

時分割表示による粗インテグラル式裸眼立体ディスプレイの偽像抑制

堤 大河[†] 掛谷 英紀[‡]

筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] s2211783@u.tsukuba.ac.jp, [‡] kake@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 本研究では、時分割表示を実装した粗インテグラル表示(CII)を提案する。黒フレームを挿入した4時分割表示のCII、2時分割表示のCII、従来方式のCIIを同一装置で比較し、偽像の明るさを評価した。黒フレームを挿入する手法によって、偽像の輝度を大幅に抑制し、視域幅の広い立体像を提示することが可能になった。

キーワード インテグラルイメージング, 時分割表示, 偽像

Suppression of Pseudo-Images in Coarse Integral Imaging Display Using Time-Division Multiplexing

Taiga TSUTSUMI[†] and Hideki Kakeya[‡]

University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan

E-mail: [†] s2211783@u.tsukuba.ac.jp, [‡] kake@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a system that implements coarse integral imaging (CII) with a time-division multiplexing to suppress pseudo-images. To evaluate the brightness of pseudo-images, we compared a 4-time-division CII with black frame insertion, a 2-time-division CII, and a conventional CII using the same device. The results confirmed that the black frame insertion method significantly suppresses pseudo-image brightness and enables the presentation of a 3D image with a wide viewing zone.

Keyword Integral Imaging, Time-division multiplexing, Pseudo-images

1. 序論

空中像を生成する裸眼立体表示法として、インテグラルイメージングの要素レンズと要素画像を拡大する手法が提案されている[1-6]。なかでも、粗インテグラル表示(CII)と粗インテグラルボリューム表示(CIVI)[7,8]は、像面歪みの補正を行い、高画質の立体像を実現している。これらの方法では、ディスプレイ面の実像や虚像を生成し、それを観察者に観測させるため、レンズ面から大きく離れた位置に自然な立体像を提示することが可能となっている。

しかしながら、従来の粗インテグラルボリューム表示では、隣の要素レンズを通過して生成される像が偽像として周辺に観察されるという問題点があった。この問題は、要素画像を表示するディスプレイパネルの裏側に、光源群とレンズアレイを配置し、偽像を生成する方向の光を抑制することで解決できる[9]。一方、この方法では偽像部分が暗くなるだけで、提示像自体の拡大はできない。

そこで、本論文では粗インテグラル表示において、提示像を拡大表示することも可能にする偽像抑制手法を提案し、その評価を行う。

2. 先行研究

粗インテグラル表示(CII)には、虚像型と実像型、単層型と複層型がある。図1に示す単層の虚像型の粗インテグラル表示では、要素レンズのピッチ幅を拡大したレンズアレイを使用し、レンズによってディスプレイ面の像を形成する。レンズアレイとディスプレイとの位置が要素レンズの焦点距離より短い場合は虚像、長い場合は実像が生成される。そこにインテグラル表示による水平方向および鉛直方向の視差提示を組み合わせることで、ディスプレイ面から離れた位置に立体像を提示することが可能となる。

インテグラルイメージングでは、要素画像の大きさと、レンズアレイのピッチ幅が一致する。図2に示すように、レンズアレイのピッチを p 、ディスプレイパネルとレンズアレイとの間隔を g とすると、インテグラルイメージングにおける視域角 θ は

$$\theta = 2 \tan^{-1} \frac{p}{2g}$$

で与えられる。

先行研究における偽像の除去では、図3に示すように、要素画像を表示するディスプレイパネルの裏側に、

光源群とレンズアレイを配置し、偽像を生成する方向の光を抑制している。しかしながら、この方法は偽像部分を暗くして抑制するだけで、提示像自体の拡大はできない[9]。

従来の CII と CIVI では、視域角が狭く、視域幅が限定されるという問題がある。この問題を解決するために、アイトラッキングを用いて視域を広げる手法が提案されている[10,11]。この手法により、視点追従が可能な範囲で視域が確保されるが、視域幅そのものは拡大されないため、複数人での同時観察には対応できない。複数人が CII を通して像を観察する場合、各観察者の視点は概ね水平となるため、特に水平方向に視域幅を拡大する必要がある。

