

円偏光方式の立体ディスプレイを用いた鏡に実像と異なる鏡像を表示する手法の提案

野口拓馬^{†1} 武井亮^{†1} 日暮拓海^{†1} 福地健太郎^{†1}

概要：鏡に映る映像と実像とで異なる像を提示することで驚きを演出する方法は数多く提案されている。本研究では円偏光フィルタを貼り付けた鏡と三次元ディスプレイを用いることで、実物のディスプレイ上と鏡像のディスプレイ上で異なるものを表示させる手法を提案した。そして鏡像は白黒画像、実像はカラー画像を提示するもの、鏡像では潜像、実像では顕像を提示するものの2つを実装しその有効性を検討した。結果、視野角や提示映像の制約はあるものの、鏡像と実像で異なるものを提示出来た。

1. はじめに

鏡に映った像は一般に実像の奥行きを反転させた鏡像であり、両者の間に差異がないのが普通である。そのため、実像と大きく異なる鏡像を映すことで見る者の直感を裏切り不思議さを演出することができるため、これを狙った手法が多く提案されている。

加えて、鏡に映るものをディスプレイにした上で、表示された像と鏡の中に映るその鏡像とで、表示された映像を異ならせると、その不思議さにさらに時間変化を与えることができ、例えば物語性のあるコンテンツを提示したり、インタラクティブ性を持たせたりといった演出が手軽にできるという利点がある。

今回我々はディスプレイとして円偏光方式による立体ディスプレイを用いた、実像と鏡像との間で異なる映像を表示する手法を提案する。具体的には、鏡に円偏光フィルタを貼り付け、鏡には片眼用の映像のみ映るようにし、実像では両眼用の映像が混ざった状態で視認されるようにすることで、鏡像に異なる映像を表示させるというものである(図1)。

このとき実像側のディスプレイに表示される映像は両眼用の映像が混ざったものになるため、鏡像側に表示させる映像が実像側では見えなくなるように実像側の映像を工夫する必要がある。

本報告ではその手法として、両者の映像の輝度成分に差がなく、彩度のみを異ならせることで実像側のみカラー画像として見えるという簡便な手法と、両者ともモノトーン映像に限定されるが、両眼用の映像がそれぞれ互いの輝度成分を打ち消すように調整することで鏡像側映像を潜像させ、その上で実像側映像をそこに重ねて顕像を作る手法の、2種類の手法について報告する。

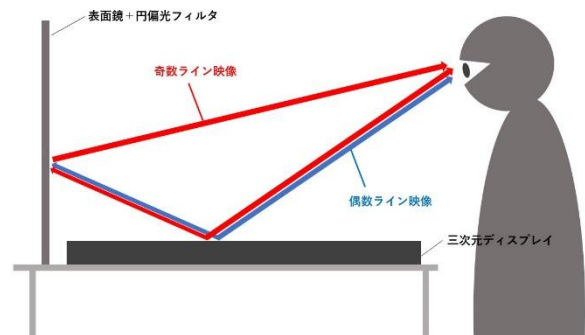


図1 原理説明図。ディスプレイ映像の実像は両眼用の映像が混合された状態で視認されるのに対し、鏡像は片眼用の映像のみが視認されることとなる。

2. 関連研究

ある映像に別の映像を隠した上で、後で隠蔽映像の復元を可能とする潜像技術はこれまで様々な手法が提案されている。

宇津木らは、偏光方式の立体映像プロジェクタを用いた潜像技術を提案している[1]。同手法では隠蔽映像を見るためには片眼用の映像のみ通過させる方向に偏光した円偏光フィルタを両眼に使用した眼鏡を着用する必要がある。裸眼で視認される映像は両眼用の映像が混ざったものであり、隠蔽映像を打ち消す差分映像と顕像とを重ねた映像をもう片眼用の映像として生成することで、裸眼では顕像のみが視認されるようにしており、これは本研究での手法と共通する。

櫻井らは、テーブルに映し出された水面の映像にさらに水中の映像を隠蔽し、偏光板付き眼鏡を装着することによって水中の映像を見る、Mysterious PONDを発表している[2]。潜像処理には、強度の視覚刺激を受けていると弱い視覚刺激が知覚されにくいという、ウェーバーの法則を応用している。櫻井らは水中の映像の輝度を水面の映像の輝度に対して低く設定することで隠蔽処理を行っている。偏光板付き眼鏡はこの水面の映像を遮蔽し、水中映像のみ通過



図 2 システム外観写真

させるため、水中の映像を視認できるようになる。

実像と鏡像とで異なるものを表示させる手法としては、杉原は、見る方向にとって全く異なる形状に見える立体図形を作成している[3]。これは不可能立体研究を応用したもので、円筒形の断面を視認すると人間はそれを平面によって切断された断面だと認識しやすく、曲面による切断だと気づきにくい傾向があることを利用している。形状への制約が強く、また動きのあるコンテンツの提示には向いていないが、実像と鏡像との間で大きな差異を作り出すことができ、鏡に映るものは実像と変わらない、という日常的直感を強く裏切るものである。

