

# 大型スクリーン環境における 多人数鑑賞用ステレオ表示

Multi-User Immersive Stereo in Projection-Based Virtual Reality System

苗村 健<sup>1)</sup>                      金子 正秀<sup>2)</sup>                      原島 博<sup>1)</sup>  
Takeshi NAEMURA              Masahide KANEKO              Hiroshi HARASHIMA

1) 東京大学大学院 工学系研究科

(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1, naemura@hc.t.u-tokyo.ac.jp)

2) 電気通信大学大学院 電気通信学研究科

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1-5-1, )

**Abstract :** Recently, multi-screen projection systems are widely used in the field of virtual reality. Within the system bounded by screens, users can view the panoramic stereoscopic images projected onto the screens. In such an immersive environment, however, just one viewer can feel the natural depth sensation. In this paper, the authors propose a novel approach to realize a multi-user system, in which several users can feel the adequate depth sensation simultaneously. Experimental results show the potential applicability of the proposed method to the next-generation virtual environment.

**Key Words :** surround-screen projection-based system, panoramic stereoscopic images, natural depth sensation, multiple users, immersive stereoscopic images

## 1. はじめに

近年、CAVEなど大型ステレオスクリーンを用いた没入型仮想環境の研究が盛んに行なわれている[1]。これらのシステムでは一般に、ステレオメガネに取りつけた磁気センサでユーザの視点位置と視線方向を検出して、そのユーザに適した全周のステレオ画像を表示する方式が採られている。この場合、原理的にはセンサを付けた1名のユーザ以外は、正確な立体視を行なうことができない。

本稿では、大型スクリーンシステムの中において、複数のユーザにできるだけ適度な立体感を同時に与える方法について検討する。

## 2. 従来のパノラマステレオ画像

多面スクリーンシステムの中で3名のユーザが全周のパノラマ画像を見ている様子を上から眺めた図を図1に示す。この中の1名だけが、視点位置と視線方向を測定する磁気センサを身に付けている。このユーザを以下では「特権ユーザ(Privileged User)」と呼ぶ。図2に、特権ユーザの視点位置・視線方向に対応する、パノラマステレオ画像の例を示す。本稿では、特権ユーザと異なる方向を眺めているユーザAとBに対して、なるべく適度な立体感を与える手法について検討する。各ユーザの視点位置の違いについては今後の検討課題とし、ここではあくまで視線方向の違いについて議論する。

図2のパノラマステレオ画像を立体スクリーンに投影すると、各ユーザは図3に示すステレオ画像をそれぞれ見るこ

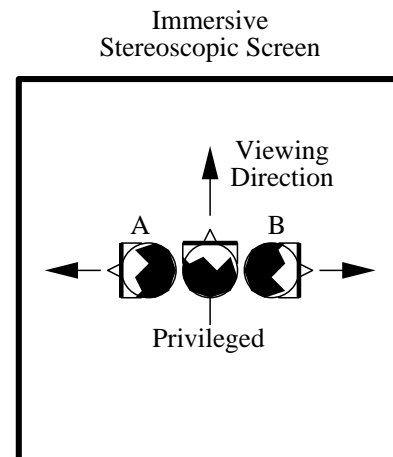


図1 Top view of the system.

とになる。図3(a),(c)のステレオ画像を見ると、左右の画像中で、物体の大きさが異っており、水平方向の視差のみならず、垂直方向の視差が現れていることが分かる。このため、ユーザAとBは自然な立体感を得ることができない。これは、図2が特権ユーザ専用で作られたパノラマステレオ画像であることに因る。

特権ユーザ用のステレオ画像が、どのように歪んでユーザBに観察されるのかを図4に示す。図4(a)は、特権ユーザの視点位置にあわせて、円筒面(図中の円)上の点をスクリーン上に投影している様子を表している。この投影点を、



(a) Panoramic left view



(b) Panoramic right view

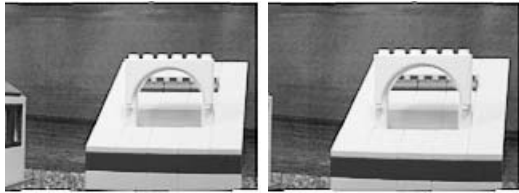
図 2 Conventional panoramic stereopair (The horizontal field of view is from  $-90^\circ$  to  $90^\circ$ ).



