



360 度プロジェクションマッピングのアプリ開発

Development of a 360-degree Projection Mapping Application

永野佳孝¹⁾, 杉森順子²⁾

Yoshitaka NAGANO and Junko SUGIMORI

- 1) 大阪電気通信大学 情報通信工学部 (〒572-8530 大阪府寝屋川市初町 18-8, nagano@osakac.ac.jp)
2) 日本工業大学 先進工学部 (〒345-8501 埼玉県南埼玉郡宮代町学園台 4-1, sugimori.junko@nit.ac.jp)

概要：自由曲面で構成された立体物に対して、4 台のプロジェクタを 90 度間隔に配置して各映像を立体物に合わせてピクセル単位で幾何補正して投影することで、360 度プロジェクションマッピングを実現できる。この実現を簡便に行うために、PC 1 台で 4 台のプロジェクタと幾何計測の 4 台のカメラを制御する専用のアプリを開発した。本展示でその詳細を報告する。

キーワード：プロジェクタ、幾何補正、ブレンディング、自動位置合わせ

1. はじめに

プロジェクションマッピングは、屋外に限らず屋内での投影事例も増加している[1]。特に屋内での展示では、鑑賞者が、投影された立体物に近づいて映像を至近距離から詳細に見ることができ、その機会が増えてきている。

著者らはこのニーズに応えるため、胸像のような自由曲面を持つ立体物に対しても簡便にプロジェクションマッピングを実現できるシステムを開発してきた。このシステムでは、自由曲面の幾何補正情報の測定にプロジェクタカメラシステムを使用し、FPGA ボードで映像を変換する手法を開発した。また、これらの測定から映像の位置調整までの一連のフローを一括で操作することができる Windows 統合アプリケーションも開発した[2]。

昨年度には、このシステムを 4 台用いて、兎像を 360 度どの方向から見ても映像が存在するプロジェクションマッピングの展示を行った[3]。この展示を実現するためには、4 枚の映像を立体物上で正確に位置合わせすることと、映像に明るさのむらが出ないように投影が重なり部分の輝度を調整するブレンディングが必要であった。開発アプリは簡易的な位置合わせとブレンディング機能を実現したが、機器の設置後から展示までの映像調整に約 2 時間を要した。実用化に向けさらに機能を改良し、調整時間の短縮を図る必要があることもわかった。

2. システムの改善方法

2.1 プロジェクタとカメラ制御の統合化

まず、1 台のシステムで 4 組のプロジェクタとカメラのセットを制御可能とするため、アプリケーションを拡張し

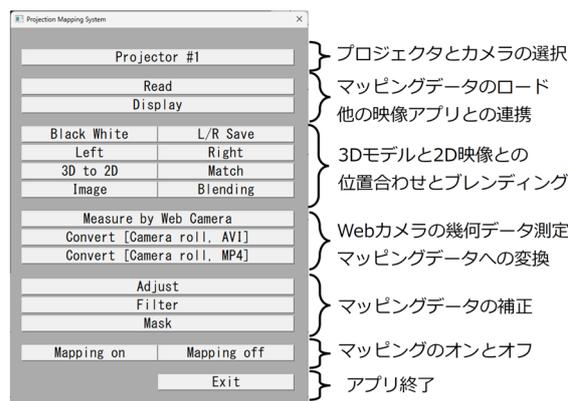


図 1: トップメニュー

た。図 1 に示すよう、アプリのトップメニューに各セットの選定ボタンの追加を行った。

従来システムでは、画像の幾何補正データの取得のために主としてビデオカメラを使用していた。ビデオカメラは、撮影範囲の調整や露出設定が容易であり、ND フィルタの容易も装着である。ND フィルタは、プロジェクタの高輝度性に起因する画像の白飛びと、DLP 方式特有のレインボーノイズの防止に非常に有効である。一方で、ビデオカメラと PC 間のデータ受け渡しに用いる SD カードを、手で抜き差しする必要があり、これが処理の自動化の妨げになっていた。

