Research and Development Group, Ricoh Company, Ltd.

(16-1, Shinei-cho, Tsuzuki-ku, Yokohama, 224-0035, Japan)

図 2 実験構成
Structure of experiment.

定した状態で左の網膜像のみを変形することができる。その結果、左右の網膜像の関係が一般のステレオ視を行う際の左右の網膜像の関係と等しくなる、図 1 のような閲覧者の位置・姿勢が存在する。閲覧者はこのような位置・姿勢に移動することで、両眼視差により立体情報を感知できる。

MRSV に対し、第 4 章で紹介するような、左視差画像と人間との相対位置を計測する機能、相対位置に基づいて現実空間の左視差画像に射影変換を施す機能を追加することにより、次のような特徴を備える可能性がある。

- 複数人が同時に立体像を閲覧可能。
- 単眼 HMD 未装着者は 2D 画像のみを閲覧可能。
- 閲覧者の位置によらず立体視可能。
- 現実空間における表示媒体は紙でも可能。

このように、MRSV はメガネ方式とメガネなし方式の中間的な位置づけでありながら、両方式の問題点を解決する可能性を持っていると考えられる。

3. 実験と実験結果

2 章で提案した MRSV による立体視が実現可能かどうかを検証するために、視差画像としてランダムドットステレオグラム (RDS) を用い、被験者が RDS に隠されている文字を正答するまでの時間を計測した。MRSV による立体視は、慣れにより立体認識に要する時間が短くなることが経験的に分かっている。そのため、被験者を MRSV による立体視を体験したことのない人に限定し実験を行った。以下に実験の詳細を述べる。

3.1 実験

フリーソフト RDS Maker for Win(小松原覚氏製)を利用して右眼用 RDS, 左眼用 RDS を作成し、それぞれ右視差画像, 左視差画像とした。

被験者は、壁から約 60cm(単眼 HMD の焦点距離)離れた椅子に座った。右眼には、表示部に練習用画像が表示されている単眼 HMD (島津製作所製の Data Glass 2/A) を装着した。練習用画像とは、右視差画像と同じ大きさで同じ位置に配置されているが、左視差画像と正確に位置合わせしても立体像が浮かび上がらない画像のことである。また、壁に左視差画像を配置した。なお今回の実験では、各

図 3 MRSV を利用した立体視システムの構成図
An example of a system with MRSV.

画像の背景に黒画像を使用した。実験の構成を図 2 に示す。

まず被験者に MRSV による鑑賞方法を説明し、その後被験者に、頭部を上下左右に移動させることにより、右網膜像と左網膜像の関係がどのように変化するのかを練習してもらった。そして、単眼 HMD に表示されている練習用画像を、右視差画像に切り替えた時から RDS に隠された文字を解答するまでの時間を計測した。なお、被験者には RDS にアルファベット 1 文字が隠されていることは知らせておいた。また、実験の厳密性を保つため、被験者には 1 度しか解答権を与えず、実験中には、実験者から被験者への助言などは行わなかった。制限時間は 180 秒とした。

3.2 結果

12 人の認識時間 (単位:秒) は、それぞれ 13, 8, 20, 75, x, x, 3, x, x, 3, 2, 6 であった。x は制限時間内に認識できなかったことを表す。筆者の予想よりも認識できた人の認識時間が総じて短かったが、これは実験前に行った MRSV の練習により、およそその立体視可能な頭部の位置を被験者が予測できていたことに起因すると思われる。一方、制限時間内に立体視できなかった 4 人も全員、実験後の筆者からの助言に基づき立体視することができた。

4. MRSV を用いた立体視システムの紹介

相対位置測定装置を利用した MRSV による立体視を行うシステムを紹介する。本システムでは、相対位置測定装置として、ビデオカメラとマーカを組合せ、閲覧者と視差画像との相対位置を測定する。相対位置に応じて単眼 HMD に表示されている視差画像に射影変換を施して表示する。これにより、体の移動による左右の網膜像を位置合わせする作業が不要となる。

本章のシステムでは、ビデオシースルー型単眼 HMD (以後、カメラ付 HMD) を右眼に装着する。また、2 枚の視差画像 (左視差画像, 右視差画像)、右視差画像を格納するサーバ、コード付マーカ、左視差画像を印刷した紙、とを必要とする (図 3)。なお、カメラ付 HMD はコンピュータが内蔵されており、閲覧者の視線とカメラで撮影される画像に視差が生じない構成となっているものとする。以下では、システムの構築方法の詳細を説明する。

図 4 撮影画像と左視差画像，表示画像と右視差画像の関係
Relationship of left disparity image and captured image, and relationship of right disparity image and displayed image.

