

赤外光源と偏光板を利用した 不可視影の生成に関する基礎検討

東納 ひかり^{1,a)} 阪口 紗季^{2,b)} 松下 光範^{1,c)}

概要: 本研究の目的は、実物体に情報を埋め込んで秘匿化し、状況に応じて取り出すための新しい手法の提案である。提案手法では、オブジェクトをライトにかざすことで内包された情報が影として視覚化される。さらにオブジェクトを回転させることで複数の情報を選択的に取得することができる。これは偏光板と1/2波長板の性質を利用し、光の透過/遮蔽の制御を行うことで実現させる。これにより、物理的な実物体に対して予め埋め込まれた情報を特定の行為によって視覚化するという、従来から用いられてきた方法を、その制約の利点を生かしつつ緩和することを目指す。

Basic Study on Creating Invisible Shadow by Using Infrared Lights and Polarizers

TONO HIKARI^{1,a)} SAKAGUCHI SAKI^{2,b)} MATSUSHITA MITSUNORI^{1,c)}

Abstract: The goal of our research is to conceal information in a real object. To achieve this, this paper proposes a method for generating invisible shadow by using infrared lights and polarizing plates in combination. This system has infrared lights of multiple wavelengths on which a piece of polarizing plate is attached, and an object which includes two pieces of 1/2 wavelength board. A user can change shape of a shadow by rotating the object and can control the state of visible/invisible of the shadow by changing the wavelength of the infrared light.

1. はじめに

古来より、物理的な実体に対して予め情報を埋め込んでおき、特定の行為を行うことによって埋め込まれた情報を視覚化する方法が考案されている。例えば、あぶり出しでは柑橘類の果汁を使って文字や絵などの図柄を紙に書く。果汁が乾燥すると描いた図柄は視認できなくなるが、紙を火で炙ることにより果汁で描いた部分に色が徐々に浮かび上がり、隠された図柄を見ることができるようになる。また、紙幣には偽造防止のために透かし模様が埋め込まれており、光にかざすことによって、模様が浮かび上がる仕組

みになっている。

物理的な実体に対して予め情報を埋め込む方法には (1) 事前に情報を埋め込んでおく必要がある、(2) 埋め込まれた情報を選択的に取り出したり変更したりすることが容易ではない、といった制約が存在する。液晶ディスプレイの利用やプロジェクションマッピングによって視覚情報を動的に付加したり、可視/不可視を制御することは容易であるが、予め物理的な実体に情報を埋め込む方法には、物体に情報を予め埋め込むという行為によって生じる唯一性や固有性があるため、その制約にも拘らず利用が見込まれる。このような背景の下、本研究では物理的な実体に対して予め情報を埋め込む方法の制約を、その利点を生かしつつ緩和することを目指す。

埋め込まれた情報にアクセスする手段の一つとして、我々は「回す」という行為に着目した。「回す」という行為は、状態を切り替える際に日常的に行われる行為である。例え

¹ 関西大学 総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

² 関西大学大学院 総合情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kansai University

a) k658066@kansai-u.ac.jp

b) k107221@kansai-u.ac.jp

c) mat@res.kutc.kansai-u.ac.jp

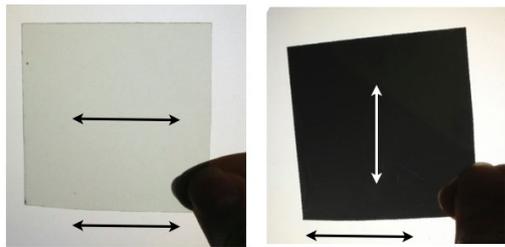


図 1 偏光板の性質。矢印が偏光方向を示している（左：平行，右：垂直）

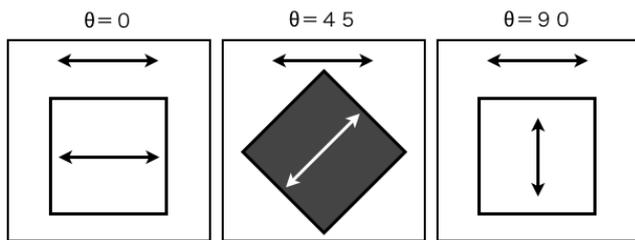


図 2 1/2 波長板の性質。手前の小さい四角が 1/2 波長板を示している

ば、扉や金庫などの錠前は、鍵を回すことで閉じている状態と開いている状態を切り替えることができる。また、万華鏡では筒を回転させることで、見える画像を連続的に変えることができる。このように、「回す」という行為は変化や切り替えのトリガとして自然なインタラクションであると言えよう。本稿ではこの「回す」という行為によって、埋め込まれた情報を選択的に取り出せるようにする方法について検討する。

