

Light and Find: 外部光の照射時のみ視認可能な不可視領域を設定できるディスプレイ

岩田基暉^{†1} 橋本直^{†1}

本研究では、再帰反射を応用した新しい不可視ディスプレイを提案する。提案手法では、映像中の任意の領域を任意のタイミングで可視化し、外部から懐中電灯やフラッシュなどの強い光を照射したときにだけ、その領域内の情報を可視化できる。従来法と比べ、外部光源を持たない観察者にも視認できる映像を提示しつつ、その中に外部光源を持つ観察者にしか視認できない領域を部分的に設定できる点に特徴がある。本稿では提案するディスプレイの原理について説明し、専用コンテンツの例を示す。

1. はじめに

外部から強力な光を照射することで、再帰反射の原理によってそこに隠された文字や図柄が視認可能になる情報提示媒体がある。例えば、下地と同色の再帰性反射塗料で図柄がプリントされた衣服は、通常の状態では図柄は視認されにくいですが、フラッシュをたいてカメラで撮影することで、写真上で図柄が発光している様子を確認できる。このような再帰反射を利用した視覚トリックはアートやマジック、サイネージやアトラクションなどの分野で広く活用されている。

これまでの研究で我々は、この原理をコンピュータディスプレイに応用したものととして「Magic Light Display」[1]を提案した。この手法では、液晶ディスプレイのバックライト部分を再帰性反射材に置き換えることで、外部光源（懐中電灯）を持つ観察者にだけ隠された映像が視認できるという効果を実現した。また、複数の映像を時分割で提示し、それに同期して複数の外部光源の点滅を制御することで、異なる外部光源を持つ観察者間でそれぞれ異なる映像を提示できるという効果も併せて実現した。この手法では、ディスプレイに外部光を照射していないときは黒画面として視認されるため、通常状態では外観上は「電源の入っていないディスプレイ」に見えてしまう。このため、外部光源を持たない観察者は、他の観察者が光を照射して表示された内容に驚いている様子を見てもその意味がわからず、一緒に楽しめないという状況が起こり得る。また、外部光源を持つ観察者においても、ディスプレイに対して光を照射するという行為を誘発するには、事前説明やコンテンツ設計上の工夫が必要になる。

そこで本研究では、この問題を解決した新しい手法「Light and Find」を提案する。提案手法の概要を図1に示す。提案手法では、外部光の照射の有無にかかわらず常時映像の内容を視認できる領域（可視領域）と、通常では黒塗りに見えるが、外部光の照射時のみ視認可能な領域（不可視領域）の両方を同一画面上にインタラクティブに設定することができる。同図の例では、外部光源を持たない観

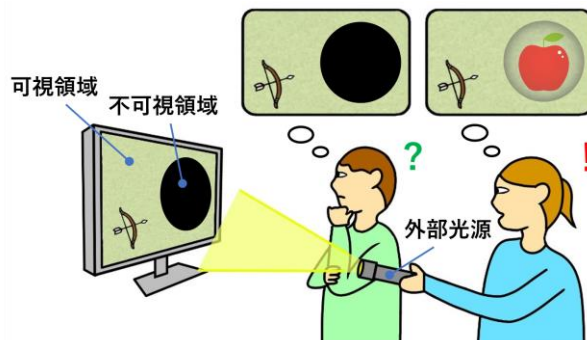


図1 提案手法: 外部光源を持たない観察者には不可視領域は黒塗りに見えるが、外部光源を持つ観察者には不可視領域内にある映像が視認できる。

察者からは画面上には弓矢と黒塗りの円が表示されているように見えるが、外部光源を持っている観察者からは弓矢に加え、不可視領域の中にリングが表示されているように見える。可視領域と不可視領域の両方が提示できることで、光を当てたら何が見えるようになるのかということに関してある程度予想ができるコンテンツ表現が可能となり、外部光源を持たない観察者にとっても意味のわかるコンテンツとなることが期待できる。また、外部光源を持つ観察者においても、特定の場所を狙って照らすという能動的な行動を誘発することができ、ゲームのようなインタラクティブコンテンツへの応用が期待できる。

