



室内広域投影システムにおける ロバストな空間コード化の検討

A Study on Robust Spatial Coding for Wide-Area Indoor Projection Systems

園部瑞基, 橋本直己

Mizuki SONOBE and Naoki HASHIMOTO

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻

(〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 西 9-603, {sonobe, naoki}@hashimoto.lab.uec.ac.jp)

概要: 空間コード化法は高速で正確かつ簡便であるが、光の反射の影響を受けるという欠点がある。室内で広域投影を行う場合、壁や床による間接反射光や鏡面反射光が計測精度を低下させてしまう。そのため、反射を低減するために、投影領域を制限したり、反射しない素材で覆ったりする必要がある。そこで本研究はコード計測において、直線偏光板を用いて撮影を行うことで反射光を低減させ、コード計測の精度を向上させる手法について検討する。

キーワード: コード計測, グレイコード, 偏光板, マルチプロジェクション

1. はじめに

近年、没入感を高める効果から大規模映像演出としてプロジェクションマッピングが注目されており、特に、商業施設や劇団の舞台演出等での活用が見られる。この演出の実現には投影空間の把握が必要で、そのためには専門的な技術が求められる。これに対して、プロジェクタとカメラを組み合わせた Projector-Camera(ProCam) システムを用いて投影を行う手法が提案されている。この手法はプロジェクタで特定のパターンを計測空間に対して投影し、それがどのように空間上で歪んで表示されるかをカメラで撮影、解析することで空間の形状を推定し、形状に適応した映像投影を可能にする。この手法は空間コード化法と呼ばれ、高速で正確かつ簡便なことから画像処理、コンピュータビジョン、ロボティクスなどの様々な領域で幅広く応用されている。

しかし、室内のような壁や床に囲まれた空間でこの手法を使用すると、拡散反射光や、鏡面反射光により計測の精度が低下し、正確な対応関係の取得が困難となる。そこで本研究ではコード計測において、直線偏光板を用いて撮影を行うことで反射光を低減させ、コード計測の精度を向上させる手法について検討する。

2. 関連研究

Nayar らは照明としてプロジェクタで白と黒を交互に配した市松模様を投影することで、2つの成分を分離する手法 [1] を提案した。しかし、室内のような広域な投影対象に対しては前提となる十分に高周波化されたパターンの投影が不可能である。福山らは Nayar らが行った 2つの成分を分離する方法ではなく、グレイコードパターンを分割して計測することで反射光を低減する手法 [2] を提案した。グレイ

コードパターンを 8 分割しているため、撮影だけで単純計算で 8 倍になり、かなりの計測時間を要する。また、鏡面性が強いところでは反射光の影響を避けられない。

3. 提案手法

福山らの手法は、間接反射光は拡散光を仮定しているため、鏡面反射光の影響を除去することができない。本研究ではこの課題を対処するために、鏡面反射がフレネルの法則に基づき特定の偏光方向の光を強調するという物理的特性に注目した。この特性により偏光の制御による鏡面反射の軽減が可能である。しかしながら、室内空間等の複雑な環境においては、対象物の形状や向きが多様であるため、偏光方向が不明瞭となる可能性がある。そのため、これらの環境における空間コード化の精度を向上させるためには、偏光を効率的に除去する手段が必要である。そこで本研究では、偏光板を回転させつつ撮影し、対象領域全体の偏光を除去した画像を生成する手法を提案する (図 1)。この手法により鏡面反射の影響を軽減し、室内空間における空間コード化のロバスト性が向上することを期待している。具体的な手順は以下の通りである。

1. 直線偏光板を一定の角度ずつ回転させ、各角度でのグレイコード画像を撮影する。これにより、異なる偏光角度での画像群を取得する。
2. 各画素ごとに撮影した画像群から最小輝度値を選択する。この最小輝度値は反射光が最も少ないと推定される輝度を示す。
3. 選択した最小輝度値を用いて、反射光を抑制した計測用画像を生成する。

