

ShadowDemultiplexer:

補色多重化偏光投影による実影のみでアクセス可能な映像情報隠蔽

三木 麻理子[†] 岩井 大輔[†] 佐藤 宏介[†]

我々は、補色多重化偏光投影を利用した映像情報隠蔽手法を提案し、ユーザのつくる現実の影のみ情報が浮かび上がるインタラクティブテーブルトップを構築する。このとき、影以外の領域（影を作る遮蔽物・テーブルに置かれた書類・影以外のテーブル表面等）には、単一白色光が投影表示される。これは、3台のプロジェクタ（2台はテーブルトップ上方に、残り1台は背面に設置）より補色画像を投影することで実現する。このとき、上方の2台のプロジェクタの前面には偏光フィルムを、それぞれの偏光方向が直交するように配置する。さらに、スクリーン上にも偏光フィルムを、上方プロジェクタの内の1台の偏光方向と一致するように接着する。一般的に、インタラクティブテーブルトップを日常空間に導入する場合、ユーザの意図しない行動によってアプリケーションが起動しないよう留意する必要がある。しかしながら、ユーザのテーブルトップ上でのアクションが意図したものかそうでないかを完璧に識別することは困難である。提案システムでは、認識処理を全く採用していないことから、このような問題が生じないという利点がある。本稿では、プロトタイプを用いて行った提案手法の実証実験について報告する。

ShadowDemultiplexer: Multiple Polarized Complementary Image Projection for Hiding Graphical Information Accessible Only by Real Shadow

MARIKO MIKI,[†] DAISUKE IWAI[†] and KOSUKE SATO[†]

We propose a concept of graphical information hiding by multiple polarized complementary image projection on interactive tabletops in which the information can be accessed only by real shadow casted by a user. No graphical information is emerged, but only a uniform white light is displayed on the other places such as the occluder, books on the tabletop, and non-shadow area of the tabletop surface. This is achieved by applying multiple complementary image projection from three projectors two of which are placed above the surface while one of which is located behind it. In front of the upper projectors, the polarization filters are placed so that the directions are normal each other. A polarization film is also attached on the surface so that the direction is same as one of the upper projector. In general, when interactive tabletop is installed into daily life, it is necessary to take into account that the tabletop should not react the user's unintended action. However, it is difficult to perfectly recognize whether user's actions on the tabletop surface are intended operations or not. The proposed system solve the issue because the system does not apply any recognition processes. We built a first proof-of-concept system and confirmed the feasibility of the concept.

1. はじめに

テーブルにディスプレイと各種センサを組み込んでコンピュータとのインタラクションを行うことができるシステムを、インタラクティブテーブルトップという。これは、机自体が入出力のインタフェースを備えており、キーボードやマウスを使用しなくても情報の操作、閲覧が実現できるシステムである。ユーザが入力機器を持たずに直接自分の手や指で操作できるため、

より手軽なコンピュータの操作が可能になり、複数のユーザが協調作業を行う際にも非常に有用である。

インタラクティブテーブルトップをタッチスクリーンを用いて実装する手法は今日広く研究されている。しかしこのようなテーブルトップを日常生活に導入する際には、ユーザが意図しないシステムの動作が頻繁に起こりうる点が問題となる。タッチスクリーンを用いたために、ユーザが意図してタッチ操作を行った時のみならず、お皿等を置いた時や腕が誤って触れた際にも入力動作が行われたと認識され誤って情報が提示されてしまうからである。

これらの問題点を解決するために本研究では、ユー

[†] 大阪大学
Osaka University

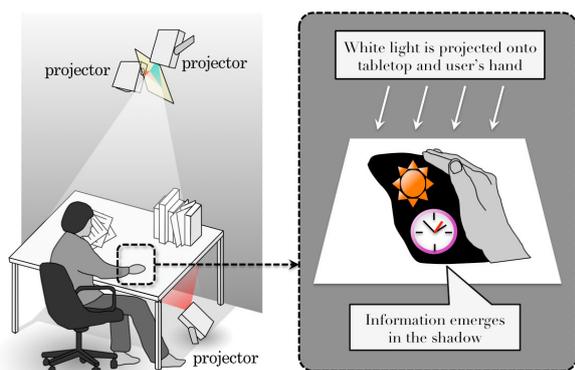


図 1 システム模式図

ザが意図的にテーブル上に影を作った時にのみ影に情報を提示することを目的として、補色同士が重畳されると他の箇所には白色光が投影されるという性質を用い、マルチプロジェクションによるインタラクティブテーブルトップを提案する。これにより図1のように、日常生活で使用する際にユーザの行動を制限せず、システムによるユーザの動作認識を行わずにユーザが影を作ることによってテーブルに投影された情報を表示させるという本システムの性質から、誤認識のない情報閲覧専用のシステムを実現する。