そこで本論文では、水平方向の視域幅拡大を目的として、ディスプレイパネルに対して 2 種類の描画フレームを用意し、画面が更新されるたびにこれらを切り替える方式、すなわち水平方向に 2 時分割表示を実装した CII を提案する。高速な 2 時分割表示の残像効果により、光学的には水平方向のレンズピッチが 2 倍のレンズアレイとして認識され、結果として視野幅が拡大すると期待される。さらに、偽像を完全に抑制するため、2 時分割表示の各フレーム間に黒フレームを挿入する手法を試みる。

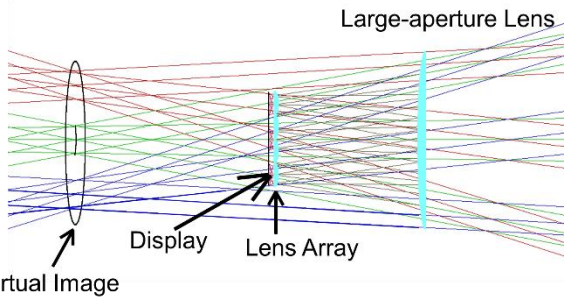


図 1 粗インテグラル表示の原理（虚像型）

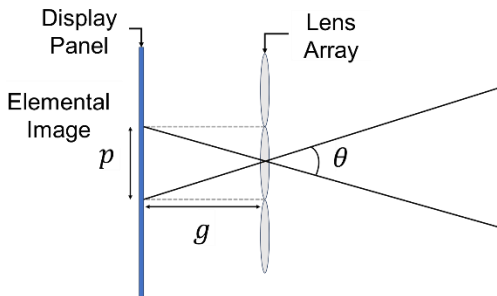


図 2 インテグラルイメージングにおける視域角

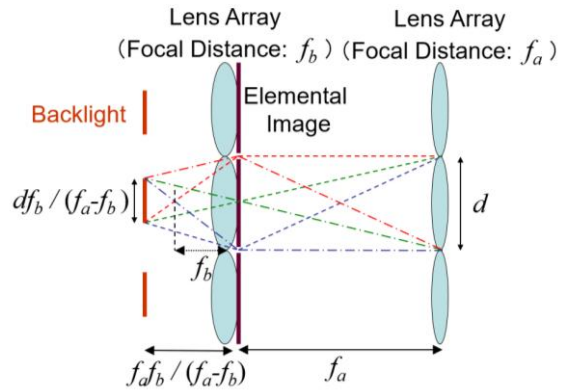


図 3 従来の偽像抑制手法

3.2 時分割表示を実装した CII

従来の CII では視域角 θ が狭いため、視域幅が限定されていた。水平方向に 2 時分割表示をすることで、水平方向の視域角を拡大し、水平方向の視域幅を拡大する。2 時分割表示の原理を図 4 に示す。図 4 左図のように、水平方向に従来の 2 倍に拡大した要素画像を、要素画像の中心に位置する要素レンズから通過させ、マスクを用いて両サイドの要素レンズを塞ぐ。次に、図 4 右図のように、要素画像を通過させた要素レンズの隣のレンズから、要素画像を通過させ、マスクを用いて両サイドの要素レンズを塞ぐ。このとき、要素レンズの中心を要素画像の中心に設定する。図 4 のように、フレーム毎に高速で、要素画像と塞ぐ対象のレンズを切り替える。残像効果により、光学的には水平方向のレンズピッチが $2p$ のレンズアレイとして見なせ、視域幅が水平方向に拡大すると期待される。

このとき生成する要素画像は、水平方向に従来の 2 倍拡大している。すなわち、従来の要素画像の幅を p とすると、2 時分割表示をする際に生成する要素画像は、水平方向の幅が $2p$ 、鉛直方向の幅が p である。よって、要素画像の鉛直方向の視域角 θ は、

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{p}{2g} \right)$$

で与えられる一方、水平方向の視域角 θ' は

$$\theta' = 2 \tan^{-1} \left(\frac{p}{g} \right)$$

となる。

また、2 時分割表示により、CII のフレームレートが半減する。人間の視覚において、画面のちらつきを知覚せずに視聴できるフレームレートの下限はおおよそ 60 Hz である。そのため、2 時分割表示を実装する際、CII に使用するディスプレイとマスクのリフレッシュレートは、120 Hz 以上に設定する必要がある。

