



中間視点画像生成による 疑似光軸一致型プロカムシステムの検討

A Pseudo Optical-Axis-Matching Projector-Camera System Using Intermediate Viewpoint Image Generation

藤井航¹⁾, 謝淳²⁾, 北原格²⁾
Wataru FUJII, Chun XIE, and Itaru KITAHARA

- 1) 筑波大学大学院 システム情報工学研究群 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, fujii.wataru@image.iit.tsukuba.ac.jp)
2) 筑波大学 計算科学研究センター (〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1, {xiechun | kitahara}@ccs.tsukuba.ac.jp)

概要: 実世界の状況に応じたコンテンツを生成・投影するプロジェクションマッピングでは、プロジェクタとカメラを組み合わせたプロカムシステムの利用が一般的である。プロジェクタとカメラの間の視差補正やキャリブレーション処理の負担を軽減するために、プロジェクタとカメラの光軸を一致させる手法が考案されてきた。しかし、プロジェクタとカメラの光学中心を完全に一致させることは物理的に困難である。本研究では、2台のカメラで撮影した画像からプロジェクタの光学中心で観測される画像を合成することにより、プロジェクタとカメラの光学中心を疑似的に一致させる手法について検討する。

キーワード: プロジェクションマッピング, 新規視点画像生成, プロカムシステム, 光軸一致

1. はじめに

プロジェクションマッピングは、三次元物体に対して、プロジェクタを用いて視覚コンテンツを投影する技術である。投影コンテンツを操作することで、物体の色や柄、質感を変化させることが可能であり[1][2][3]、高輝度のプロジェクタの開発や画像処理技術の発展、プロジェクションマッピング精度の向上に伴い、社会への普及が進んでいる。観光地のイベントでは、プロジェクションマッピングを用いたイルミネーションやライトアップが行われ、観光客の注目を集めている。また、発達障害児の行動支援などの分野でもプロジェクションマッピング技術が応用されている[4]。

実世界での様々な状況に応じて投影コンテンツを適宜変化させるためには、映像を投影するプロジェクタと、投影先の状況を取得するカメラを組み合わせたシステムを構築する必要がある。このシステムは、プロジェクタ・カメラシステム、またはプロカムシステムと呼ばれる。具体的な利用状況としては、位置姿勢や形状が未知の物体への映像投影や、移動物体を追従しながらのプロジェクションマッピングが考えられる。そのような状況では、キャリブレーションによってプロジェクタとカメラの幾何学的関係を導出することが必要となる。そ

の手法として、コード化パターン投影法が知られている[5]。この手法では、グレイコードパターンと呼ばれる縞模様の画像群をプロジェクタから投影し、投影像をカメラで撮影することにより、プロジェクタとカメラの画素対応を取得する。しかし、これはシーンが変わる度に実施する必要のある手間のかかる作業であり、移動物体に対しては適用が困難であるという点で、プロジェクションマッピング実現時に向けた課題となっている。

図 1 に示すように、プロジェクタとカメラの光軸を一致させることで、投影像と撮影像の画素対応を一意的に定め、プロジェクタとカメラの幾何学的関係を導出するアプローチが存在する。プロジェクタとカメラの光学中心

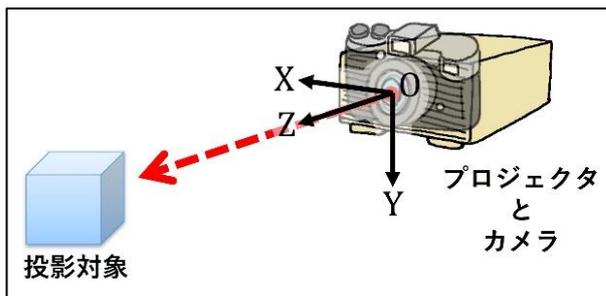


図 1. プロジェクタとカメラの、光軸および座標系を一致させた様子 (赤点線が光軸を表す)