(a) User A's view



(b) Privileged user's view



(c) User B's view

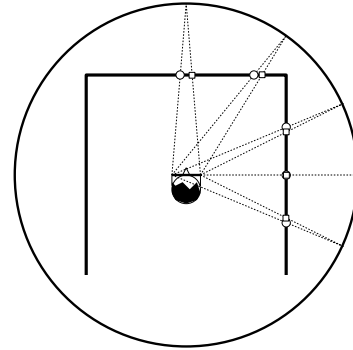
図 3 Each user's view (Conventional).

ユーザBの視点で見ると、幾何学的な関係により、図4(b)の実線で示した曲線のように、円筒面が歪んで認識されることになる。同様に、特権ユーザが正面を向いているときに、その他のユーザの視線方向の変化にあわせて、どのように円筒面の歪みが変わりゆくのかを図5に示す。元の円筒面を点線で示し、それが視線方向に応じてどのように認識されるかを実線で示した。ただし、視線方向 $\theta$ は、図6(a)のように定義している。図5(c)の左手が、図4(b)に対応している。無視できない歪みが生じていることが確認できる。

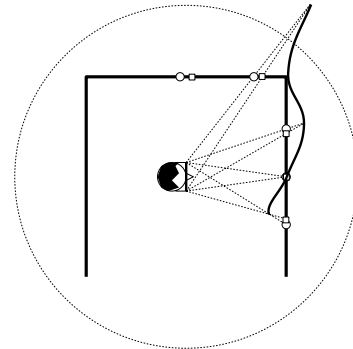
本稿では、全てのユーザが、同時にある程度適度な立体感を得られるような、広視野角のステレオ画像を提示する手法について検討する。

### 3. 提案手法

まず、視覚情報の光線記述方式について、簡単に述べる。3次元空間の光線は、その通過位置 $(X, Y, Z)$ と向き $(\theta, \phi)$ によって区別され、輝度や色の情報を $f$ と表記すると、5次元の情報空間 $f(X, Y, Z, \theta, \phi)$ の中に別々に記録することがで



(a) Projection for the privileged user.



(b) User B is observing the projected view.

図 4 How the distortion occurs.

きる [2, 3]。視点位置 $(X_o, Y_o, Z_o)$ における従来のパノラマ画像 [4] は、以下のような2次元部分空間として書き表される。

$$f_2(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z) = (X_o, Y_o, Z_o)}$$

特権ユーザの視点位置が、図6に示すように、 $(\pm r, 0, 0)$ にある場合について考える。したがって、図2のパノラマステレオ画像は、以下のように書き表される (図6(a)参照) :

$$f_r(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z) = (r, 0, 0)}$$

$$f_l(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z) = (-r, 0, 0)}$$

この場合、特権ユーザの視線方向は $Z$ 軸に平行で、 $\theta = 0^\circ$ である。次に、視線方向が $\theta = -90^\circ$ のユーザAについて考える。ここでは、ユーザAの位置が特権ユーザと同じ $(0, 0, 0)$ で、視線方向だけが異なっているものとして考える。このような状況は、現実的には起こり得ないが、視線方向の違いだけを切り離して議論するための便宜的な条件設定として採用