従来の CII と 2 時分割表示を実装した CII との視域幅を比較する。従来の CII では、要素画像の大きさとレンズアレイのピッチ幅は等しい。図 5 に示すように、レンズアレイのピッチを p 、ディスプレイパネルとレンズアレイとの間隔を g 、ディスプレイと観察者との距離を L とすると、従来方式を実装した CII の視域幅 W は

$$W = \left(\frac{g+L}{g} - N \right) p$$

で与えられる。ただし、 N は各方向におけるレンズの個数を示している。

提案手法において、水平方向に 2 時分割表示をすることで、水平方向に要素画像の大きさが 2 倍になる。

図 6 に示すように、2 時分割表示を実装した CII の視域幅 W' は

$$W' = \left(\frac{g+2L}{g} - N \right) p$$

で与えられる。

そのため、同様のシステムで水平方向に 2 時分割表示をした場合、水平方向の視域幅は、 $2L/g$ だけ広がる事が分かる。

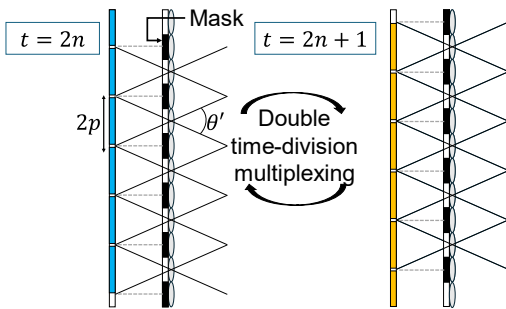


図 4 2 時分割表示の原理

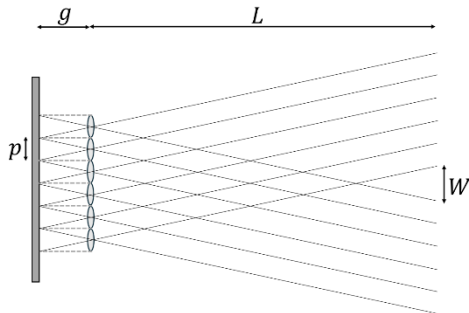


図 5 従来方式を実装した CII の視域幅

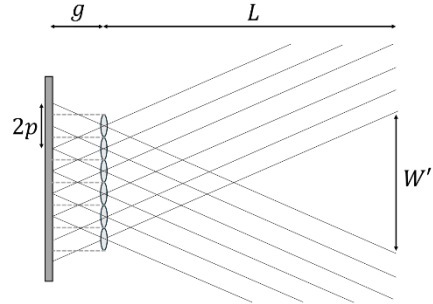


図 6 2 時分割表示した CII の視域幅

4. 黒フレームを挿入した時分割表示の実装

従来の 2 時分割表示では、偽像の一部が残るという問題がある。これは、ディスプレイの応答速度が不十分であり、2 つの連続するフレームの画像が混じるためであると考えられる。そこで図 7 に示すように、2 時分割表示をした際の各フレーム間に、黒フレームを挿入することで、偽像の輝度の抑制を試みる。

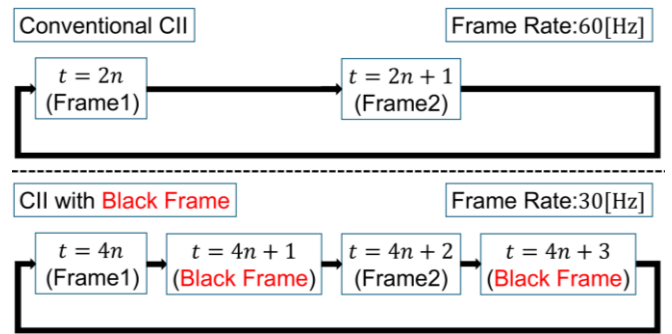


図 7 黒フレームを挿入した時分割表示

5. 評価実験

黒フレームを挿入した 4 時分割表示の CII、2 時分割表示の CII、従来方式の CII を比較するため、各手法で生じた偽像の輝度を評価した。本論文では、時分割表示を実装した CII のシステムを製作し、同一装置で虚像による立体像を提示する。提示する立体像のモデルとして、横幅の広いティーポットを使用し、水平方向の偽像抑制効果を観察する。さらに、マスク部を全て透過させることで、時分割表示を実装していない従来の CII による立体像の提示を実現する。

時分割表示では、要素画像を切り替えとマスクの切り替えを同期する必要がある。これらの同期は、Nvidia Mosaic Technology により、画像表示用とマスク表示用の 2 つのディスプレイを、1 つの画面として認識させることにより実現する。

このシステムでは、ディスプレイパネルとマスクのリフレッシュレートは 120 Hz である。そのため、2 時分割表示を実装した CII で提示される立体像のフレーム