2. 偏光板を用いた赤外光の制御

本稿では、偏光板の性質と 1/2 波長板の性質を利用して、光の透過/遮蔽を制御する方法の実現を目指す。

偏光板は、特定の方向に偏光した光のみを透過させ、それ以外を遮蔽する性質を持ったフィルタである。2 枚の偏光板を偏光方向に平行に重ねると、偏光した光は 2 枚の偏光板を透過する。一方、2 枚の偏光板を偏光方向に垂直に重ねた時、重なった部分は光を遮蔽する（図 1 参照）。この性質を利用することで、偏光板を重ねる角度を制御することで光の透過/遮蔽の制御が可能になる。

1/2 波長板は、偏光した光の偏光方向を変える性質を持ったフィルタである。偏光板の偏光方向に対して 1/2 波長板の光軸方向の角度を θ となるように重ね、偏光板側から光を入射すると、入射光の偏光方向が 2θ 回転するようになる。例えば、2 枚の偏光板の偏光方向を平行に重ね、その間に光軸が $\theta = 45^\circ$ となるように 1/2 波長板を挟んで光を入射すると、1/2 波長板によって光の振動方向が $45^\circ \times 2 = 90^\circ$ 回転するため、入射光は遮蔽される（図 2 参照）。

本研究では、偏光板と 1/2 波長板のこのような特性を利

用して、生成される影の形状変化を生じさせることとする。提案する方式では、 $\theta = 0^\circ$ もしくは $\theta = 45^\circ$ となるように 2 種類の 1/2 波長板を形取り、これらを重ね合わせた実物体を回転させることで、異なる影を出現させる。光源には 2 種類の異なる波長の赤外光を用い、これらを切替えることで実物体が光に照らされたままの状態での影の生成のオン/オフを制御する。

偏光板には可視用偏光板と赤外用偏光板の 2 種類を組み合わせて使用することとした。これは可視用偏光板のみを使用すると光の遮蔽効果が低く、また、赤外用偏光板のみを使用すると波長の低い赤外光を偏光状態に関係なく遮蔽してしまうためである。

3. プロトタイプシステム

試作したプロトタイプシステムの構成図を図 3 に示す。このシステムは、異なる複数の波長の赤外光を照射可能なデスクライト、赤外領域の撮影が可能な赤外カメラ、赤外領域に対応した偏光板、可視領域に対応した偏光板、プロジェクタ、テーブル状のスクリーン、影を生成するための実物体（以下、オブジェクトと記す）によって構成される。

赤外光が照射された机の上にオブジェクトをかざすことで、人の目からは不可視な影（以下、不可視影と記す）を生成する。不可視影を取得するために、740nm を超える波長領域の光線のみを透過するフィルタ (FUJIFILM, SC-74) を貼付した CCD カメラを使用した。カメラには近赤外線領域も撮影可能な CCD カメラ (Watec, WAT-902-H-ULTIMATE)、及び IR 対応レンズ (TAMRON, 12VM412ASIR) を用いた。また、スクリーン素材に背面投影用のスクリーンフィルム (KIMOTO, DILAD スクリーン WSK) を用いることで、赤外光によるオブジェクトの不可視影とプロジェクタ映像の投影を可能にした。本プロトタイプシステムでは、プロジェクタをテーブル下部に配置し、スクリーンの下側から映像を投影することで、プロジェクタのオクルージョンによる実影と物体による不可視影との混合を避けている。

偏光した光のみを照射するために赤外ライトには赤外用偏光板を、スクリーン上には可視用偏光板を、各々の角度が光軸方向に平行になるように取り付けている。赤外用偏光板には 800nm~2000nm の波長域に対応した近赤外用偏光フィルム (エドモンド・オプティクス・ジャパン, 近赤外用偏光フィルム) を用いている。赤外用偏光板は可視光も赤外光も偏光させることができる。可視用偏光板には偏光板 (美工社, 偏光板) を用いている。可視用偏光板は可視光のみを偏光させることができる。

オブジェクトの構成図を図 4 に示す。提案システムで用いるオブジェクトは、1/2 波長板と SC フィルタで構成されている。1/2 波長板を任意の形状に切り取り、2 種類用意した。初期値として一方の 1/2 波長板を偏光板の偏光方向