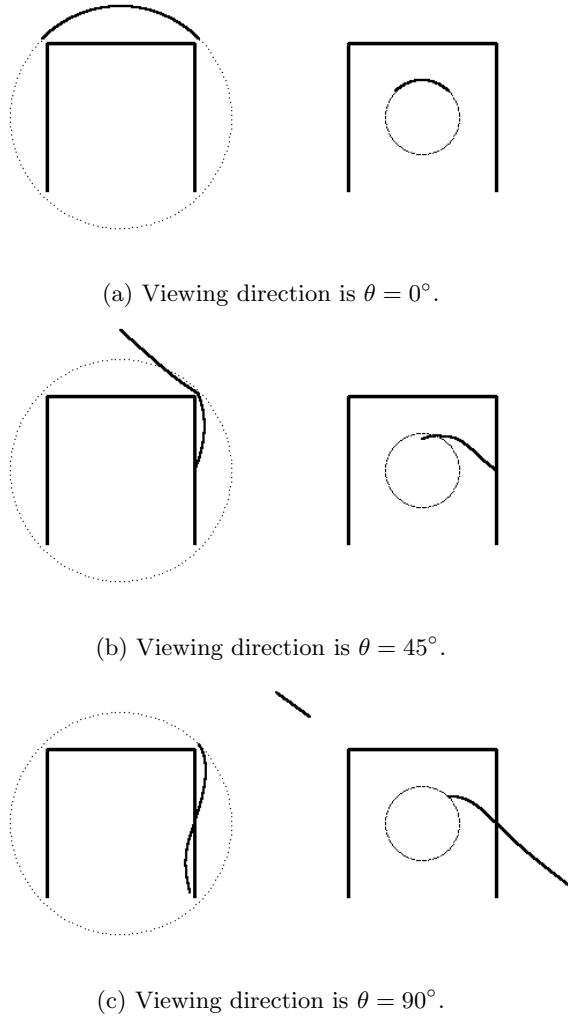


図 5 Distortion of the conventional panoramic stereopairs.

する。この場合には、ユーザAの視点は、 $(0, 0, \pm r)$ にあるため、必要な視覚情報（光線情報）は、以下ようになる。

$$f_r^A(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z)=(0, 0, r)}$$

$$f_l^A(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z)=(0, 0, -r)}$$

同様に、 $\theta = 90^\circ$ のユーザBについては、以下の情報が必要になる。

$$f_r^B(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z)=(0, 0, -r)}$$

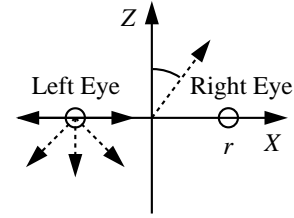
$$f_l^B(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z)=(0, 0, r)}$$

当然、 $f_{r,l}^A$ と $f_{r,l}^B$ は、 $f_{r,l}$ とは異なるものであるから、 $f_{r,l}$ の提示されたスクリーン環境内で、ユーザAとBが自然な立体感を得ることはできない。

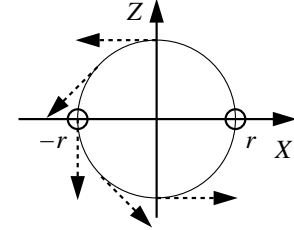
ここで、 $f_{r,l}$ 、 $f_{r,l}^A$ と $f_{r,l}^B$ を統合することにより、全てのユーザが適度な立体感を感じられるステレオ画像を合成することを考える。具体的には、立体視の効果が中心視野付近で最も鋭敏であると仮定して、以下のように左右のステレオ画像を合成する。

$$f_R(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z)=(r \cos \theta, 0, -r \sin \theta)}$$

$$f_L(\theta, \phi) = f(X, Y, Z, \theta, \phi)|_{(X, Y, Z)=(-r \cos \theta, 0, r \sin \theta)}$$



(a) Conventional method



(b) Proposed method

図 6 Ray-based representation of images.