4.1 左視差画像と右視差画像の作成と配置

まず，ステレオカメラなどで撮影された視差画像（左視差画像，右視差画像）と，視差画像よりもサイズの大きい白紙画像を2枚用意する．そして2枚の白紙画像の同一座標に，右視差画像と左視差画像をそれぞれ配置し，それぞれ右眼画像，左眼画像とする．そして右眼画像をカメラ付HMDからアクセス可能なサーバに保管する．

一方，左眼画像中の余白領域に正形状のコード付マーカを配置する．コードには，左眼画像上でのコード付マーカの4頂点の座標，と右眼画像を格納したURLとを符号化しておく．なお，コード付マーカには，CyberCode³⁾や，ARToolKit⁴⁾のようなコードを用いると便利である．左眼画像は適当な用紙へ印刷し，壁などに貼り付ける．

4.2 カメラ付HMDへの表示画像変形方法

閲覧者がカメラ付HMDを装着しながら壁に貼り付けた左眼画像をみたとき，右網膜像にはカメラ付HMDに表示されている右視差画像，左網膜像には左視差画像が撮像する．本節では，左視差画像と閲覧者との相対位置により算出された射影変換行列を利用して，右視差画像を変形する方法を説明する．これにより2章で説明した，閲覧者が体を移動させての網膜像の位置合わせを行うことなく，左網膜像と立体視可能な像に右網膜像を変形することができる．

(1) 左眼画像と閲覧者の位置関係

閲覧者が左眼画像の方向を向くと，カメラ付HMDの持つ画像処理部は，得られたカメラ画像からコード付マーカのコード枠の4頂点の座標を認識し，コードの内容を復号する．そして復号されたメッセージからURLを読み取り，右眼画像をカメラ付HMDにダウンロードする．次に，カメラで撮影されたコード付マーカのコード枠の4隅の座標を，復号されたメッセージに含まれている4頂点の座標へ射影する射影変換行列 H を求める³⁾⁴⁾．すなわち射影変換行列 H は撮影画像上での左視差画像の4頂点の座標を左眼画像上での左視差画像の4頂点の座標に変換する射影行列であり（図4上），左視差画像と閲覧者との相対位置により決定される．

(2) 右眼画像の変形

射影変換行列 H の逆行列 H^{-1} を右眼画像に施す．得ら

れる右眼画像は撮像画像の左視差画像の位置に右視差画像を置き換えたような画像となる（図4下）．その後，眼基線長に基づき画像の並進移動を行う．そして得られた右眼画像をカメラ付HMDの表示部に表示する．

これらの動作の結果，左網膜像と右網膜像を，従来のメガネ方式などにより得られる左右の網膜像と一致させることができる．よって閲覧者は，両眼視差により立体感を得ることができる．なお，閲覧者とコード付マーカとの距離により，大よその輻輳角を算出することができる．それを利用して画像変形を行う処理を加えると，より違和感の少ない立体像を得られると思われる．

5. む す び

新しい立体視方法であるMRSVを提案し，実験でMRSVにより実際に立体感が得られることを確認した．しかし，MRSVによる立体視を習得するまでの時間には個人差があり，閲覧者によっては多大な労力を要することがわかった．今後は，第4章で紹介したような，MRSVと相対位置計測装置を併用したシステムを構築するとともに，すべての閲覧者がMRSVによる立体視を容易に習得できるような方法を考えていく．またMRSVでは，両眼に焦点の異なる画像を入射させることになるため，視力などへ悪影響を及ぼしている可能性がある．そのため距離に応じてディスプレイの焦点距離を変える方法なども検討していく．

〔文 献〕

- 1) 志水英二，岸本俊一：「ここまでの立体映像技術 -究極のディスプレイをめざして-」，工業調査会（2000）
- 2) （社）日本機械工業連合会，（社）日本オプトメカトロニクス：「平成16年度立体映像表示に関する調査研究報告書」，日機連16先端-8（2005）
- 3) J.Rekimoto and Y. Ayatsuka: "CyberCode: Designing augmented reality environments with visual tags", Proc. Designing Augmented Reality Environments(DARE)(2000)
- 4) H.Kato and M.Billinghurst: "Marker Tracking and HMD Calibration for a video-based Augmented Reality Conferencing System", Proc. the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality(IWAR 1999),pp.85-94(1999)

まるやま 剛 2001年，東京大学工学系研究科計数工学専攻修士課程修了．同年株式会社リコー入社．コンピュータビジョン，コンピュータグラフィックス，情報源符号化に興味．

あおき しん 1990年，東京大学工学系研究科計数工学専攻修士課程修了．同年株式会社リコー入社．画像処理，信号処理，パターン識別の研究開発に従事．