2. システム概要

2.1 補色を用いたプロジェクション

補色同士を投影して影に情報を重畳するシステムには、蓑毛らの提案システム [1] のようなものがある。投影を行う際、前面プロジェクションを採用したシステムでは、ユーザがプロジェクタ光を遮蔽してしまい投影像が一部欠けてしまうという問題がある。蓑毛らは、逆にこのユーザによる投影光の遮蔽を利用し、2台のプロジェクタ (P1, P2 とする) による補色多重化投影を用いてユーザの影に様々な彩りを与えるシステムを実現している。

P1, P2 から投影される画像をそれぞれ基準画像、補色画像と呼ぶ。双方のプロジェクタからの投影像は、重畳され、対象面上では単一白色光が投影表示される。ユーザが投影光を遮れば対象面上に影が生じるが、その影領域では補色同士の重畳が解消されて、基準画像もしくは補色画像が影の中に現れる。この手法を適用すれば遮蔽物の陰に情報を提示することが可能である。しかしながら、本研究のように日常生活で用いるテーブルトップシステムを想定してこの手法を応用する際には、投影光を遮る遮蔽物の上面にも情報が投影表示されてしまうことから、ユーザに煩わしさを感じさせてしまう点が問題となる。

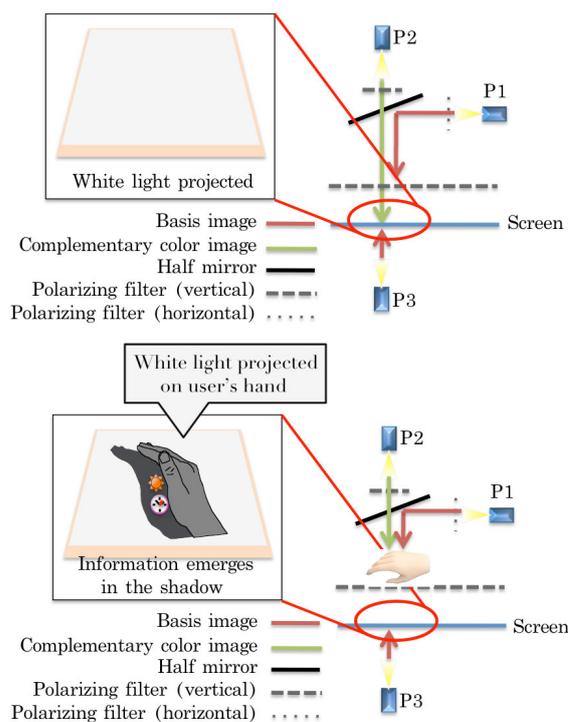


図 2 システム構成 (上: 影を作らない時, 下: ユーザが影を作った時)

2.2 システム構成

前節で述べた問題点を解決した上で1章で述べたコンセプトを実現するために、図2のようなシステムを提案する。システムは、3台のプロジェクタ (P1, P2, P3 とする) とスクリーン、偏光フィルタとハーフミラーから構成される。P1 および P2 は前面から、P3 は背面からの投影に用いる。この時、P2 の前面およびスクリーン上の偏光フィルタの向きと P1 の前面にある偏光フィルタの向きを直交させる。偏光フィルタをこのように配置することで P1 からの投影光はスクリーン上の偏光フィルタで遮断され、スクリーンに到達しない。前節にならひ、P1, P3 から投影される画像を基準画像、P2 から投影される画像を補色画像と呼ぶ。図2上のように遮蔽物がプロジェクタとスクリーンの間に存在しない場合には、P2, P3 からの投影光がスクリーンで足し合わされ単一白色が表示される。また、偏光フィルタにより P1 からの投影光はスクリーンに到達しない。一方、図2下のようにユーザの手などの遮蔽物が存在するとき、遮蔽物上面では P1, P2 からの投影光が足し合わされて白色光となり、P3 からの投影光がスクリーンに表示される。このようにして影のみに情報を提示することができる。