$f_R, f_L$ は、円周 $X^2 + Z^2 = r^2$ に直交する光線の集合になっている（図6(b)参照）。 $f_R, f_L$ が、 $\theta = 0^\circ, -90^\circ, 90^\circ$ において、それぞれ $f_{l,r}, f_{l,r}^A, f_{l,r}^B$ に一致することを確認されたい。

図7に、提案手法によるステレオ表示を、様々な視線方向のユーザが観察した場合に、どのように歪んで認識されるのかを示す。図5と比較すると、歪が効果的に取り除かれていることが確認できる。

#### 4. 実験結果

コンピュータ制御可能な撮像系[5]を用いて合成した、提案手法による広視野角ステレオ画像を図8に示す。これをスクリーンに投影すると、図1における各ユーザは図9のようなステレオ画像を観察することになる。特権ユーザのみならず、他のユーザAやBに対しても、適度な水平方向の視差が与えられているのが分かる。全てのユーザが同時に自然な立体感を感じられることが確認できる。

#### 5. むすび

大型スクリーンシステムにおいて、全てのユーザに対して同時に適度な立体感を与える手法について検討し、実験によりその有効性を示した。今後は、提案手法によるステレオ画像を効率的に撮影する方法について検討する予定である。

#### 参考文献

- [1] C.C.Neira, D.J.Sandin and T.A.DeFanti, "Surround-screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE", Computer Graphics (SIGGRAPH '93 Proceedings), Vol.27, pp.135 - 142 (1993).
- [2] E.Adelson and J.Bergen, "The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision", in M.Landy and J.Movshon, ed., Computer Models of Visual Processing, MIT Press (1991).
- [3] 藤井, "3次元統合画像符号化の基礎検討", 東京大学大学院 工学系研究科電子工学専攻 博士論文 (1994).
- [4] S.E.Chen: "QuickTimeVR - An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation -", SIGGRAPH 95 Conference Proceedings, pp. 29 - 38 (1995).
- [5] 石川, 苗村, 金子, 原島: "光線空間情報取得のための移動単眼撮像システムの開発", 信学ソ大, D-300 (1996).

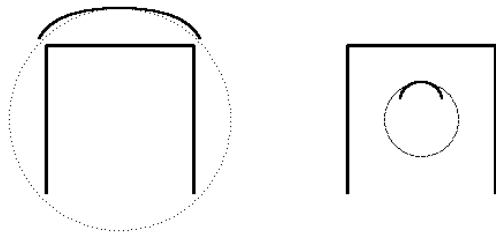


(a) Multi-user immersive left view

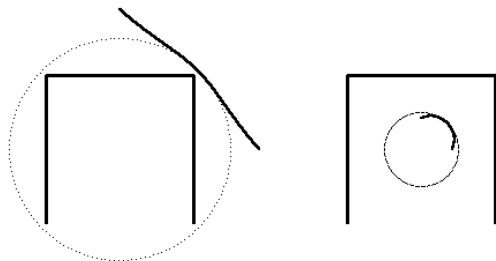


(b) Multi-user immersive right view

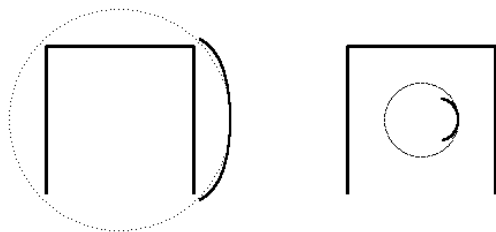
⊗ 8 Multi-user immersive stereo (The horizontal field of view is from  $-90^\circ$  to  $90^\circ$ ).



(a) Viewing direction is  $\theta = 0^\circ$ .



(b) Viewing direction is  $\theta = 45^\circ$ .



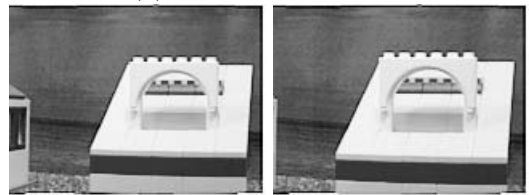
(c) Viewing direction is  $\theta = 90^\circ$ .



(a) User A's view



(b) Privileged user's view



(c) User B's view

⊗ 9 Each user's view (Proposed).

⊗ 7 Distortion of the proposed multi-user immersive stereopairs.