3. 提案手法

3.1 概要

提案手法では、ディスプレイ映像の実像とその鏡像とを同時に体験者には見てもらい、その差異に驚いてもらうことを狙っている。そのため、両者が同時に視界に入っで見比べやすくなるよう、ディスプレイは地面と平行に設置し、そこに直交させる形で鏡面を設置するようにした(図 2)。

ディスプレイには円偏光式の立体液晶ディスプレイ(東芝 REGZA 32ZP2)を用い、高さ 90cm のテーブル上に設置した。同種の立体ディスプレイでは一般に、ディスプレイに対してやや上方から見やすくなるよう調整されており、反対に下方からの視認性は悪化する傾向がある。このディスプレイを机上に設置した場合、手前にディスプレイ下側が、奥にディスプレイ上側が来るように設置してしまうと実像の視認性が悪化し、逆向きに設置すると反対に鏡像側の視認性が悪化してしまう。そのためディスプレイは上記の設置方向から 90 度回転させ、本来の左右方向から実像と鏡像とを見るようにしている。こうすることで、視認性の極端な悪化は防いでいる。

偏光方式の立体ディスプレイは右眼用と左眼用の 2 種の映像を一度に表示するようになっている。一般には画面を

水平に走る各走査線に対し、奇数本目には右眼用映像を、偶数本目には左眼用を、というように両眼用の映像を交互に織り込んで表示するようになっている。ここで、奇数本目と偶数本目で偏光の向き異なるフィルタを通過させ、右眼用映像と左眼用映像とで偏光の向きを異ならせる。これを見る側では、左眼には左眼用映像のみ通過させる偏光フィルタを、反対側にはその逆の向きのフィルタを設けた専用眼鏡を装着することで、それぞれの映像を分離した状態で像を視認することができる。偏光方式には直線偏光方式と円偏光方式の 2 種が広く用いられており、円偏光方式は見る側の頭の傾きに対して頑健であるという利点がある。

このディスプレイの一方の端に、ディスプレイ平面と直交するように表面鏡を設置し、その表面に円偏光フィルタを貼り付けた。円偏光フィルタによってまず片眼用の映像のみ通過して表面鏡によって反射される。反射光は再び円偏光フィルタを逆向きに通過して体験者に視認される。表面鏡を使用した理由は、裏面鏡を使用すると、その表面での反射によって鏡像が多重に見えてしまうためである。なお、提案手法においても円偏光フィルタ表面での反射のために鏡像が多重に見えてしまう問題がある。

以上の仕組みで、ディスプレイ映像の実像は両眼用の映像が混合された状態で、鏡像は片眼用の映像のみが、それぞれ視認されることとなる(図 1)。ここで注意すべきは、実像として提示される映像は鏡像側の映像が混合されたものとなるため、実像と鏡像との間に差異を持たせるためには、何らかの形で鏡像側映像を実像側で目立たなくすることが求められる。

本研究ではこれまでに 2 種類の手法を試みている。次節以降でこれを説明する。

3.2 実像にカラー映像を、鏡像に白黒映像を表示

最初に紹介するのは、実像側映像のうち輝度成分のみを鏡像側映像として提示するというものである。結果を図 5 に示す。実像と鏡像とで視認される映像間で被写体は共通しているため大きな驚きは生みにくいが、白黒写真がもつ独特の映像効果を提供できる。

本手法では図 3 に示すように提示映像の輝度成分のみ抽出した画像を用意し、これを鏡像側用映像として用いる。実像側にのみ見える映像としては元映像をそのまま利用した。従って実像側映像としては彩度が低下したものが視認される(図 4)。



図 3 左：元画像 右：輝度成分画像



図 4 混合結果

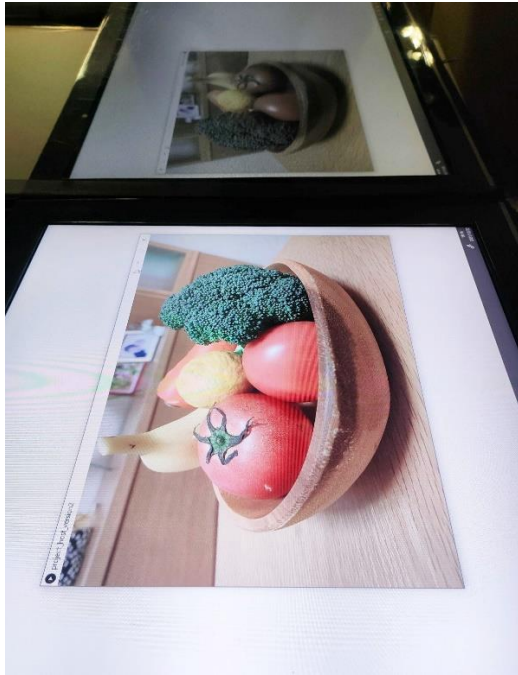


図 5 処理結果

鏡像として視認されるのは、原理的には純粋な白黒映像となるはずだが、試作したシステムでは鏡像側でもやや色のついた映像が視認された。これは円偏光フィルタが片眼用の映像を完全に遮断できないことに加え、フィルタ表面の反射光が片眼用映像を反射してしまうことによって起きている。