本稿では、提案するディスプレイの原理と実装について説明した後、専用コンテンツの例を紹介する。

2. 関連研究

現実の環境中に文字や図柄を隠し、専用の道具によってそれを可視化する手法にはさまざまなアプローチがあるが、ここでは懐中電灯やフラッシュのような外部光の照射によって可視化を行うものにフォーカスして説明する。具体的には、紫外線を用いる方法、再帰反射を用いる方法、光センシングを用いる方法に分類できる。

^{†1} 明治大学
Meiji University

ブラックライトを照射することで隠された文字や絵が発光して見えるようになる仕掛けがあり、これには無色の蛍光物質を成分とする不可視インクが使用されている。不可視インクは玩具や空間演出、テーマパークの再入場スタンプ、紙幣の偽造防止、トレーサビリティ管理などの目的で活用されている。

マジックのトリックにおいて再帰反射を原理とするものがある。フィドラーが考案したマジックでは、カード当て役の観客が顔の近くに光源を置いた状態でカード群を観察すると、カードに仕込まれた再帰性反射材が光って見え、他の観客が選んだカードを当てることができる[2]。また、檜垣は、フラッシュをたかずに撮影した際には真っ黒に写り、フラッシュをたきながら撮影した際には隠された図柄を写し出すことができる手品用具を考案している[3]。この器具は、黒色の再帰性反射材の表面に透光性の印刷層があり、さらにその上に減光シートを配置した構造になっている。前述した我々の手法[1]は、この原理をコンピュータディスプレイに応用したものであり、加えて時分割提示による映像の多重化も行っている。コンピュータディスプレイにおいて外部光による映像の可視化を行う手法として、Koizumi らの受動型空中像ディスプレイがある[4]。このディスプレイでは、反射型ディスプレイと AIP (Aerial Imaging Plate) の組み合わせによって、何もない空間を懐中電灯で照らした際に空中像が現れることを実現している。再帰反射を原理とする手法では、光源の照射方向と同方向から観察している者からは隠された視覚情報を視認しやすく、それ以外の観察方向からは視認されにくいという特徴がある。この特徴は、複数人での観察時に見える人と見えない人を同時に作り出すことを可能とし、エンタテインメントコンテンツにおいて不思議さや驚きを演出することに寄与する。

ここまでで紹介した手法はいずれも受動的に光学現象が発生する仕組みだが、これとは別なアプローチとして光センシングによる方法がある。Bismarck はフラッシュ撮影をトリガーとして、被写体方向に画像を瞬間的に投影することで写真に任意の画像を写りこませるシステムを開発している[5]。このような手法ではセンシングと画像提示の処理を高速に行う必要があるが、受動的に光学現象が発生する手法では処理が不要であり、光速で応答するという点に優位性がある。

本研究で提案する手法は、再帰反射を原理とする手法を発展させたものであり、光源を持つ観察者にだけ隠された視覚情報が見えるようになるという特徴を継承しつつ、不可視領域の位置・形状・提示タイミングをインタラクティブに変更できるという新しい特徴を有している。

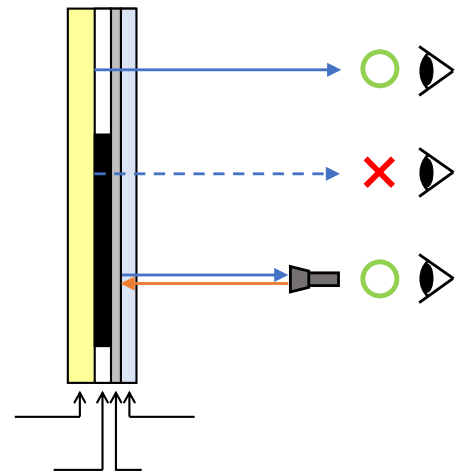


図2 提案ディスプレイの構造と原理: (a) 液晶パネル B が白画素のとき、(b) 液晶パネル B が黒画素のとき、(c) 外部から光を照射したとき。

3. 提案手法

3.1 システムの概要

提案するディスプレイの構造と原理を図 2 に示す。本ディスプレイは、2 枚の液晶パネル（それぞれ液晶パネル A、液晶パネル B とする）、半透明の再帰性反射材、バックライトモジュールを重ねた構成になっている。