レートは60 Hzとなる。また、黒フレームを挿入した4時分割表示のCIIにおいて、提示される立体像のフレームレートは30 Hzとなる。

2時分割表示を実装していない従来のCIIで観察される像を図8に示す。2時分割表示を実装したCIIで観察される像を図9に示す。黒フレームを挿入したCIIで観察される像を図10に示す。

黒フレームを挿入していない時分割表示の場合、正しい立体像の隣に生じた偽像の輝度が抑制されるが、完全には除去されていない。黒フレームを挿入することで、偽像がほとんど見えない程度にまで抑制されていることが分かる。

一方、このシステムで提示される立体像のフレームレートは30 Hzであるため、像を観察する際に画面のちらつきが感じられる。この問題は、ディスプレイのリフレッシュレートを上げることで解決すると見込まれる。



図8 従来のCIIで提示される立体像

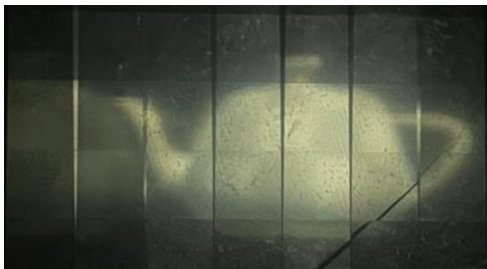


図9 2時分割表示を実装したCIIの観察像



図10 黒フレームを挿入したCIIの観察像

6. まとめ

従来のCIIは、視域角が狭く、視域幅が限定される問題があった。複数人の同時視聴に対応するため、水平方向に2時分割表示を実装することで、視域幅を拡大し、偽像の抑制を試みたが、完全に偽像を除去するには至らなかった。黒フレームを挿入する手法を導入することで、偽像の輝度を大幅に抑制し、視域幅の広い立体像を提示することが可能であると確認された。ディスプレイのリフレッシュレートを上げることによるちらつきの抑制、上下方向への視域拡大などが今後の課題である。

謝辞

本研究はJST CREST (JPMJCR18A2) と日本学術振興会科学研究費補助金 (22H03624) の支援により行われている。

文 献

- [1] S.-W. Min, B. Javidi, and B. Lee, "Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices," *Appl. Opt.* 42(20), 4186–4195 (2003).
- [2] B. Lee, S. Jung, S.-W. Min, and J.-H. Park, "Three-dimensional display by use of integral photography with dynamically variable image planes," *Opt. Lett.* 26(19), 1481–1482 (2001).
- [3] J.-H. Park, S. Jung, H. Choi, and B. Lee, "Integral imaging with multiple image planes using a uniaxial crystal plate," *Opt. Express* 11(16), 1862–1875 (2003).
- [4] S.-W. Min, B. Javidi, and B. Lee, "Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices," *Appl. Opt.* 42(20), 4186–4195 (2003).
- [5] Y. Kim, J.-H. Park, H. Choi, J. Kim, S.-W. Cho, and B. Lee, "Depth-enhanced three-dimensional integral imaging by use of multilayered display devices," *Appl. Opt.* 45(18), 4334–4343 (2006).
- [6] Y. Kim, H. Choi, J. Kim, S.-W. Cho, Y. Kim, G. Park, and B. Lee, "Depth-enhanced integral imaging display system with electrically variable image planes using polymer-dispersed liquid-crystal layers," *Appl. Opt.* 46(18), 3766–3773 (2007).
- [7] H. Kakeya, "Coarse integral imaging and its applications," *Proc. SPIE* 6803, 680317 (2008).
- [8] H. Kakeya, "Improving image quality of coarse integral volumetric display," *Proc. SPIE* 7237, 723726 (2009).
- [9] H. Kakeya and T. Kurokawa, "Energy-efficient integral imaging with suppression of pseudo images," *Opt. Letters*, 30(7), pp. 3227–3229, 2013.
- [10] G. Park, J. H. Jung, K. Hong, Y. Kim, Y. H. Kim, S. W. Min, and B. Lee, "Multi-viewer tracking integral imaging system and its viewing zone analysis," *Opt. Express* 17(20), pp. 17895–17908 (2009).
- [11] H. Omori and H. Kakeya, "Viewing Zone Enhancement of Coarse Integral Imaging Using Eye Tracking," *SID Digest of Technical Papers*, 55, pp. 965–968 (2024).