

# 視覚的等価なライトフィールドによるテーブルトップ3D表示

伊達宗和<sup>†</sup> 木全英明<sup>†</sup>

**概要**：机上作業やボードゲーム，球技など俯瞰的に水平面を見るような映像コンテンツを高い臨場感で3D表示するためには，画面を水平に置くテーブルトップ型の表示が有効である．平面上に立っている物体を違和感なく表示するには，両眼視差や運動視差を正しく表示することが重要である．最近提案した，少数の視点映像で眼間距離によらない正確な両眼視差や正確かつめらかな運動視差を提示可能な視覚的に等価なライトフィールド方式をテーブルトップ表示に適用することにより，水平方向の視差については机上に存在する物体の動きを実物に近い状況で提示することができたので報告する．

## Tabletop 3D Display Using Visually Equivalent Light Field

Munekazu DATE<sup>†</sup> Hideaki Kimata<sup>†</sup>

### 1. はじめに

ライトフィールドの再現は現実空間に生じるのとはほぼ同じような光の場を再現することに対応するので，バーチャルリアリティなど仮想的な空間にいることを利用者が矛盾無く体験する必要のある用途では重要となる．ヘッドトラッキングとヘッドマウントディスプレイや2眼式3Dディスプレイの組み合わせは現実解ではあるが，専用の器具の装着や視点映像生成の演算による遅延は，特に実写かつリアルタイムのアプリケーションで課題となる．これらの課題を解決するために，多数の指向性画像を表示可能な装置と，多数のカメラを配列した撮像系の組み合わせが提案されている[1]．しかし，このような直接的な方法だと，撮影や表示の装置が大規模になるほか，映像を伝送する際のデータ量も膨大となる．カメラ数を削減し，中間の視点の映像を画像処理によりリアルタイム生成する試みが行われ，デジタルヒューマンとしてリアルな人物の表示が行われているが [2]，低遅延かつ実時間の処理は簡単ではなく，表示装置は大規模なままである．

そこで我々は，表示のための指向性画像数を減らすことにより，必要カメラ数の削減，画像処理および表示装置の単純化を同時に行うことを目指している．近接する2視点の映像をリニアブレンディングすると，2台のカメラの映像間の視差が十分に小さい場合は中間視点の映像として知覚されることに着目した．この視覚効果は，DFD（奥行き融合型3次元：depth fused 3D）表示の研究で見いだされたものである[3]．DFD表示では，奥行き方向に2層以上積層した画面に表示し，隣接する2画面の映像のリニアブレンディングを見せることにより中間の奥行きを提示する．本論文の方式では隣接する2視点の映像をリニアブレンディングすることで，中間の視点の映像を生成する．

