



## 光学迷彩における撮影系・投影系の共役配置

泉原厚史<sup>1)</sup>, 川原田美雪<sup>2)</sup>, 脇坂崇平<sup>3)</sup>, 星貴之<sup>3)</sup>, 稲見昌彦<sup>3)</sup>

1) 東京大学 工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 izumihara@star.rcast.u-tokyo.ac.jp)

2) 東京大学 工学部 3) 東京大学 先端科学技術研究センター

**概要:** We propose an Optical Camouflage (based on Retro-Reflective Projection Technology) system that has an imaging device in addition to a projection device. These devices are placed at conjugate positions so that geometric calibration is not required in use. This imaging device supports brightness and color calibration. Besides, it enables us to create new contents easier than the previous systems. In this article, we discuss the design of the proposed system and further application of optical camouflage.

**キーワード:** Augmented Reality, Optical Camouflage, Retro-reflective Projection Technology

### 1. はじめに

我々は再帰性投影技術を用いて人間や物体を不可視にするシステム、通称「光学迷彩」の研究 [1] を継続してきた。近年 VR, AR のコンシューマレベルでの発展や、攻殻機動隊 [2] 等の SF 作品の再流行により、光学迷彩への関心が再び高まっている。

弊研究室において日常的にデモで利用されるシステムは、ハード設計のシンプルさを重視しており、背景撮影や幾何補正、色調補正に関しては手作業で行う前提で作られていた。そのため、筐体が動かされたり背景が変わったりするたびに背景撮影、幾何補正、色調補正を都度やり直す必要があり、デモを行う担当者にとって負担となっていた。またそれに伴い、様々な環境に持ち出して気軽にデモすることも困難になっていた。

上記の課題を解決するためにシステムの再開発を行った。コンピュータ・プロジェクタ等各種デバイスの小型化・低廉化・性能向上を踏まえつつ、投影系に撮影系をも共役配置する構成とし、デジタルファブリケーションによりコンパクト化を行った。本稿では、本稿では光学迷彩に関する過去の研究をまとめた上で、今回の設計について述べる。

### 2. 関連研究

光学迷彩を実現する一つの手法として、先述の RPT がある。[3] これは当初、バーチャル世界を現実世界に重畳表示し、複合現実感を実現するための技術として研究開発された。例えば頭部搭載型プロジェクタとして利用することで、AR における遮蔽問題の解決につながる技術である。[4]

吉田らは、頭部搭載型プロジェクタと手鏡のような覗き窓を利用することで、実環境との整合性の高い AR 体験を



図 1: 光学迷彩の体験の様子

実現するシステムを開発した。[5] この研究では、頭部搭載型プロジェクタにハーフミラーを 2 枚用いてプロジェクタ・体験者の視点・視点カメラの 3 つを工学的共役の位置に配した上で、特徴点ベースのカメラ位置変換を行うことで、実環境との整合性を作り出している。

オリジナルの光学迷彩デモにおいては、透明にされる物体や人とそれを鑑賞する人が別々であった。小泉らは、自己像は他者像と比べて強い興味を抱く存在であることから自己像とのインタラクションに着目し、「自分自身が透明になる体験」を味わうためのシステムを設計した。[6]

また、オリジナルの光学迷彩システムでは、体験者の視点が、プロジェクタ光源と光学的共役の狭い位置に限定されていたが、レンズアレイを用いることで体験位置を広げることにも取り組まれている。[7]

しかしこれら一連の光学迷彩の研究においては、コンテンツ撮影・幾何補正・色調補正などの運用を行いやすくするための設計については議論されていない。本稿はこの点に

Atsushi IZUMIHARA, Miyuki KAWAHARADA,  
Sohei WAKISAKA, Takayuki HOSHI, Masahiko  
INAMI