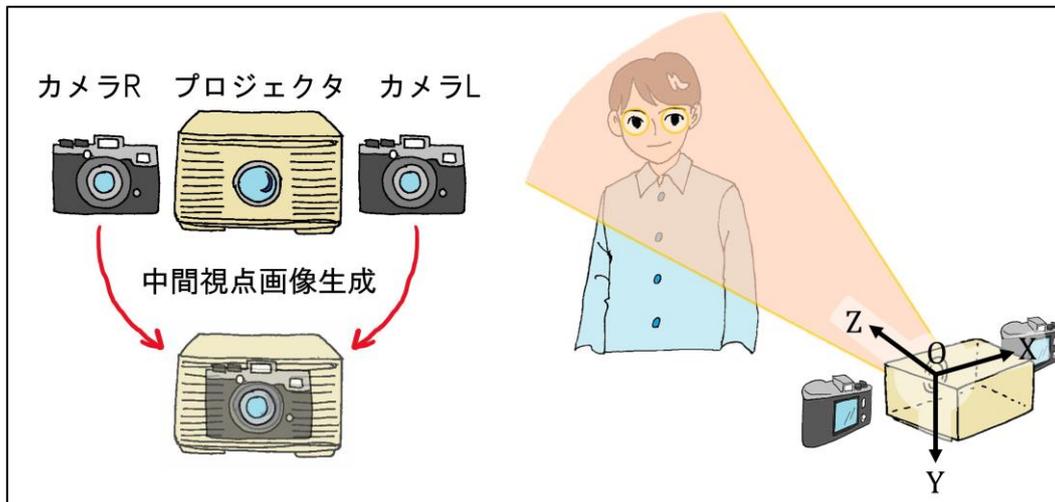


図2. 提案手法の概要と応用シーン. プロジェクタの両側に配置された2台のカメラで撮影した画像をもとに, 中間視点画像生成を用いてプロジェクタの光学中心から観測される画像を生成する. 生成した画像に対してリアルタイムに画像認識処理をすることができれば, 右図に示すように人物の目元を自動検出してその部分への光の照射を抑えることが可能である.

を完全に一致させることは物理的に困難であるため, ハーフミラー[6]やビームスプリッタ[7]を用いて光軸を一致させる手法が考案されている. しかし装置の構造上, プロジェクタからの投影像とカメラの撮影像の両方において, 輝度や画質が不十分であるという課題が存在する.

本研究では, 図2に示すように, 中間視点画像生成を用いてプロジェクタおよびカメラの光軸を疑似的に一致させる手法を提案する. プロジェクタの両側に配置した2台のカメラで撮影した画像に中間視点画像生成処理を施し, プロジェクタの光学中心で観測されるであろう画像を生成する. これにより, プロジェクタとカメラの位置を疑似的に一致させることができる. 先行研究では, 物理的なアプローチによって光軸一致を目指していたのに対し, 本提案手法は計算処理によって疑似的な光軸一致の実現を目指す.

本提案手法の特長は, 以下3点である.

1. 画像を投影する対象物体の三次元位置や形状が不明な場合でもプロジェクタ投影面内の二次元位置さえ分かれば投影可能であること
2. プロジェクタからの光が100%投影面に到達するため, 物理的なアプローチに比べ投影像の輝度が向上すること
3. 装置の持ち運びが容易であること

2. 関連研究

プロジェクタとカメラの光軸を一致させるためのアプローチの代表例は, 物理的な装置を用いて光路を調整するものである.

山本らは, ビームスプリッタを用いてプロカム光軸一致を実現した[7]. ビームスプリッタとは, 入射光を所定の比率で二つに分割し, 一方を反射させ, 他方を透過させるという性質を持つ光学素子である. プロジェクタ

と投影対象の間に45度の角度でビームスプリッタを設置した. プロジェクタの投影光はビームスプリッタを通過して直進し, 投影対象に到達する. また, 投影対象側から戻ってくる光はビームスプリッタで直角に反射し, カメラに進入する. すなわち, プロジェクタとカメラが異なる位置に配置されていながら, ビームスプリッタと投影対象との間で, 光軸を一致させることに成功した.

しかし, この手法には大きく二つの課題がある. 一つ目は, 投影光がビームスプリッタを通過する際に光の一部が反射し, 投影面に到達する光の量が減少することである. その結果, 投影像の輝度が不十分となる. 二つ目は, 可能な限り投影光の光量の減少を防ぐために入射光の透過の割合が大きいビームスプリッタを使用した場合, トレードオフの関係で反射の割合が小さくなり, カメラへの入射光量が減少することである. その結果, カメラで外界の光情報を取得することが困難となる. 本研究では上述した課題を解決するために, 物理的な光軸一致手法ではなく, 計算処理による疑似的な光軸一致手法を用いる. 光の損失が防止可能なため, 投影像の輝度および撮影像の精度の向上が期待できる.