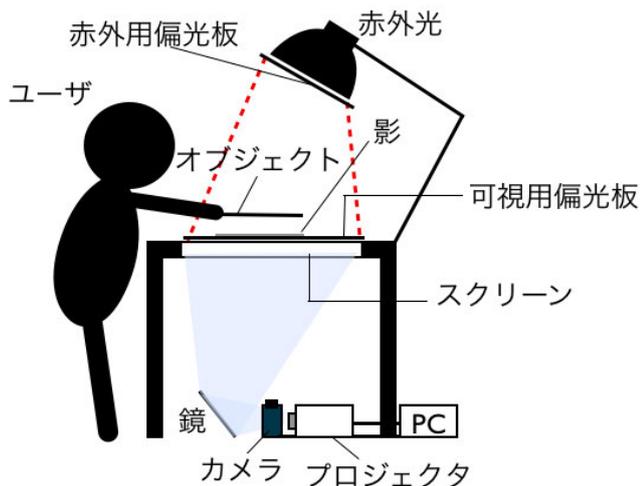


図 3 システム構成図

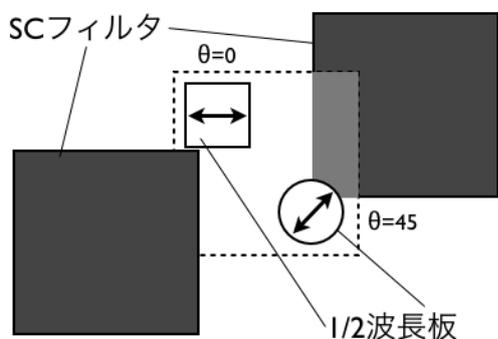


図 4 オブジェクト構成図

に対して 0° 、もう一方の $1/2$ 波長板を 45° の角度で固定した。この外側を SC-74 フィルタで覆うことで、ユーザがオブジェクト内部の情報を視認できないようにしている。

4. 実験

提案システムでは赤外光の波長を切り替えることで影の取得を制御するため、影の取得制御における、2種類の赤外光の選択を行うために実験を行った。影の出現のオンとオフを切り替えるには、 $1/2$ 波長板の角度が 45° の時にできる影が濃く現れ、 0° の時に影が出現しない波長と、 $1/2$ 波長板の角度が 0° 、 45° のどちらの場合にも影が出現しない波長を選定する必要がある。

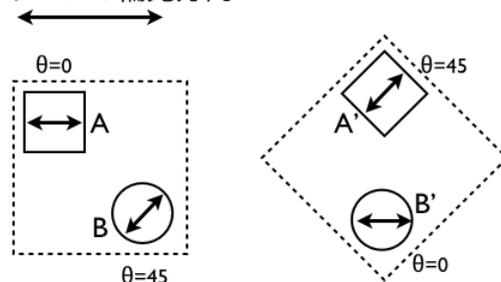
各波長の赤外光照射条件の下で、 $1/2$ 波長板の角度が 0° 、 45° の時の影の明度を取得しその差を比較した。なお、スクリーン、 $1/2$ 波長板、赤外ライト間の距離の違いによって影の明度が変化するため、スクリーン - $1/2$ 波長板間、 $1/2$ 波長板 - 赤外ライト間の各々について 10cm、20cm、30cm の 3 条件で距離を設定し、それらの組み合わせによる計 9 パタンの位置設定における明度の平均値を取得した。

各々の波長における平均の明度を表 1 に示す。 $1/2$ 波長板をそれぞれ 0° 、 45° にした時にできる影の明度差は、770nm の赤外光照射時に最大で、940nm の赤外光照射時に

表 1 実験結果

照射光の波長 (nm)	明度 (0° 時)	明度 (45° 時)	明度差
770	174	124	60
810	212	186	25
870	172	161	11
940	198	196	2

スクリーンの偏光方向



オブジェクトの角度 0度 オブジェクトの角度 45度

図 5 オブジェクト内部の様子

最小となることが確認された。このことから、770nm の赤外波長を照射した場合、生じた影とそれ以外の部分を最も区別しやすくなるため明瞭な影が視認でき、反対に 940nm の赤外波長を照射した場合には、影はほぼ視認できなくなると考えられる。

この結果を鑑み、赤外光源として 770nm と 940nm の 2 種類の波長を独立に照射できるデスクライトを実装した。

5. アプリケーション

提案システムを用いたアプリケーションを実装した。ユーザは赤外ライトが照射されたスクリーン上にオブジェクトをかざして、角度をかえることで、生成される影の図柄を切り替えることができる。

940nm の赤外光を照射した時、光は偏光にならないため $1/2$ 波長板は光を透過する。そのため影は出現しない。770nm の赤外光を照射した時のオブジェクト内部の構成を図 5 に示す。偏光方向に対して 45° になった $1/2$ 波長板のみ (図 5 : B) を遮蔽し、(図 5 : A) を透過する。オブジェクトを 45° 回転させると、もう一方の $1/2$ 波長板のみ (図 5 : A') を光は遮蔽し、(図 5 : B') を透過する。これにより、オブジェクトの角度を 45° 回転させるごとに 2 種類の影が交互に現れる。本稿ではプロトタイプとして丸形と四角型の 2 種類が出現するオブジェクトを作成した。オブジェクトを 45° させるごとに丸形から四角型、四角型から丸形へと変化させることができる。システムの動作の様子を図に示す。