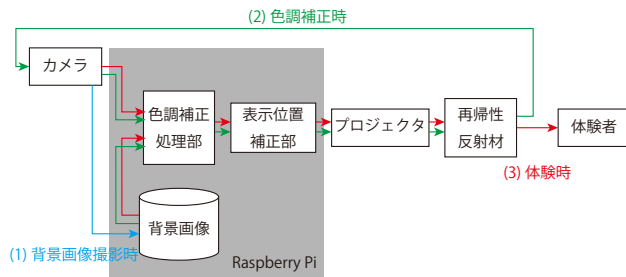


図 2: システムの処理ダイアグラム

ついて取り組んだ内容を報告・議論する。

### 3. 提案

図 2 に、以下の提案をまとめた機能別のブロック図を示す。

#### 3.1 背景撮影の簡便化と幾何補正の不要化

透明になる物体や人の背景に当たる写真を事前撮影する際に、オリジナルの光学迷彩デモでは、カメラを筐体の外に置いて撮影し、再生するためのコンピュータにデータを格納した後、手で傾きや回転・拡大縮小の操作を行って体験者の視線から破綻が無いよう調整されていた。

本システムでは、背景写真の撮影時にカメラをプロジェクタと光学的共役の位置に配する。カメラとプロジェクタの画角差の補正、つまり切り出しを行うだけで、その他の幾何変換無しで位置のピッタリあった光学迷彩体験を可能としている。

先述の吉田らの手法のように、ハーフミラーを 2 枚用いることで、プロジェクタ・体験者の視点・カメラの 3 つを共役に置くことも可能であるが、(1) 光学迷彩体験の要件上「撮影しながら体験する」ということが無いこと (2) ハーフミラーを重ねることで視点カメラ・体験者が得る光量がそれぞれ著しく減損するため光学的に不利であること、の理由から今回は採用を見送った。

また、実際には筐体の組み上げ誤差により、僅かな平行ズレが発生するが、これはソフトウェア上での画像の平行移動でカバーする。

#### 3.2 自動色調補正

カメラをプロジェクタと共役の位置に置いてプロジェクタを利用することで、背景撮影時の画像と RPT で得られる体験者の視界をハーフミラーによる減損分も加味して比較することが可能となる。RPT で得られる体験者の視界は、プロジェクタの特性と再帰性反射材の色味によって、背景撮影時の色味と異なってしまうが、これを補正することでより高い「透明になった」感覚を得ることができる。

先述の通り幾何的な整合性が高いため、再帰性反射材で反射している領域を特定するだけで、その領域内を元の背景画像と比較し色調補正をすることが可能である。

再帰性反射領域の特定は、短時間全領域にホワイトを照射することで再帰性反射材が強く輝くので、そのフレーム

表 1: 構成機材

コンピュータ	Raspberry Pi 3 Model B
プロジェクタ	AODIN T89
カメラ	Logicool HD WEBCAM C270

のカメラ画像から矩形検出を行う。

色調補正は、再帰性反射している領域を低解像度化した上で数カ所の ROI を抽出し、ROI ごとにホワイトバランス・明るさ・コントラストを動かす、元画像との差分の最も小さくなるパラメタを探索することで行う。比較は ROI ごとの HSV ヒストグラムで行う。

### 4. 設計と実装

#### 4.1 運用の設計

先述の通り、従来の光学迷彩のデモでは、筐体が動かされたり背景が変わったりするたびに背景撮影、幾何変換、色調補正を都度やり直す必要があり、デモを行う担当者にとって負担となっていた。また、様々な環境に持ち出して気軽にデモをすることも困難になっていた。今回設計した筐体とソフトウェアは以下のような運用を可能とすることを要件とした。

- コンピュータとプロジェクタの電源を入れる
- 運用場所に筐体を運び設置する
- カメラを撮影位置に取り付け、撮影を行う
  - － 自動的に色調補正まで行う
- 体験する

以下でその具体的な設計の一部を説明する。

#### 4.2 設計の概要

筐体は CAD で設計し、レーザー加工機によるアクリルカットと 3D プリンタを用いて造形した。その他構成機材は表 1 の通りである。

背景撮影から体験までを一つのコンピュータを行うことで、運用の手間を減らしている。また、プロジェクター・コンピュータ共にバッテリー駆動可能で、持ち運んで様々なところで楽しむことが出来るようになっている。

#### 4.3 体験者視点位置・カメラ位置の一致と、プロジェクタとの光学的共役配置

図 3 に筐体の断面図とプロジェクタ・カメラの位置関係を示す。背景画像撮影時のカメラ位置は、体験時の体験者視点位置と同一である。プロジェクタはハーフミラーを挟んでそれらと光学的に共役な位置に設置される。