近年、Web カメラの性能や画質が向上してきたため、4K 解像度に対応する機種を用いることで、幾何補正に必要な撮影範囲を選択することが可能となった。さらに、露出時

間などの細かな調整が可能な機種もあるため、本システムでは、ビデオカメラの使用をやめて、Webカメラのみを使用するように変更した。

なお、露出を最低限にしても画像に白飛びが出るため、WebカメラにもNDフィルタを貼付した。露出調整とNDフィルタとの併用は、屋内照明下でもWebカメラによる高コントラストな撮影を実現した。これにより、立体物に投影されたプロジェクタの幾何補正映像を明瞭に記録することができることから、幾何補正データの計測時に室内を暗室状態にする必要がなくなった。

このように、実用に耐える4K解像度のWebカメラとNDフィルタとの導入は、アプリケーション側からプロジェクタとカメラを統合的に連携させることを可能とした。

2.2 自動位置合わせ

従来システムでは、カメラで撮影した立体物の2D画像に対して、3Dモデルから得られる2D画像を位置合わせする際、まずアプリ上で半自動的に概略の位置を調整した後、操作者が両画像間の特徴点を指定することで、最終的な位置合わせを実現していた。

今回の改良では、形状変形の倍率が均一であり、かつ両画像の輪郭が一致するよることを目標として、強化学習に基づく位置合わせ方法を採用した。

2.3 自動ブレンディング

ブレンディングの調整には、映像の重なり部分を正確に測定するとともに、各プロジェクタの映像を違和感なくつなげて、一つの映像に見せることが求められる。さらに、プロジェクタ映像の位置ずれした際にも映像を滑らかに接続するために、各プロジェクタの中央側の輝度を高く、左右の輝度が低くなるように制約を加える必要がある[4]。

このため、従来のシステムでは各プロジェクタを順次点灯させて重なり領域を検出し、その後に全プロジェクタを点灯させた状態でカメラ画像を取得し、ピクセル毎に輝度が滑らかにつながるように調整を行っていた。加えて、輝度の調整は2点間の直線的な傾斜による手法に限定されており、柔軟性が欠ける面があった。

今回のシステムでは1台のPCで4台のプロジェクタとカメラを統合制御できる構成であるので、完全な自動調整を目指した。輝度を変化させた白色を含む単色映像を用いて、上記の制約の上で、強化学習に基づく位置合わせ方法を採用することで、高精度かつ効率的なブレンディング処理を可能とした。

3. 投影結果

図2にマッピング結果を示す。左から順に、投影前、1台による投影、4台による投影の様子を示している。正確な位置合わせと継ぎ目のないプロジェクションマッピン



(a) 投影前 (b) 1台投影 (c) 4台投影

図2: 投影結果

グを実現しており、表示映像に不自然さは認められない。

4. まとめと今後の課題

本システムでは、4組のプロジェクタとカメラのセットを1台のPCで統合制御可能とし、4つの投影映像に対する位置合わせおよびブレンディングの自動化を試みた。これにより、手動操作は大幅に削減されたが、位置合わせとブレンディングの精度を高めるほど調整時間が増加する傾向にあるため、作業の停止判断を行うための基準を設定する必要がある。

位置合わせの精度を向上させる方法として、3次元情報の活用が挙げられる。本システムではプロジェクタカメラシステムを用いて幾何情報の取得しており、立体物の深度情報がすでに計測されている。深度情報を3Dモデルと照合することで、位置合わせ精度の向上が期待できるとともに、調整時間の短縮にも寄与すると考えられる。

謝辞 本研究は、23K11729の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 藤本樹, 杉森順子: 日本国内におけるプロジェクションマッピング作品事例調査, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 1A3-03, 2017.
- [2] 永野佳孝, 杉森順子: 自由曲面立体物への簡単操作プロジェクションマッピングアプリ開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 111-120, 2023.
- [3] 永野佳孝, 杉森順子: 360度プロジェクションマッピング, 第29回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2G-01, 2024.
- [4] 永野佳孝, 杉森順子: 分散プロジェクタからの同一映像投影を用いたマッピングシステム, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, Vol. 67, pp. 142-143, 2020.