6. 関連研究

実物体に情報を埋め込み、特定の行為によって情報が顕

在化するような機構を持つシステムがこれまでに提案されている。

Layered Shadow[1] は、物体をライトにかざすと、物体と違った形の影が現れるシステムである。このシステムでは、異なる波長特性を持つ数種類の赤外光透過フィルタ (IR フィルタ) で構成された物体を利用している。そのため、異なる波長の赤外光を照射することで、同じ物体から異なる影の像を創りだすことができる。また照射する赤外光の波長を時間経過に伴って変化させることで、アニメーションのように動く影を生成することができる [2]。照射された物体とは異なる形状の影が生成されるという点で本研究と類似するが、このシステムの場合、影の形状変化はシステムに予め登録された照射パターンによって決定されるため、ユーザとのインタラクションに欠けるきらいがある。本研究ではより積極的なユーザの関与を企図して、回す行為を取り入れている。

偏光板アート [4] は偏光板の特性を利用したメディアアートである。これは、裸眼では色のない作品に見えるが、偏光ファインダーを通してみると鮮やかに彩色されて見える作品になる。偏光板アートでは、光を屈折させる特性を持った材質を任意の形に切り取り、2枚の偏光板の間に挟んでいる。この材質の厚みが変わると、異なった色を見ることが出来る。また、偏光ファインダーの角度を変えて見ることによって、異なるふたつの絵を交互に見せることができる。

偏光板を回転させて制御している点で本研究と類似するが、偏光板アートが色を制御しているのに対して、本研究は光の透過/遮蔽によってできる影の形状を制御する点に違いがある。

小池らは、液晶型テーブルトップシステムと組み合わせて使うマーカの仕組みに偏光を利用している [3]。このマーカに利用した光学フィルムは透明な素材であるため、人の視覚を邪魔することなく操作することができる。偏光性をもつ液晶ディスプレイの映像を、偏光板を取り付けたカメラで撮影することによって遮蔽し、ディスプレイ上に光学フィルムを置くことで映像の遮断を解除する。映像の遮蔽が解除された部分のみに画像処理を行うことで、光学フィルムを置く動作で映像を制御することができるようになる。このシステムでは、光の透過/遮蔽の制御に偏光板と1/2波長板を利用しているという点で本研究と類似しているが、このシステムでは提示される情報はマーカに埋め込まれた情報ではなく、液晶ディスプレイが提示する映像になる。そのため、本研究のような、物体に情報を埋め込む技術とは目的が異なる。

7. おわりに

本稿では、1/2波長板で構成されたオブジェクトの角度を変えることで、オブジェクトから生成される影の形状を

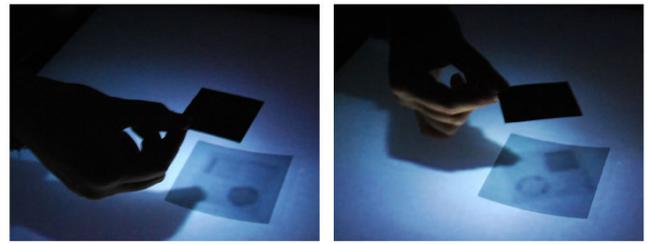


図 6 生成される影

切り替えることができるシステムを提案した。今後はマーカ認識を組み合わせることで、実物体の操作によって制御することができる情報提示システムとして利用できるように拡張することを検討している。

謝辞 本研究は、科研費基盤研究 C (課題番号: 24500160) の助成を受けたものである。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Sakaguchi, S., Tanaka, T. and Matsushita, M.: Layered Shadow: Multiplexing Invisible Shadow Using Infrared Lights with Different Wavelengths, *Proc. Virtual Reality International Conference 2013*, pp. Article No. 13 (2013).
- [2] 東納ひかり, 阪口紗季, 田中 琢磨, 松下光範: 透影モーション: 異なる波長の赤外光を用いた動的な不可視影の生成, *インタラクション 2013*, pp. 3EXB-04 (2013).
- [3] 小池英樹, 西川渉, 福地健太郎: 液晶型テーブルトップシステムにおける偏光の応用: 光学フィルムを用いた透明マーカの開発, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 14, No. 1, pp. 111-119 (2009).
- [4] 有限会社プリントアート: 偏光板アート. <http://www.print-art.co.jp/henkoban.html>.