背景画像撮影時に取り付けるカメラは、簡単に付け外しできかつ、再現性高く正しい位置に配置できるように、磁石を用いて取り付けるようにした。

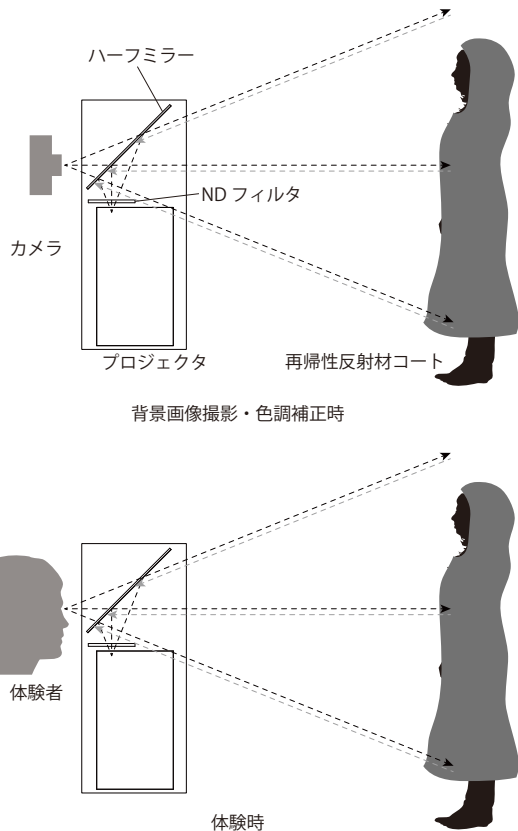


図 3: プロジェクタ・カメラの位置関係

#### 4.4 プロジェクタの選定

幾何補正の不要な構成にする上で、プロジェクタは光源の中心軸から上下左右対称、つまり正四角錐状に映写するものが望ましい。これはカメラが真正面を撮影することと対応させるためである。しかし、市場に出回っている多くのプロジェクタは、机の上に設置して利用する事を想定して打ち上げるような映写を行う。今回の要件に見合ったプロジェクタでなるべく小型のものとして、今回 AODIN 社の T89 を選定した。

また、プロジェクタの光量はそのままで RPT 用途では強すぎるため、ハーフミラーの手前で ND フィルタにより減光調整する。

#### 5. おわりに

組み上がったシステムを図 4 に示す。また、体験者が得られる視点を図 1 に示す。

本稿では、背景画像の撮像系と投影系とを光学的に共役に配置する事でコンテンツ作成から体験までの運用が容易な、新しい RPT 型の光学迷彩システムを設計・実装した。

撮像系と投影系を共役に配置したことで、背景撮影・体験が一貫して行えるようになった。この応用として例えば、筐体の向きを変えながら背景写真を多数撮ることで、光学迷彩システムのパノラマ化することが考えられる。また、先に述べたとおり今回はハーフミラーを 1 枚におさえたが、2 枚にすることで体験しながらの写真撮影も可能となる。こ



図 4: 完成したシステム

れらの可能性を活かした新しい光学迷彩表現と活用を検討していきたい。

#### 参考文献

- [1] 川上. 現実感融合の研究 (第 2 報)-Reality Fusion における光学迷彩技術の提案と実装. 日本バーチャルリアリティ学会第 3 回大会論文集, 1998, 1998, 285-286.
- [2] 土郎正宗; 攻殻機動隊, 講談社, 1991
- [3] INAMI, Masahiko; KAWAKAMI, Naoki; TACHI, Susumu. Optical camouflage using retro-reflective projection technology. In: Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2003. p. 348.
- [4] INAMI, Masahiko, et al. Visuo-haptic display using head-mounted projector. In: Virtual Reality, 2000. Proceedings. IEEE. IEEE, 2000. p. 233-240.
- [5] 吉田匠, 土場健太郎, 黒木忍, 新居英明, 川上直樹, 館. 頭部搭載型プロジェクタを用いたマーカーレス AR のための透過型画像提示手法. In: 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.16, No.2, 2011
- [6] 小泉直也, et al. 光学迷彩 2.0: 透明化する自己像を見る体験の設計 (<特集>複合現実感 5). 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2011, 16.2: 149-152.
- [7] UEMA, Yuji, et al. Optical camouflage III: Auto-stereoscopic and multiple-view display system using retro-reflective projection technology. In: Virtual Reality Short Papers and Posters (VRW), 2012 IEEE. IEEE, 2012. p. 57-58.