



Volumetric Display による立体像を光源とした プロジェクションマッピングの提案

Projection Mapping by Using 3D Light Sources based on a Volumetric Display

清川真純, 橋本直己

Masumi KIYOKAWA and Naoki HASHIMOTO

電気通信大学 大学院情報理工学研究所

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kiyokawa, naoki}@hashimoto.lab.ucc.ac.jp)

概要: 我々は、動的プロジェクションマッピングにおいて ProCam システムを視覚的に除去するステルス投影法を提案している。この手法では、立体的な対象物へ再帰透過光学系を介して投影を行うための光源が必要となり、従来は実物体にプロジェクタで投影を行うことで実現してきた。本研究では、Volumetric Display により立体像を生成し、光源として利用する方式を提案する。

キーワード: プロジェクションマッピング, 立体光源, 再帰透過光学系

1. はじめに

近年、プロジェクションマッピングは様々な展示やエンターテインメントに用いられ、一般に知られるものとなっている。また、自由に動かすことのできる実物体に対して映像投影を行うことで、その見た目を変化させる動的プロジェクションマッピング[1]についても盛んに研究が行われている。

しかし、従来の動的プロジェクションマッピングでは、高度な映像投影を実現するためにプロジェクタやカメラなどの機材が対象を取り囲むように配置されていた。そのため、プロジェクションマッピングの狙いである、現実感の付与や演出効果の向上を妨げてしまうことが問題となる。そこで我々は、空中像の提示技術を応用した投影[2]と動的プロジェクションマッピングを組み合わせたステルス投影システム[3][4]を提案した。この手法では、立体的な対象物に再帰透過光学系[5]を介して投影を行うための光源が必要となり、従来はダミー物体と称した実物体にプロジェクタで投影を行うことで実現してきた。対象物体とダミー物体は、再帰透過光学系に対し、常に面対象の位置姿勢を保ち続ける必要があるため、そのための同期機構がダミー物体側へ組み込まれる必要があった。また、対象物体の形状毎に、ダミー物体を交換する必要もあり、装置の複雑化が問題となっていた。

そこで、本研究では Volumetric Display を用いて対象物体と面対象な形状の立体像を生成し、ステルス投影システムの光源として利用する方式を提案する。

2. 関連研究

立体像を実現する手法としては、視点位置に応じた視

差画像を提示する手法が広く用いられている[6]。しかし、この手法ではあくまで視差を再現しているだけであり、実際に空中に光が結像しているわけではない。ステルス投影システムに適用可能な立体像は、対象物体の表面形状を空間的に再現する必要があるため、視差画像提示だけでは不十分である。

三次元形状を空間的に再現する立体像提示手法として、Ochiai ら[7]は、レーザー光によって空気をプラズマ化し、空中像を描く手法を提案している。しかし、完全な立体像を生成するためにはプラズマ発光を実現する装置が必要になる等、再現が極めて困難である。また、Okaichi ら[8]は、ライトフィールドディスプレイと再帰透過光学系を組み合わせて三次元形状を再現しているが、レンズアレイ等の光学素子等の入手が困難である。

一方で、朝比奈ら[9]は、Volumetric Display を用いて立体像の提示を実現している。螺旋形状のスクリーンを周期的に運動させ、プロジェクタから立体像の各点とスクリーンが交差するタイミングで投影を行うことで立体像を生成することができる。この手法を実現する高速プロジェクタは、近年様々な研究でも利用されるようになってきており、その他の装置に関しても比較的入手しやすいことから、再現性が高いと考えられる。このため、本研究ではこの周期的に運動するスクリーンとプロジェクタを用いた方法で立体光源を作成する。

3. 提案手法

本研究では、三次元形状を再現する Volumetric Display を用いて立体像を生成し、それを光源として、再帰透過光学系に対し面対称に配置した対象物体に投影する手法を

提案する。

3.1 Volumetric Display

使用する Volumetric Display は、1bit 階調で最高速度 4000fps で の投影が可能な高速プロジェクタ (TI 製 LightCrafter) と DC モータによって回転する螺旋形状のスクリーン、そしてそれらのタイミングを同期するためのエンコーダとマイコン (Arduino) によって構成されている

(図 1)。回転する螺旋形状のスクリーンに投影することで、回転中にスクリーンが通過する領域内で立体像の光点を作り出し、その螺旋を形成している高さを上限値とした奥行きを持つ立体像を生成することができる。今回は 1bit 階調の単色画像を投影可能なプロジェクタを使用するため、生成される立体像も単色となる。このため、対象物体へ投影されたときに投影の可否を確認できるように、格子柄等の模様を立体像へ施すものとした。

この対象物体の 3D モデルから、立体像表面に模様として提示されるサーフェスを切り出し、別途用意した螺旋形状の曲面が回転時に描く軌跡内に重ねて配置する。この時に、両者の差分画像を螺旋形状モデルが一回転する間に投影する画像の枚数に合わせて決定した分離度毎に生成し、これらを投影画像として用いる。

今回は 50 枚の投影画像を使用するため、7.2 度の分離度となった。そして、作成した投影画像を回転する螺旋形状のスクリーンの位相に同期させて投影を行い、対象物体の形状を再現した立体的な光源を生成する。