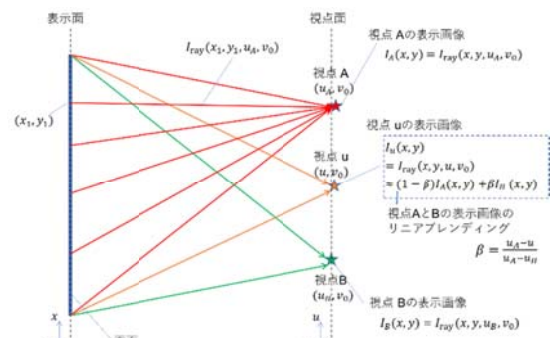


図 1：視覚的に等価なライトフィールドの生成

中間の視点の映像を生成することができると，単にカメラが並ぶ直線上の左右方向だけではなく，前後方向に視点移動した場合の映像を生成することができる[4]．図1は画像の生成方法を4Dライトフィールド[5]の観点から説明したものである．視点A，視点Bに対応する画像が既知であるとする．4Dライトフィールドのレイヤーの1層を表示面（座標 $x, y$ ），もう1層を視点面（1次元のカメラアレイを含む平面，座標 $(u, v)$ ）とすると，光線の輝度 $I_{ray}(x, y, u, v)$ は，視点 $(u, v)$ から見た座標 $(x, y)$ の画素からの光の輝度となる．視点Aと視点Bの中間の視点の映像をリニアブレンディングで生成することができれば，中間の視点についても見かけ上違和感のないライトフィールドを計算し，映像を生成することができる．そして，このライトフィールドの範囲で左右だけではなく前後に視点移動しても視点映像を生成することができる．このライトフィールドは完全に正確ではないが視覚では区別ができないので視覚的に等価なライトフィールド3D(Visually equivalent light field 3D: VELF3D)表示と呼ぶことにした．図の説明では水平視差方向のライトフィールドの再現なので，カメラの上下方向の移動を含めたフルパララックスは実現できないが，カメラを上下左右の二次元アレイに拡張することで

<sup>†</sup> 日本電信電話(株)NTTメディアインテリジェンス研究所  
NTT Media Intelligence Labs, NTT Corp.

対応可能となる。

この方法は、演算が極めて簡単なので、実時間低遅延で高画質な用途に適しており、等身大映像でコミュニケーションするアプリケーションのデモンストレーションに使用した[6]。さらに、本方式を応用して裸眼ディスプレイを実現するため、空間結像アイリス面方式を改良し、隣接した視域（アイリス像）が線形に混合される光学的リニアブレンディングを菱形の絞りを備えた投射レンズと垂直拡散板の組み合わせや、透過率がグラデーションの絞りをを用いることで実現した[7-8]。しかし、プロジェクタの数は従来方式と比べ少ないものの、装置規模は依然として大きかった。投射光学系に起因する画像の歪みが大きく、正確なりニアブレンディングとはなっていなかった。

そこで、画素構造の工夫により液晶ディスプレイとバリアという単純な組み合わせでフラットパネル化を実現すると共に、レンズ系を使用しないことで歪みを排除した、視覚的に等価なライトフィールドフラットパネル3D（VELF3D）ディスプレイを提案した[9]。本稿では、VELF3Dディスプレイの原理とテーブルトップ表示への適用について述べる。

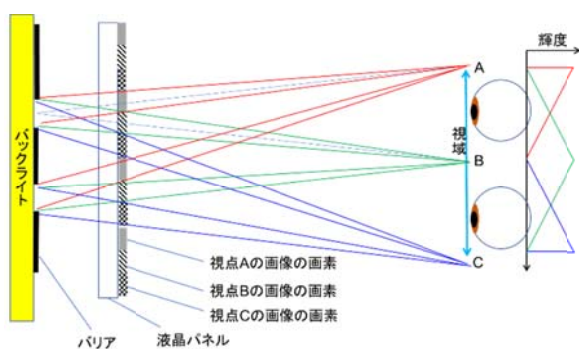


図 2：装置構造

## 2. 装置構造

図 2 は3カ所の視点映像を使用する場合の表示装置の構成を示したものである。バックライトの前面にパララックスバリアを配置し、空隙を空けて液晶パネルが設置されている。パララックスバリアは垂直方向とし、3指向性の場合には画素数の3倍より若干広い周期とし開口率は1/3とする。画面に縦方向のライン・バイ・ラインで3視点の画像を表示すると、それぞれの視点画像だけが見える視点ができる。視点位置が水平方向に移動すると、隣接する視域の画像がバリアの空隙から見えるようになる。この時の混合比は視点の移動量に比例するので、図の右側にグラフ示すように隣接する視域がリニアにブレンドされることになる。この方式では、画素による回折や画素の間隙を除けば原理的に正確なりニアブレンディングとなる。さらにLCDの整然とした画素配置を直接見ることになるので、表示画像はもちろんのこと視点画像間で歪みによるずれが生ずる可能

性もない。すなわち、投写型で生じる問題のすべてを解消することができる。

従来のパララックスバリア方式の3Dディスプレイと構成する部材は同じであるが、従来方式では視点画像の混合を避けるために縦長のサブピクセル配置を使用し、バリアの空隙を細くする点が大きく異なる。