液晶パネル A は鑑賞者に提示すべきカラー画像を表示する役割を担い、液晶パネル B はバックライトからの光を液晶パネル A に通過させるか否かを決定するマスク画像（白黒画像）を表示する役割を担っている。半透明の再帰性反射材は、バックライト側からやってくる光を前方に通過させつつ、ディスプレイ前面から入射した光を再帰反射する役割を担っている。

動作原理について説明する。液晶パネル A にはコンテンツ内容を示すカラー画像が提示されている。このとき、液晶パネル B が白画素であれば、バックライトの光が前方に通過し、同じ位置の液晶パネル A の映像が視認される（図 2(a)）。また、液晶パネル B が黒画素であれば、バックライトの光は通過せず、同じ位置の液晶パネル A の映像は黒塗りになる（同図(b)）。ディスプレイ前面から強力な光を照射した際は、入射光が半透明の再帰性反射材において再帰反射を起こし、液晶パネル B が黒画素であっても、同じ位置の液晶パネル A の映像が視認できるようになる（同図(c)）。再帰反射の性質により、外部光源を持っている観察者と持っていない観察者が同時にいる状況において、前者には不可視領域内の映像が見えて、後者には見えないという状態を作り出すことができる。

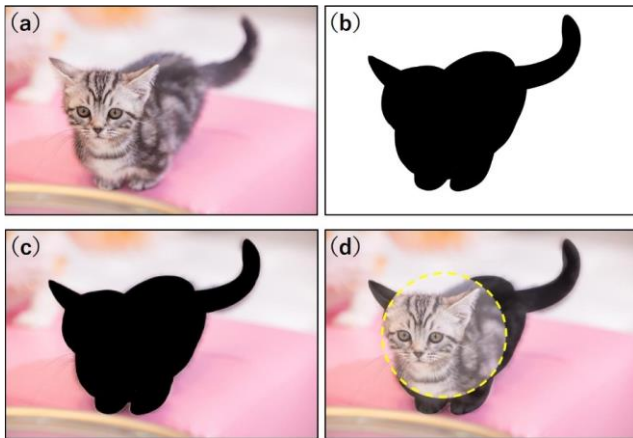


図3 出力映像と観察者から見た映像の例: (a) 液晶パネル A への出力映像, (b) 液晶パネル B への出力映像, (c) 外部光源を持たない観察者から見た映像, (d) 外部光源を持つ観察者から見た映像 (点線枠内が外部光の照射領域).

2 枚の液晶パネルにそれぞれ出力する映像と観察者から見た映像の例を図 3 に示す. 不可視領域の位置・形状・提示タイミングはマスク画像によって決定される仕組みのため, あらかじめ動画として記録しておくことや, プログラムによってインタラクティブに変更することが可能である.

提案手法では, 液晶パネル B によるバックライトのマスクキングによって可視領域と不可視領域が決定されている. すなわち, 本質的には画素単位でのバックライト制御ができることが要件であり, 原理上は, 液晶パネル B とバックライトモジュールの部分を有機 EL ディスプレイのような自発光のピクセルディスプレイで置き換え可能である.

3.2 プロトタイプの実装

開発したプロトタイプについて説明する. 2 枚の液晶パネルとバックライトモジュールには Dell Technologies 社製 E1715S (17 インチ, 解像度 1280×1024, リフレッシュレート 60Hz) を使用した. 半透明の再帰性反射材にはユニカスパーライト社製 MT3501FC を, 外部光源には市販の LED 懐中電灯 (AESTIQUO 社製) を使用した. 2 枚の液晶パネルを同方向で重ねると, 液晶パネルに貼られている偏光板の性質によって画面が黒くなってしまうため, 一方の液晶パネルを 90 度回転させた状態で固定した.

PC 上で動作する映像提示プログラムを Processing 4.3 を用いて開発した. このプログラムは 2 画面表示を行うものとなっており, 一方には観察者に提示したい画像を表示し, もう一方には白黒で構成されるマスク画像を表示する. 図 4 に実際の動作の様子を示す. この例では, 画面上にシルエットと背景が表示されており, 外部光を照射するとシルエットに隠れていた猫が見えるようになる.



図4 プロトタイプの動作の様子: (上) 外部光を照射していないとき, (下) 外部光を照射しているとき.