3. 中間視点画像生成を用いた疑似光軸一致型プロカムシステム

本節では, 中間視点画像生成によってプロカムシステムの光軸を疑似的に一致させる手法について述べる. 提案手法の処理フローを図3に示す. 1台のプロジェクタと2台のカメラで構成されるプロカムシステムを構築する. 2台のカメラで撮影した2視点画像を入力として, 中間視点画像生成を用いてプロジェクタの光学中心から観測されるであろう画像を生成し, プロジェクタとカメラの光軸を疑似的に一致させる.

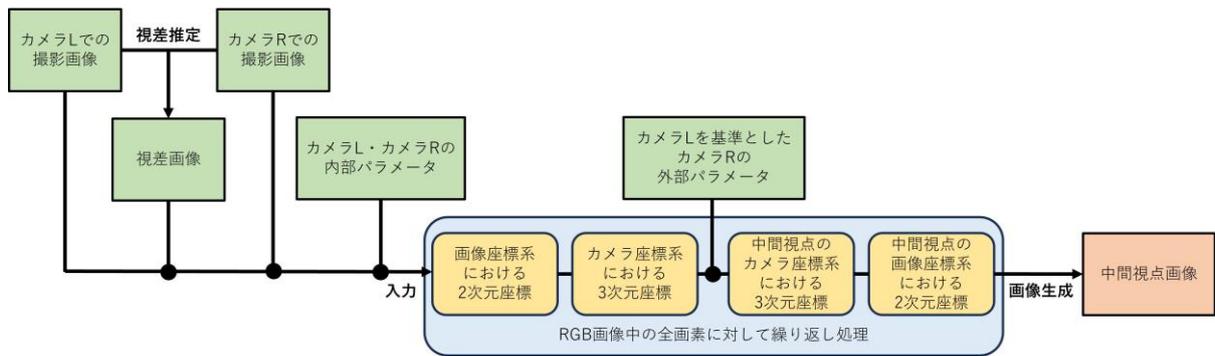


図3. 提案手法の処理フロー. 各カメラで撮影した画像をもとに視差画像を得る. 2枚の撮影画像と視差画像に加え, 各カメラの内部パラメータおよび, カメラLを基準とした際のカメラRの外部パラメータを入力として2台のカメラの中間地点で観測される画像を生成する. これはプロジェクタの光学中心から観測される画像と一致する.

投影コンテンツの一例として, 上述した処理で生成した中間視点画像中から特定領域を検出し, 適宜画像処理を施した後, シーン中の物体に対してプロジェクションマッピングを行う. Lemeらは, プロジェクタの投影範囲に存在する人物の頭部を検出し, 目元領域への光の照射を最小限に抑えるためのマスク処理を施したうえで光を投影するパンダマスクングという構想を提案している[4]. 対象物体の三次元的な位置姿勢や形状が不明な場合でも, プロジェクタの光学中心から観測される画像内の二次元情報に基づいて適切な投影コンテンツの生成が可能である.

4. プロカムシステムの構築

構築したプロカムシステムを図4に示す. プロジェクタ筐体の左右に2台のカメラを設置した. 以降, プロジェクタ背面の位置から投影方向を向いた際に, 右側に位置するものをカメラR, 左側に位置するものをカメラLとする. カメラLとカメラRは, プロジェクタの光学中心を基点として等距離となる地点に配置した. プロジェクタはEPSON社のEH-TW7100, カメラはSony社のDSC-RX0を使用した. プロジェクタとカメラ位置がずれないように, アルミ板を用いてボルトとナットで固定する. カメラの撮影レンズの高さとプロジェクタの光学中心の高さは等しくなるように調整した. また, プロジェクタと

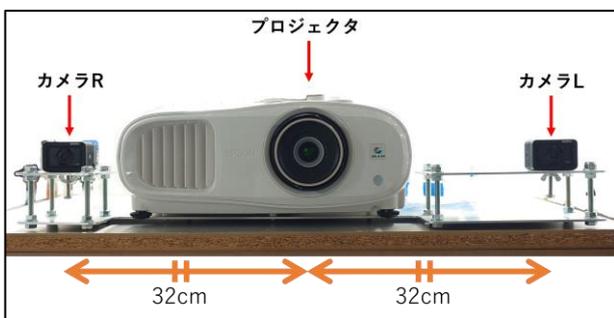


図4. プロジェクタと2台のカメラによって構成されたプロカムシステムの外観. プロジェクタの投影方向を向いた際に, 右側に位置するものをカメラR, 左側に位置するものをカメラLとする.

カメラの光軸が平行となるように設置角度を調整した. これは, 後段の視差画像生成処理において, 平行化の修正量をなるべく小さくするためである.