## 3. 8.4 インチ実験機

今回製作した表示装置では、対角8.4インチ800×600画素のTN（捻れネマチック）モードの横長の液晶パネルを、縦長で使用して、5視点画像による表示を行った。図3に示すように縦長の状態でパネルを使用すると三原色のサブピクセルが横長の状態となる。液晶パネル画素ピッチは213.0μmであったので、バリアの空隙を約0.2%広い213.5μmとした。パネルの液晶の表示領域の感覚はおおよそ1mmなので、視点面は画面の約0.5m手前となる。図4は本表示装置で使用したパララックスバリアである。民生用のインクジェットプリンターを使用し乳白色のフィルムに印刷した。

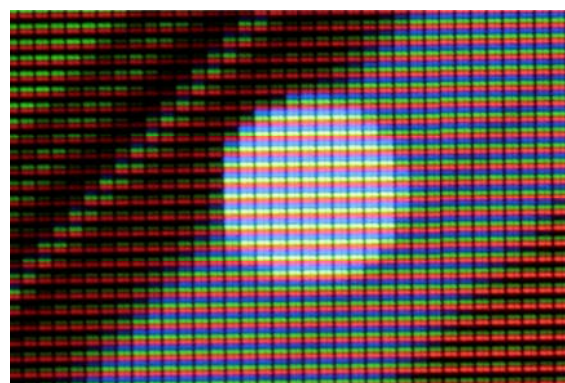


図 3：本表示装置に使用した液晶パネル

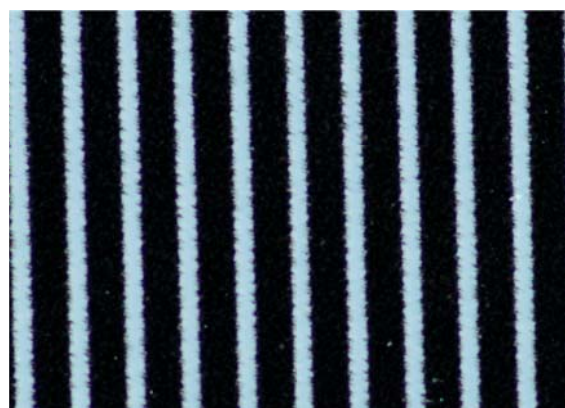


図 4：バリアの拡大写真

図5は両端の視点画像を全面黒色とし、中央の3視点の画像として赤、緑、青として、視点面に相当する画面から約0.5mの位置でカメラを右から左に移動して撮影したもの

である。写真からわかるように、全面の色が概ね均一となり、視点移動に従い色が連続的に変化することを確認することができ、良好にリニアブレンドングできていることがわかる。

図 6 は正面方向から撮影し、視点位置を前後に変化させた場合である。視距離が画面から離れるにつれ、両端付近は緑色の視点以外の画像の混合割合が増加しており、視点に合わせたライトフィールドが生成できていることが確認できる。

図 7 は本表示装置と表示画像を実物体の見え方と対比して示したものである。表示装置の正面を基準に視点位置が左方向に変化したときと、右方向に変化したときの表示画像の見え方を示したものである。左側にある実物体の猿のぬいぐるみは、左側から見ると運動視差により左頬が広く見え、右側から見ると右頬が広がる。表示画像も同様に変化している。頬や足、目鼻の位置関係に着目するか、隣接する写真をステレオ写真として見るとわかりやすい。視点が右に行くと表示画像の輝度が暗くなるが、上下方向の視野角特性が非対称な TN パネルを 90° 回転して使用したため、その非対称が左右の見え方を変えている。しかし、この現象は本質的なものではなく、十分に光学的な補償を行うか、VA、IPS といった広視野角のモードの液晶パネルを使用することで容易に回避できる。