これを解消するために、実像側のみ見えるカラー画像からさらに色成分を間引くという手法の試験を我々は進めている。これは、Øyvind Kolås らによって報告された、白黒画像の一部を彩色することで画像全体がカラー画像のように見えるという錯視現象[4]を応用したもので、カラー画像の側でさらに 1:2~1:4 の比率でカラー成分を残し、後は輝度成分のみを表示する。左記錯視効果によりカラー成分の比率が低下しても実像側映像はカラー映像として視認される。しかしながらやはり彩度の低下は隠しようもなく、本質的な解決とは言い難い。

3.3 輝度の平均化による潜像手法を応用し、鏡像側に潜像を、実像側に顕像を表示

次に紹介するのは実像側と鏡像側とで輪郭の異なる映像を提示することができるものである。ただし提示映像はモ

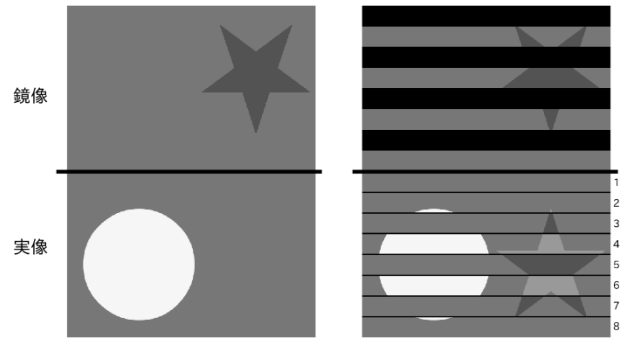


図 6 潜像の原理の模式図. 左図が体験者に見せたい映像で、右図がそれを提案システム上で見せるために生成された映像.

ノートンに制約される。

原理は宇津木らの手法[1]と共通する。すなわち、まず潜像と対になる映像として、ガンマ調整を施した上で輝度を逆にした像を生成する。これらをそのまま各眼用映像としてディスプレイ映像として表示するとそれらが打ち消しあい、中間輝度の映像として視認される。

その上でさらに両映像それぞれに対し、実像側に映したい映像（顕像）の輝度成分を加算し、最後に輝度を半分にして出力可能範囲に調整する。

同手順を、図 6 を用いて説明する。左図が体験者に見せたい映像で、ディスプレイ実像で提示される図が下側、鏡像で提示される図が上側に描かれている。これを提案システム上で見せるために生成された映像が右図である。ディスプレイ側は 8 本の帯に区切られているがこれが走査線を表しており、奇数本目の走査線の映像のみが偏光フィルタを通過して反射光が見えている様子を表している。

このとき、ディスプレイ側実像側において見せたいが鏡像側では見せたくない部分（右図中では白丸で示された部分が該当）については、偶数本目の走査線では図を表示しないようにする。反対に鏡像側でのみ見せたく実像側では見えないようにしたい部分（右図中では星形の部分が該当）については、実像側で偶数本目の走査線では輝度を反転させて図を描画する。これにより、顕像としては両走査線の映像が混合して視認され、背景と区別がつきにくくなる。一方で鏡には奇数本目の走査線のみ映るため、結果として星形が見えることとなる。

上記手法を用いた作例を図7に示す。元図は図8に示した白黒の2値画像である。写真手前側が実像側であり、一見すると潜像が埋め込まれているようには見えない。



図7 3.3節の手法による作例



図8 図7の元画像

4. 結論

本研究では円偏光フィルムを貼り付けた鏡と立体ディスプレイを用いて、実像と鏡像とで異なる映像を表示できる装置を構築し、またそのための映像生成手法を2種類提案した。ハードウェア面の課題としては鏡像側に実像側の映像が映りこんでしまい、隠蔽したい映像が見えてしまうという問題が明らかになった。ソフトウェア面の課題としては、映像を提示できるという利点を活かしたコンテンツの作成が挙げられる。

参考文献

- [1] 宇津木健, 長野光希, 谷中一寿, 白井暁彦, 山口雅浩: 多重化映像表示における隠蔽映像生成アルゴリズム, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.15(2010.9)
- [2] 櫻井智史, 浅井和広, 北村喜文: Mysterious POND, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.1, pp.75-81(2010)
- [3] Kokichi Sugihara: Ambiguous Cylinders: A New Class of Solid That Evokes Anomalous Perception, Journal of Vision, September 2015, Vol.15, 730.
- [4] Øyvind Kolås, "Color Assimilation Grid Illusion", September 2019, <https://www.patreon.com/posts/color-grid-28734535>, (最終閲覧 2021-12-19)