3. 画像補正手法

3.1 補色画像の生成

補色画像の生成にあたり、各プロジェクタの入出力特性を調べる必要がある。この手法としては以下のように行った。まず、P1 から RGB 値 (255, 0, 0) を、P2 から (0, 0, 0) を投影する。この時の R 値におけるスクリーン上で重畳された輝度をカメラで測定しその値 (C_r, C_g, C_b) を記録する。続けて P1 から $(r_1, 0, 0)$ ($0 \leq r_1 \leq 254$) を、254 から輝度を 1 ずつ減少させながら投影し、それぞれの r_1 に対し P2 から (C_r, C_g, C_b) と一致するまで $(r_2, 0, 0)$ ($0 \leq r_2 \leq 255$) を輝度を変化させて投影して一致した時の r_2 を記録する。P2 のプロジェクタ入力値 r_2 は、二分木探索により動的に変化させている。二分木探索を用いて 2 台のプロジェクタ間の色対応を求めることにより、P1 からの投影光の輝度値全色において、対応する P2 からの投影光の輝度値を求めることができる。G, B 値に関しても同様に観測を行う。また、P1, P3 間においても同様に測定しルックアップテーブルを求める。

このようにして求めたルックアップテーブルから、基準画像の画素ごとに補色を計算し、補色画像を生成する。この時、補色画像がルックアップテーブルにおいて階調を持つ範囲の画素値で生成されるよう、あらかじめ基準画像の RGB 値のダイナミックレンジの圧縮を行っている。

3.2 幾何学的キャリブレーション

3 台のプロジェクタ P1, P2, P3 から補色関係にある画像を重ねるように投影するためには、各プロジェクタのピクセル間の幾何学的な対応を求める必要がある。本システムでは、格子状の 16 点について世界座標と投影画像における座標との対応関係を求め、9 つに小分割したプロジェクタ入力画像をレンダリングすることで位置合わせを行っている。

実際には各プロジェクタの投影面におけるピクセルサイズの違いや、プロジェクタやミラーの設置からの時間の経過に伴うずれから、3 台のプロジェクタからの投影像において全ての画素が厳密に重なり合うことはない。これによる投影像の位置ずれは投影コンテンツの高周波成分 (エッジ) を除去することで改善されるため、投影コンテンツにあらかじめガウシアン低域通過フィルタを施すことで対処している。

4. 補色多重化投影実験

4.1 提案システムによる投影実験

サーフェスを構成するスクリーンや偏光フィルタの

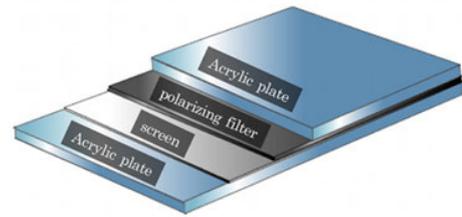


図 3 サーフェス構成

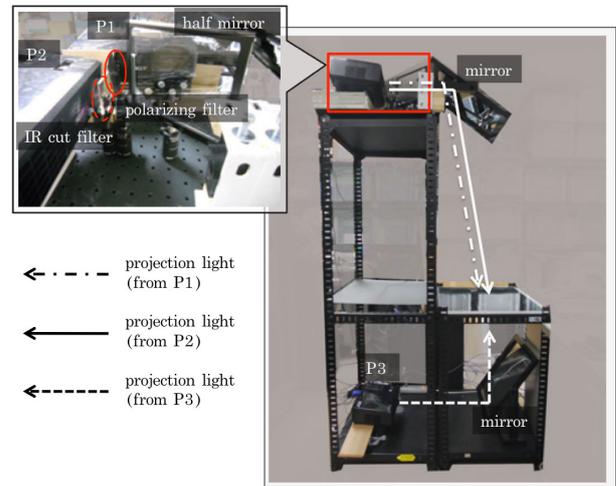


図 4 システム外観

たわみ等による光学的なずれを防ぐため、図 3 のようにこれらを 2 枚のアクリル板で挟んだものをテーブルトップサーフェスとした。製作したシステムの外観を図 4 に示す。前章の手法で生成した画像を 3 台のプロジェクタからそれぞれ投影した。それぞれの画像を図 6 に示す。その結果、図 5 左のようにサーフェス上において通常は白色光が投影されるが、意図的に影が作られると同図中のように影部分に情報が提示されることが確認できた。一方、同図右のように遮蔽物上には白色が投影されたことが確認できた。これは影をつくるユーザの手の上や、テーブルに置かれた本や文具等の上に情報が表示されないことを示している。