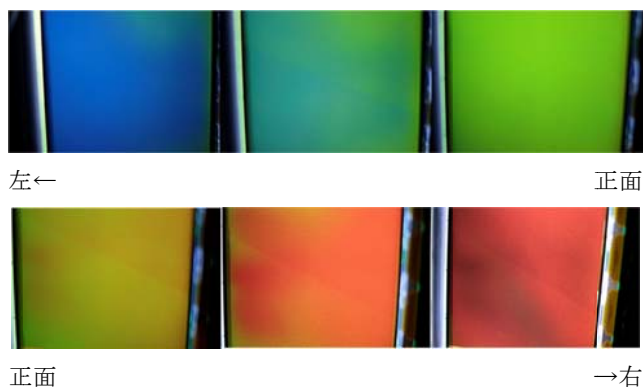


図 5：視点面付近から撮影した表示画面

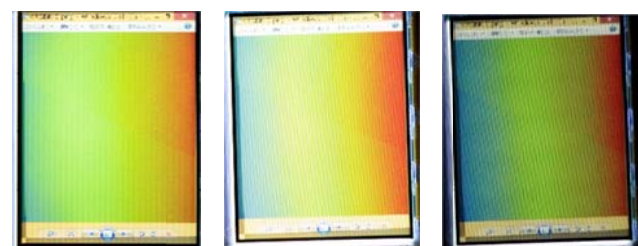


図 6：視点を前後させた写真。左から距離 3 m, 5 m, 7 m。



図 7：被写体と表示画像

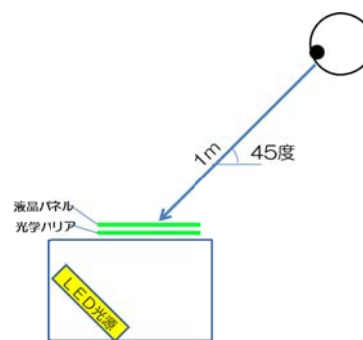


図 8：装置構造

#### 4. テーブルトップ表示への適用

この表示方式は視点画像がリニアブレンドングされることにより表示するので、前章では正面から観察する条件でディスプレイを評価しているが、机上を俯瞰するような条件でも机上に射影した画像をプロジェクションマッピングと同様な考え方で作成・表示すれば、画面を水平にするだけでそのままテーブルトップ表示に原理的には適用可能である。しかし、テーブルトップならではの制約も存在する。

8.4 インチの実験機は解像度がそれほど高くなく、バリアの影響で水平解像度が 1/5 に減少しているため、個人差はあるが 2m 程度距離が必要となる。しかし、図 8 に示したようにテーブルトップ表示では立って見るとしても机上面と目の距離はかなり近い。そこで、対角 15.6 インチの 4K 解像度の高精細な液晶パネル（画素ピッチ 90 $\mu$ m）を使用した。斜めから観察しても視野角の影響でコントラストが低下しないように、液晶パネルのモードは高コントラスト、広視野角な S-IPS とした。画素構造は図 9 示すように RGB のストライプである。光学バリアは高精細画素に対応するためクロムマスクを使用して製作し、示したように輪郭がシャープなストライプ状のマスクを製作することができた。一般のバックライトは正面方向が明るく、ほぼ全方向に光を発するので効率が悪い。そこで、撮影に使用される LED 照明を斜めに設置したものをバックライトとして使用した。バスケットボールの CG 映像を 1/50 および 1/25 スケールで

表示した。リニアブレンディングの制約により、画面からの高さが制限されるので、床を画面より低くなるように画像を生成した。1/50 スケールの場合には床からゴールのボードの上辺までを、1/25 スケールの場合には選手の頭までを表示範囲に収めることができた (図 10)。写真ではわかりにくいですが、ミニチュアではあるがあたかも実際に選手が机上を走り回っているかのように感じられる。

