

光技術のプロジェクトンマッピング応用

OPTICAL TECHNOLOGIES IN PROJECTION MAPPING

岩井大輔¹

Daisuke Iwai

大阪大学 基礎工学研究科¹

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

1 まえがき

身の回りの様々な実物に映像を投影重畳し、その見た目・質感を変調することができるプロジェクトンマッピング (PM) は、広告・エンターテインメントのみならず、医療 [11] や製品設計 [14]、遠隔対話 [4]、生活支援 [7, 9, 16] 等への応用も検討されている。身の回りの実物は、非平面で色や模様がついていることが一般的であり、そういった対象上で所望の見えを再現するためのソフトウェア基盤技術の研究が進められてきた。しかしながら、被写界深度の浅さや遮蔽による影といった、ソフトウェア技術だけでは解決できない制約が存在する。本講演では、光技術を応用することで、このような技術的制約を克服し、PM における投影画質の向上を図る試みについて紹介する。

2 フォーカススイープ投影による被写界深度拡張

プロジェクタは投射輝度を高めるため、口径を大きくするよう設計されている。このため、被写界深度は狭く、通常のプレゼンテーション用途においても、設置するたびにフォーカスをあわせる作業が一般的である。立体物や移動物体に映像投影する PM においては、被写界深度の問題はクリティカルである。

この問題に対して、我々を含め多くの研究者が、異なる範囲でフォーカスの合うプロジェクタを複数台用意し、投影対象上の各点で、最も鮮明な映像を投影できるプロジェクタを選択する、複数台投影アプローチの研究を進めてきた [10, 2]。一方、プロジェクタ台数の増加にともなう、費用と設置の手間が増大する点が問題であった。これに対し、我々はプロジェクタの投影レンズとして、焦点距離を高速に電流制御可能な液体レンズを使用し、焦点距離を 60 Hz で前後に振動させるフォーカススイープを適用することで、1 台のプロジェクタの被写界深度を拡張する技術を実現した [5]。

3 空中像光学系を用いた影なし投影

投影対象を手を持って移動させたり、それに触れて投影コンテンツを切り替えたりするインタラクティブな PM においては、ユーザの手や身体が投影対象をプロジェクタから遮蔽して影を生じさせてしまうという問題がある。この問題に対しても、従来、我々も含め多くの研究者によって、複数台のプロジェクタを用いて影の部分を補い合う影補償技術が確立されてきた [6, 8]。しかしながら、影発生から影補償までには計算処理による遅延が発生してしまうことから、インタラクティブコンテンツへの没入感を阻害するという問題があった。

この問題に対して、我々は空中像光学系で用いられてきた 2 面直交リフレクタアレイをプロジェクタのレンズとして見なす、大口径 PM の研究を進めてきている [3]。具体的には、大面積 (630 cm 四方) の同光学素子を投影対象の上部に設置し、その面対象となる位置に投影対象の形状を鏡反転させた実物 (以降、ミラー物体と呼ぶ) を設置する。この光学素子は、ミラー物体面で拡散した光を投影対象上に集光させる働きがある。このため、ミラー物体の見えをプロジェクタからの投影映像で切り替えると、投影対象の見えも切り替わる。ユーザの手が光学素子と投影対象との間に差し入れられる場合でも、光学素子に対してユーザの手が小さいため、投影映像は完全には遮蔽されず、影のない PM が実現できる。

4 空間光位相変調器を用いた非平面での均一画素密度投影

PM において非平面への映像投影は一般的だが、その際、入射角の違いにより、画素密度 (空間解像度) が面上で不均一になるという問題がある。この問題に対しても、従来は分散配置した複数台のプロジェクタを用い、投影対象上の各点で最も解像度高く投影できるプロジェクタを選択する、複数台投影アプローチの技術開発が進められてきている [1]。

これに対して我々は、投影光の光路長 (位相) を空間的に制御することで各画素の投射方向を操作し、対象面上での画素密度を均一化する技術の開発を進めている [15]。2 軸 MEMS ミラーによりラスタスキャンする方式のレーザプロジェクタの出射口に、空間光位相変調器を設置し、投影各画素の出射方向を操作するシステムを作成した。現在は予備的な実証実験により、画素密度均一化が可能であることを確認したところである。

5 反射率の空間変調を用いた高コントラスト投影

環境光は投影結果の黒レベルを上昇させることから、PM は暗室での利用が前提となっている。また、たとえ暗室であっても、相互反射や表面化散乱などの大域照明効果によって、低輝度領域の明るさが上昇し、コントラストが劣化してしまう。