4. コンテンツ例

本ディスプレイでは, 外部光源を持つ観察者にのみ新たな情報を与えることができ, この特性は複数人で遊べるゲームコンテンツにおいて活用できる. 本ディスプレイを用いて実現できるゲームコンテンツ例を 2 種類紹介する.

4.1 クイズゲーム

クイズの問題とヒントを画面に表示し, ヒント部分を不可視領域とすることで, 光を照射した観察者にのみヒントが与えられるクイズゲームを構成することができる. 図 5 にクイズの例を示す. この例では, 画面上に問題文とその問題の答えとなる人物のシルエットが表示されている. ここでディスプレイに外部光を照射することで, その観察者にはシルエットが外れて見え, 正体がベーターヴェンであったとわかるようになる. これにより, 問題文の答えがわからなくとも, 肖像画を知っていれば答えを導くことができるようになる. この他にもクイズのバリエーションとして, 外部光を照射した観察者にのみ隠れていた問題文の一部が見えるようになる虫食いクイズや, 外部光を照射することで答えを導く手がかりが現れる謎解きクイズなどが考えられる.



図5 クイズゲーム: (左) 外部光源を持たない観察者から見た映像, (右) 外部光源を持つ観察者から見た映像。

4.2 協力型アクションゲーム

ゲーム内キャラクターの操作を行うプレイヤーAと、懐中電灯を使ってサポートを行うプレイヤーBに分かれ、協力してクリアを目指すアクションゲームを構成することができる。2人プレイの協力型シューティングゲームの例を図6に示す。この例では、プレイヤーAはコントローラで銃の操作を行い、敵モンスターを撃破する役割を担う。しかし、敵モンスターはステージ内の暗がりには隠れているため、照準を合わせなければ視認できない。そこで、協力者であるプレイヤーBはコントローラを持たない代わりに懐中電灯を持ち、暗がりには隠れている敵モンスターを見つけ、プレイヤーAに教える役割を担う。このゲームでは、同じ画面を共有しているのにプレイヤー間で異なる情報が与えられることで、認識の相違が生じ、協力が必要となるところに面白みがある。

5. おわりに

本研究では、再帰反射の原理を応用し、光源を持つ観察者にのみ情報が可視化される不可視領域を任意に設定することのできるディスプレイを提案し、プロトタイプを開発した。また、ディスプレイを用いることで提供できる専用のコンテンツ例を紹介した。

今後は、視認性の評価を行うとともに、紹介したコンテンツを実際に実装し、その体験評価を行う予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24K15253 の助成を受けたものです。

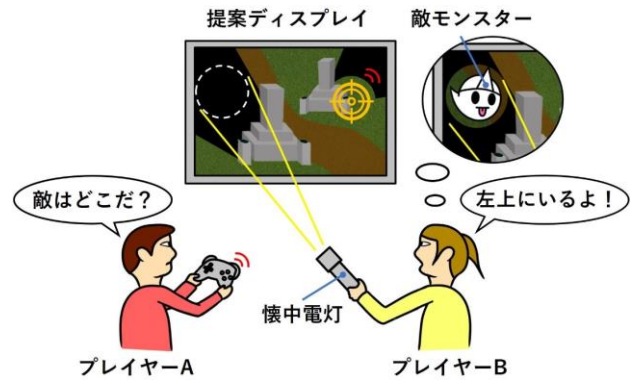


図6 協力型シューティングゲーム

参考文献

- 1) 橋本直: Magic Light Display: 再帰性反射と点滅光源による映像の隠蔽と多重化, 情報処理学会インタラクション 2023 論文集, pp.337-339 (2023).
- 2) ルーバー・フィドラー (発明), 株式会社テンヨー (出願): 手品用具, 特開 2013-000194 号 (2013).
- 3) 檜垣聡: 図柄表示媒体, 特開 2017-111334 号 (2017)..
- 4) Koizumi, N. and Naemura, T.: Passive Mid-air Display: Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, pp. 1-6 (2016).
- 5) Bismarck, J. V: Image Fulgurator (2008), <https://juliusvonbismarck.com/bank/index.php/projects/image-fulgurator/2> (参照 2024-7-17).