5. 中間視点画像生成による光軸一致

カメラの光軸方向をプロジェクタの光軸方向と平行になるよう一致させた状態のカメラL, カメラRで投影対象シーンを撮影する. シーン固有の特徴を追加で学習することなく2枚の入力画像間の高精度なステレオマッチング処理を実現するHITNet (Hierarchical Iterative Tile Refinement Network for Real-time Stereo Matching) [8]を撮影画像に適用し, 視差画像を生成する. 追加学習が不要であるため, 事前設定・準備が困難な撮影環境でも利用可能である. 2枚の撮影画像と推定された視差画像に基づき, プロジェクタの光学中心から観測されるであろう見え方を再現する. プロジェクタの光学中心から各カメラの撮影レンズまでの距離は等しく, プロジェクタと各カメラの光軸が平行となるように固定しているため, カメラL, カメラRの中間視点画像とプロジェクタ光学中心から見た画像は一致する. カメラL, カメラRで撮影した入力画像をそれぞれ図5a, 図5bに, HITNetで生成した視差画像を図5cに, プロジェクタの光学中心視点の画像を図5dに示す. 視点移動に伴い, 画像中の各物体の観測位置が適切に変化している. 一方で, 生成画像の画質については改善の余地が残されている. 特に, 視差の大きい(手前の)領域では, 欠損部分が目立つ結果となった. 画像の品質は, 視差画像の推定精度に強く依存するため, 視差画像の推定精度が高い場合は比較的良好的な結果が得られるものの, 推定精度が低い場合には全体的に画質が低下することが確認された. テクスチャの乏しい領域や似たようなパターンが繰り返される領域, オクルージョンにより一方のカメラからしか観測できない領域については, ステレオマッチングが失敗し正確な視差が推定できないと考えられる. 中間視点画像の精度向上を目指してより高精度な視差推定手法の検討が必要だと考えている.



図 5a. カメラLで撮影した画像



図 5b. カメラRで撮影した画像



図 5c. HITNet で生成した視差画像

Magma カラーマップを使用した表示であり、色が黒いほど視差が小さく遠距離の点であることを、色が白いほど視差が大きく近距離の点であることを示している。



図 5d. 撮影画像と視差画像から生成したプロジェクタ光学中心視点の画像

6. おわりに

本研究では、中間視点画像を用いた疑似光軸一致型プロカムシステムについて検討した。提案手法では、プロジェクタの両側に配置した2台のカメラの撮影画像をもとに、HITNet を用いて視差を推定し、プロジェクタの光学中心から観測される画像を生成した。提案手法により、プロジェクタとカメラの光軸を疑似的に一致させることができる可能性を確認した。今後は、生成画像の精度を向上させるとともに生成画像に対して物体検出アルゴリズムを適用し、プロジェクタから光を実際に投影する実験を実施する。

参考文献

- [1] Raskar, R., Welch, G., Low, K. L., & Bandyopadhyay, D. (2001). Shader lamps: Animating real objects with image-based illumination. *Rendering Techniques*, 2001, 12th.
- [2] Miyashita, L., Watanabe, Y., & Ishikawa, M. (2018). Midas projection: Markerless and modelless dynamic projection mapping for material representation. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 37(6), 1-12.
- [3] Bermanno, A. H., Billeter, M., Iwai, D., & Grundhöfer, A. (2017, May). Makeup lamps: Live augmentation of human faces via projection. In *Computer Graphics Forum*.
- [4] Leme, B., Oki, M., & Suzuki, K. (2021, October). A Portable Interactive Projection Device to Provide Visual Support for Children with Special Needs. In *IECON 2021-47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE.
- [5] 上田照夫, & 松木真. (1981). 時系列符号化格子法とその装置化. *電子情報通信学会論文誌 D*, 64(8), 780-787.
- [6] Fujii, K., Grossberg, M. D., & Nayar, S. K. (2005, June). A projector-camera system with real-time photometric adaptation for dynamic environments. In *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) (Vol. 1, pp. 814-821)*. IEEE.
- [7] 山本健太, 岩井大輔, 佐藤宏介. “単一レンズ型同軸広角プロジェクタ-カメラシステムによる動的プロジェクションマッピングの基礎検討”. 第 26 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集. 2021.
- [8] Tankovich, V., Hane, C., Zhang, Y., Kowdle, A., Fanello, S., & Bouaziz, S. (2021). Hitnet: Hierarchical iterative tile refinement network for real-time stereo matching. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 14362-14372)*