## 5. 他の表示方式との比較

バリアを使用しているため、水平方向の解像度がバリアの開口率に比例して低下するほか、表示輝度も開口率に比例する。しかし、5 視点の視点映像を使用した場合でも輝度は 20%に低下するだけであり、DFD 表示のような液晶パネルの積層に比べると遙かに光利用効率は高い。また、DFD 表示方式と同じ原理を用いているので、本方式も同様に人に優しい見やすい表示となっていると考えられる。2 層の DFD 表示の視域の範囲は、本方式で 2 視点の画像の視域に対応する。従って、5 視点の画像を使用する場合には同じ奥行き範囲であれば水平方向に限るが左右に視域が 4 倍に広がることを意味し、視域を同じとすれば奥行き範囲が 4 倍に拡大することを意味している。また、DFD 表示では前後面に画像を分配するために奥行き情報が必要となるが、本方式では視点画像なので一般のカメラで充分である。さらに、奥行き演算のエラーによる画質劣化をも発生しない。上下視差に対応していないというデメリットはあるが、DFD ディスプレイの長所を継承しつつ使い勝手が向上した方式と考えることができる。

## 6. まとめ

横長のサブピクセル配置とストライプ状のバリアの組み合わせにより、隣接する視域がリニアブレンディングされるフラットパネルディスプレイを実現しテーブルトップ表示に適用した。本方式は従来よりも少ない視点画像数でも連続的な運動視差を表現できるほか、連続的かつ正確な運動視差により立体感が安定し高い実在感が得られていると考えている。今回のディスプレイは水平方向の運動視差のみの表示なので、フルパララックス化が課題である。

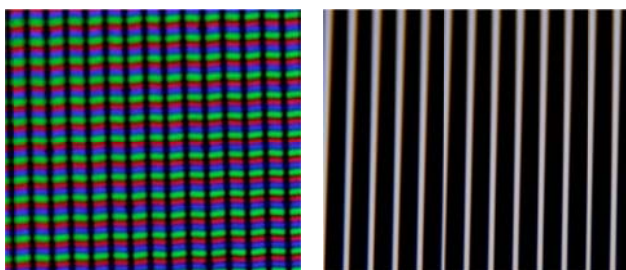


図 9：液晶パネルの画素とバリア



図 10：表示画面(1/25 スケール表示)

- [1] M. Kawakita, S. Gurbuz, S. Iwasawa, R. Lopez-Gulliver, S. Yano, H. Ando, N. Inoue, "3D video capturing for multiprojection type 3D display," Proc. SPIE **8043**, 804311 (2011).
- [2] A. Jones, J. Unger, K. Nagano, J. Busch, X. Yu, H.-Y. Peng, O. Alexander, M. Bolas, P. Debevec, "An Automultiscopic Projector Array for Interactive Digital Humans," SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies (2015).
- [3] S. Suyama, S. Ohtsuka, H. Takada, K. Uehira, S. Sakai, "Apparent 3-D image perceived from luminance-modulated two 2-D images displayed at different depths," Vision Research, **44**, pp.785–793(2004).
- [4] M. Date, H. Takada, A. Kojima, "Real-time viewpoint image synthesis using strips of multi-camera images," Proc. SPIE **9391**, 939109 (2015).
- [5] M. Levoy, P. Hanrahan, "Light Field Rendering," Proc. ACM SIGGRAPH, ACM Press, 31–42 (1996).
- [6] M. Date, H. Takada, Y. Honda, S. Ozawa, S. Mieda, A. Kojima, "Highly Realistic 3D Display System for Space Composition Telecommunication," Journal of display technology, **11**, 121-128 (2015).
- [7] T. Kawakami, M. Date, M. Sasai, H. Takada, "Optical Linear Blending of Viewing Zones Using Convolution of Iris for Smooth Motion Parallax Autostereoscopic 3D Display," Journal of display technology, **12**(2), pp. 143-152 (2016).
- [8] M. Date, T. Kawakami, M. Sasai, H. Takada, "Luminance Profile Control Method Using Gradation Iris for Autostereoscopic 3D Displays," 2015 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) Pacific Rim, 26B3\_6 (2015).
- [9] 伊達, 越智, 木全, 「視覚的に等価なライトフィールド フラットパネル 3D ディスプレイ」, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会予稿集, 1B4-04 (2017).