以上の結果から、意図的に作った影にのみ情報を提示し、テーブルで作業中のユーザに煩わしさを感じさせないシステムが実現できたことが確認できた。

4.2 瞬間調光スクリーンを用いた実装案

本節では他の実装可能性の一つとして、瞬間調光スクリーンを用いた手法に触れる。瞬間調光スクリーンとは、電圧の制御で透明な状態と不透明な状態が瞬時に切り替わる特殊な液晶スクリーンである。一般的な基本構造は、両外側からフロート板ガラス、中間膜、液晶シートの層構造となっている。液晶シートを構成

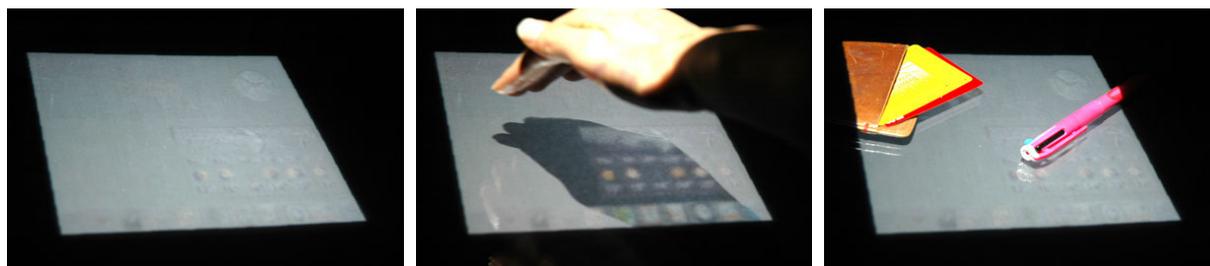


図 5 投影実験 (左：サーフェス上での画像重畳，中：意図的に作った影への情報提示，右：テーブル上に置いたオブジェクト上での画像重畳)



図 6 各プロジェクタの入力画像 (左：P1 入力画像，中：P2 入力画像，右：P3 入力画像)

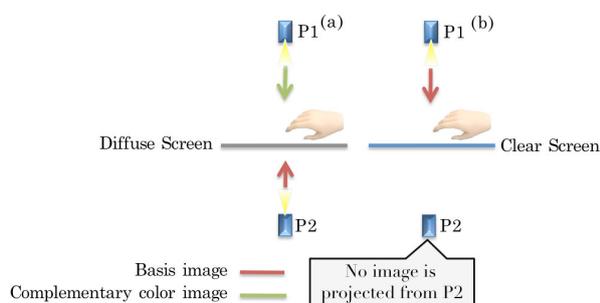


図 7 瞬間調光スクリーンを用いたシステム構成

する液晶分子は電圧のかかっていない状態では不規則に並んでいるため光を拡散し、すりガラスのように不透明となる。液晶分子に電圧がかかると一定方向に整列し平行光を通すため透明となる。

このスクリーンを利用すると、図 7(a), (b) の状態を 120Hz で切り替えることにより前節で述べた手法と同様に、本研究で目標とするシステムを実現することができる。図 7(a) は P1 から補色画像を、P2 から基準画像を投影し、瞬間調光スクリーンはすりガラス状(スクリーン状)である状態である。同図 (b) は P1 から基準画像を投影し P2 からは何も投影せず、瞬間調光スクリーンは透明となっている状態である。このシステム構成では、ユーザの手などの遮蔽物上および影以外のスクリーン面では P1 から基準画像および補色画像が交互に高速で切り替わって投影されるため、両画像の平均的な明るさが知覚され白色に見える。遮

蔽物による影の部分には P2 から基準画像が投影されるため、影のみに情報が提示される。よって結果的に影の部分のみに情報が提示され、その他の部分には白色光が投影されることになる。

5. おわりに

本研究では、補色多重化投影を用いてユーザの手の影部分にのみ情報を提示するインタラクティブテーブルトップシステムを試作した。本システムを応用することでタッチスクリーンを用いることなくテーブルトップシステムが実装でき、従来のシステムにはない、ユーザの意図した時のみ情報を提示する動作が可能になると考えられる。しかし現時点では複数の投影像の投影面でのずれ、白色化処理に改善の余地があるため、今後も様々な手法を試し性能の向上に努めたい。また動的なコンテンツの投影についても取り組み、よりインタラクティブなシステムの構築を目指したい。

参考文献

- 1) 蓑毛 雄吾, 算 康明, 飯田 誠, 苗村 健: “補色を用いて自己の影を彩りある映像メディアにするマルチプロジェクションシステム”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.1, pp. 21 - 30 (2005.3) .