この問題に対して我々は、投影対象の反射率を空間変調することで投影結果のコントラスト劣化を改善する手法を提案している [12, 13]。投影結果の輝度は、投影照度と対象面反射率との積となることから、暗くしたい領域の反射率を下げることで、投影結果のコントラストを向上させることが可能である。我々は、フルカラー印刷可能な 3D プリンタを用いた立体物上での PM のコント

ラスト改善 [12] や、紫外線照射によって発色するフォトクロミック材料を対象に塗布することで反射率を時空間変調し、動画コンテンツのコントラストを改善 [13] する技術を開発した。

6 おわりに

上記のように、我々は光技術を応用することで、PM固有の種々の技術課題を解決可能であることを示してきた。このように光学系を含むハードウェアおよびソフトウェアを同時に最適化することで、新たな表現を可能とするディスプレイ技術は、Computational Displays とも呼ばれており、VR/AR の研究分野において頭部搭載型ディスプレイ (HMD) の輻輳調節矛盾等の種々の技術課題を解決する技術革新が進んでいる。今後も光技術の発展が、VR/AR のディスプレイ技術の発展においてキーとなることは間違いないものと考えている。

参考文献

- [1] Daniel G. Aliaga, Yu Hong Yeung, Alvin Law, Behzad Sajadi, and Aditi Majumder. Fast high-resolution appearance editing using superimposed projections. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 31, No. 2, April 2012.
- [2] O. Bimber and A. Emmerling. Multifocal projection: a multiprojector technique for increasing focal depth. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 12, No. 4, pp. 658–667, 2006.
- [3] Kosuke Hiratani, Daisuke Iwai, Parinya Pungpongsanon, and Kosuke Sato. Shadowless projector: Suppressing shadows in projection mapping with micro mirror array plate. In *Proceedings of IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 1309–1310, 2019.
- [4] D. Iwai, R. Matsukage, S. Aoyama, T. Kikukawa, and K. Sato. Geometrically consistent projection-based tabletop sharing for remote collaboration. *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 6293–6302, 2018.
- [5] Daisuke Iwai, Shoichiro Mihara, and Kosuke Sato. Extended depth-of-field projector by fast focal sweep projection. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 21, No. 4, pp. 462–470, 2015.
- [6] Daisuke Iwai, Momoyo Nagase, and Kosuke Sato. Shadow removal of projected imagery by occluder shape measurement in a multiple overlapping projection system. *Virtual Reality*, Vol. 18, No. 4, pp. 245–254, Nov 2014.
- [7] Daisuke Iwai and Kosuke Sato. Limpid desk: See-through access to disorderly desktop in projection-based mixed reality. In *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, p. 112–115, 2006.
- [8] C. Jaynes, S. Webb, and R.M. Steele. Camera-based detection and removal of shadows from interactive multiprojector displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 10, No. 3, pp. 290–301, 2004.
- [9] Kazuhiro Matsushita, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Interactive bookshelf surface for in situ book searching and storing support. In *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference*, 2011.
- [10] Momoyo Nagase, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Dynamic defocus and occlusion compensation of projected imagery by model-based optimal projector selection in multi-projection environment. *Virtual Reality*, Vol. 15, p. 119–132, 2011.
- [11] Hiroto Nishino, Etsuro Hatano, Satoru Seo, Takashi Nitta, Tomoyuki Saito, Masaaki Nakamura, Kayo Hattori, Muneo Takatani, Hiroaki Fuji, Kojiro Taura, and Shinji Uemoto. Real-time navigation for liver surgery using projection mapping with indocyanine green fluorescence: Development of the novel medical imaging projection system. *Annals of Surgery*, Vol. 267, No. 6, pp. 1134–1140, 2018.
- [12] Saeko Shimazu, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. 3d high dynamic range display system. In *2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 235–236, 2011.
- [13] Shoichi Takeda, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Inter-reflection compensation of immersive projection display by spatio-temporal screen reflectance modulation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 22, No. 4, pp. 1424–1431, 2016.
- [14] T. Takezawa, D. Iwai, K. Sato, T. Hara, Y. Takeda, and K. Murase. Material surface reproduction and perceptual deformation with projection mapping for car interior design. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 251–258, 2019.
- [15] Haruka Terai, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Projector pixel redirection using phase-only spatial light modulator. In *Proceedings of the International Display Workshops (IDW)*, pp. 663–665, 2020.
- [16] Yuta Ueda, Yuki Asai, Ryuichi Enomoto, Kai Wang, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato. Body cyberization by spatial augmented reality for reaching unreachable world. In *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference*, 2017.