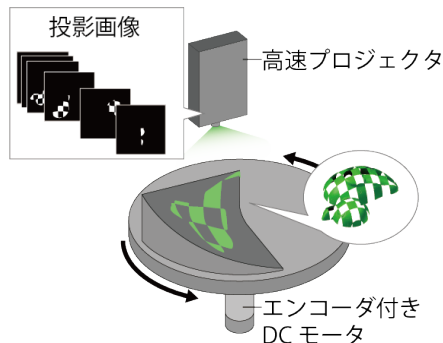


図 1: Volumetric Display

3.2 ステルス投影システムへの適用

ステルス投影システムへ適用させるためには、光源となる立体像と対象物体が再帰透過光学系に対して面对称の形状及び姿勢である必要がある。今回は対象物体と Volumetric Display を図 2 のように配置した。これにより、対象物体の形状が異なる場合でも、形状に合わせた投影画像を投影すればよいため、従来のステルス投影システムを簡易化させることができる。

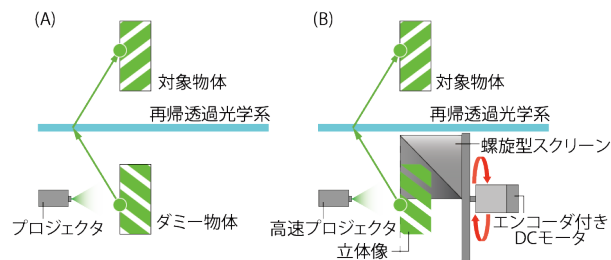


図 2: 従来手法 (A) と提案手法 (B) の構成 (側面図)

4. システムの実装

Volumetric Display を用いたステルス投影を実現する試作装置を図 3 に示す。図 3(b) に示す螺旋形状のスクリーンは、実際の投影には図 1 に示すように全体の 1/4 のみを利用するが、回転バランスを取るためと将来的な拡張のために螺旋を全周に配置したものを用いた。

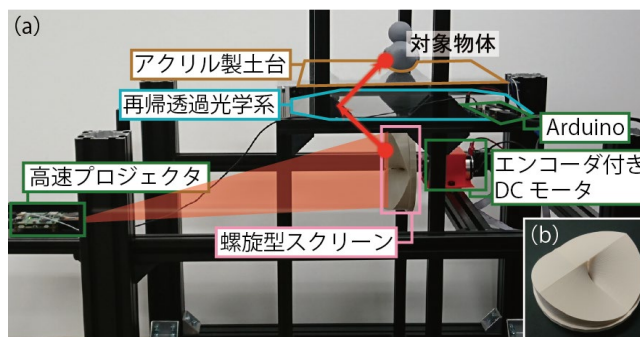


図 3: 作成した装置とスクリーン (側面図)

投影する投影画像と対応するスクリーンの回転角を図 4 に示す。

5. おわりに

本研究では、立体的な対象物体へ再帰透過光学系を介して投影を行うための光源として、Volumetric Display による立体像を利用する方法を提案した。この方法では、従来手法のように、常に対象物体とダミー物体の姿勢を 6DOF で同期させる機構は不要となり、さらに対象物体の変形にも対応することが可能になる。対象物体を切り替える際に、ダミー物体を新たに用意する必要がなくなることも利点といえる。

今後は、再帰透過光学系側を向いていない面への投影や、Volumetric Display の螺旋形状が再帰透過光学系側を向いていない場合に、結像した光を投影対象へ届けることが困難である問題の解決、光源としての輝度の向上、さらには、動的な映像投影への対応の検討、等を行う予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP19H04152 の助成を受けた。

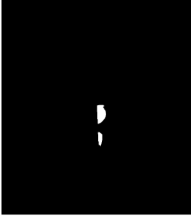

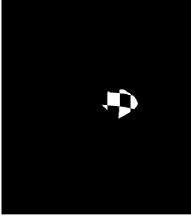

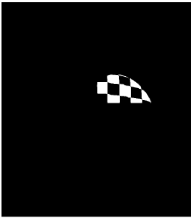

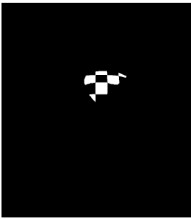


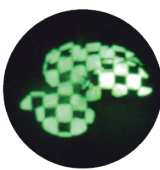
投影画像	スクリーン
	 $\theta = 0^\circ$
	 $\theta = 45^\circ$
	 $\theta = 90^\circ$
	 $\theta = 135^\circ$
	 全分離度の合成

図 4: 投影画像と対応するスクリーンの回転角例

参考文献

- [1] 森久保優輝ら: Dynamic Projection Mapping のための輪郭に基づく反復計算によるロバストな位置姿勢推定, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 5C-08, 2019.
- [2] K. Hiratani et al., : Shadowless Projector: Suppressing Shadows in Projection Mapping with Micro Mirror Array Plate, IEEE VR 2019, pp.1309-1310, 2019.
- [3] M. Kiyokawa et al., : Stealth Projection: Visually Removing Projectors from Dynamic Projection Mapping, SIGGRAPH Asia 2019 Posters, 2019.
- [4] 清川真純ら: ステルスプロジェクションにおける投影物体との同期機構に関する検討, 2019 年映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, 12C-7, 2019.
- [5] Makoto Otsubo : Optical imaging apparatus and optical imaging method using the same. U.S. Patent No. 8,702,252. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2014.
- [6] 宮崎大介 : 全周観察可能なフルパラックス空中立体像の表示技術, TELECOM FRONTIER, No. 84, 2014.
- [7] Y. Ochiai et al., : Fairy Lights in Femtoseconds: Aerial and Volumetric Graphics Rendered by Focused Femtosecond Laser Combined with Computational Holographic Fields, ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol.35, No. 2, May 2016, pp. 17:1-17:14, 2016.
- [8] N. Okaichi et al., : High - quality direct - view display combining multiple integral 3D images, Society for Information Display, November 2018, Volume 27, Issue 1, pp 41-52, 2018.
- [9] 朝比奈怜ら: 周期運動する実素材を使った 3 次元ディスプレイの解像度向上, 第 60 回複合現実感研究会, 2020.