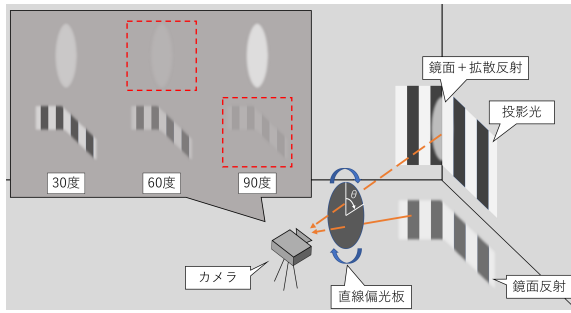


図 1: 提案手法

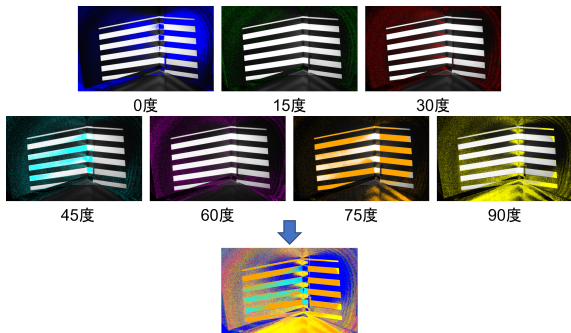


図 2: 使用した画像と作成した画像

4. 生成した計測用画像を基に空間コード化処理を行う。

図 2 は作成に使用した画像と作成した画像の一例を示している。選択された最小輝度値には角度別に色を割り当てている。

4. 実験

4.1 システム構成

本研究では制御 PC、解像度 1280 × 800 の DLP プロジェクタとプロジェクタユニット、解像度 1920 × 1200 のカメラ、レンズに合わせた直線偏光板で構成される。

4.2 実験の目的と概要

図 3 のような鏡面性が強い床と 2 面の壁を含む 3 面に対して空間コード化を行い、提案手法と従来手法で計測した画像を比較することで、提案手法の有効性を示すのが目的である。比較対象となる画像は通常のコード画像（ポジティブ画像）と、その白黒を反転させたネガティブ画像の投影結果の差分に対して、閾値に基づいて 2 値化を行っている。15 度ずつ直線偏光板を回転させて撮影を行い、自然光とディスプレイからの光を除く人工光を遮断した暗環境下で実験を行った。

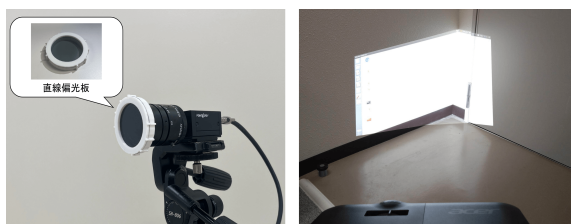


図 3: 左：自作した直線偏光板，右：撮影環境

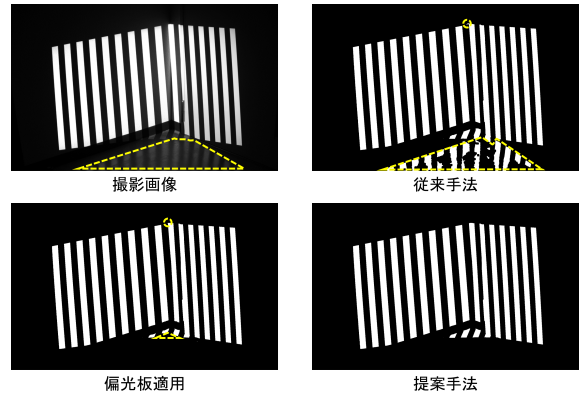


図 4: 各手法の計測結果の比較

4.3 実験結果

図 4 に各手法による計測結果の一部を示す。本来はコードが投影されておらず、鏡面反射光が映り込んでいる領域を点線で囲って示している。従来手法では投影されたコードが鏡面性が強い床に当たり、その反射がカメラに映り込むため、本来投影されるべきでない領域にもコードが映り込んでしまっている。偏光板を用いた撮影による画像では、従来手法と比べて鏡面反射光の影響を抑えることができおり、より正確な計測が可能となった。この画像は偏光板の角度を変えて撮影した一連の画像の中から、鏡面反射光が最も抑制され、コードの取得が最も明瞭であった 90 度の角度で撮影したものを採用した。しかし、一部の床部分のコードが取得できていない。それに対して、提案手法では鏡面反射光の影響を受けず、必要な部分のコードは正確に取得できていることが確認できる。

5. おわりに

本研究では、室内広域投影システムにおける空間コード化の精度を向上させるため、偏光板を用いて反射光を低減させる手法を提案した。本手法により、反射光が抑制されることが実証され、空間コード化の精度が向上したことが確認された。

今後の研究では、さらなるロバストな空間コード化の実現のために福山らの手法を一部併用、HDR 撮影を検討している。また、計測を元に投影したコンテンツの評価、多様な環境下での実験を行い、本手法の有効性と汎用性をさらに検証していく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP21K19789 の助成を受けた。

参考文献

[1] Nayar, S. K., Krishnan, G., Grossberg, M. D., Raskar, R.: Fast separation of direct and global components of a scene using high frequency illumination, In ACM SIGGRAPH 2006 Papers, pp. 935–944, 2006.
 [2] 橋本直己, 福山廣相: グレイコード投影を用いた室内壁面での幾何補正手法, 映像情報メディア学会誌, Vol. 67, No. 9, pp. J347–J351, 2013.