

複数モバイルプロジェクターを利用した 投影端末の移動に頑強な情報投影手法の一検討

三田 昌輝^{1,a)} 阿部 亨^{1,2,b)} 菅沼 拓夫^{1,2,c)}

概要：近年、ユーザが自身の携帯するモバイルプロジェクターを用い、文字、図形、画像などの情報を各種物体の表面へ直接提示（投影）する手法が注目を集めている。プロジェクターで投影した情報は、投影箇所周辺の複数のユーザへ同時に提示することができ、また、モバイルプロジェクターを用いることで、様々な場所での情報投影が可能となる。従って、モバイルプロジェクターを用いた情報投影手法は、例えば、複数人が共同して行う作業を支援する場合等で特に有効であると考えられる。しかし、従来の手法では、モバイルプロジェクターを携帯するユーザが移動すると、目標とする投影箇所とプロジェクターとの位置関係が変化し、見易い状態で目標箇所に情報を投影し続けることが難しい場合があった。そこで、本稿では、モバイルプロジェクターを複数のユーザが各々携帯している状況を考え、各プロジェクターと目標投影箇所との位置関係から、最も見易い状態で情報を投影できるプロジェクターを逐次決定し、投影に用いるプロジェクターを切り替えることで、投影情報の見易さを維持する手法を提案する。

1. はじめに

現在、プロジェクターを用い、文字、図形、画像などの情報を各種物体の表面へ映像として直接提示（投影）する手法が注目を集めている [1], [2], [3]。この手法は、携帯端末の画面や Head Mounted Display (HMD) を用いた情報提示手法と比べ、複数のユーザへ同時に情報を提示することが容易、物体表面への投影により直感的な情報の提示が可能などの特徴を持つ。また、近年、小型化されたモバイルプロジェクターの普及により、ユーザがプロジェクターを携帯し、様々な場所、様々な形態で情報投影を行うことが可能となってきている。

このようなモバイルプロジェクターを用いた情報投影手法は、例えば、複数人が共同で行う作業を支援する場合などで特に有効であると考えられる。しかし、従来の手法では、モバイルプロジェクターを携帯するユーザが移動すると、目標とする投影箇所とプロジェクターとの位置関係が変化し、見易い状態で目標箇所に情報を投影し続けることが難しくなり、作業の効果的支援が困難となる場合があった。

そこで本稿では、図 1 に示すように、モバイルプロジェ

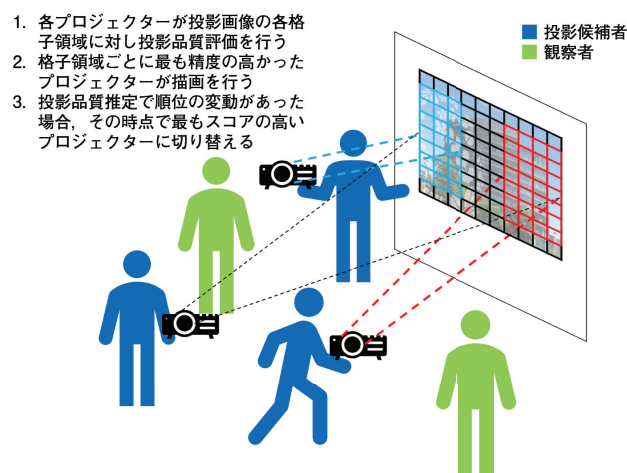


図 1 提案手法の概要

クターを複数のユーザが携帯している状況を考え、情報の投影に際し、複数台のプロジェクターを連携させることにより、プロジェクターが移動する場合でも投影情報の見易さを維持する手法を提案する。提案手法では、各モバイルプロジェクターがカメラと組み合わされたプロジェクターカメラシステムを構成しているものとし、各プロジェクターと目標投影箇所との位置関係の推定と、目標投影箇所を格子状に分割した各部分へ最も見易い状態で情報を投影できるプロジェクターの決定を逐次行い、その結果に基づき、目標投影箇所の各部分へ適切に情報が投影されるように投影に用いるプロジェクターの切り替えを行う。

¹ 東北大学大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

² 東北大学 サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University

a) mita@ci.cc.tohoku.ac.jp

b) beto@tohoku.ac.jp

c) suganuma@tohoku.ac.jp

2. 関連研究

作業に必要な情報（文字や図形）を映像としてプロジェクターから作業対象表面へ直接投影することで作業の支援を図る手法が多数提案されている [2], [3], [4]. プロジェクターから投影した情報の視認性は、プロジェクターと投影箇所の位置関係や投影箇所の状態により大きく異なり、作業支援の効果を高めるためには、投影した情報の見易さを向上させることが重要な課題となっている [5]. そのため、情報を投影する際に、投影情報の見易さの改善を図るための検討や手法の提案が行われている。

例えば、[6], [7] では、投影箇所の状態（模様や凹凸など）と投影情報の見易さ（情報を読み取る時間など）の関係に基づき、情報投影箇所を適切に選択する手法について検討が行われており、[8] では、モバイルプロジェクターを体に装着し情報を投影する際に、情報を見やすく投影するための装着箇所について検討が行われている。

また、Iwai ら [9] は、プロジェクターとカメラを組み合わせたプロジェクターカメラシステムを用い、情報が投影された状態を撮影した画像から、投影情報の可視性や背景とのコントラスト比などに基づいて投影情報の見易さを評価し、見易さの評価値が高くなるように、情報の投影箇所を変更する手法を提案している。越後 [10] は、投影情報のコントラスト比により投影情報の見易さを評価し、コントラスト比が高くなるように、投影情報と背景の配色を修整する手法を提案している。これらの従来手法は、一台のプロジェクターで情報を投影することを想定し、プロジェクターへの入力を制御することで投影情報の見易さの改善を図っている。従って、プロジェクターが移動し、目標とする投影箇所との位置関係が大きく変化するために生じる問題に対しては、効果が得られるとは限らない。

一方、一台のプロジェクターでは対処できない問題の解決を図るために、複数台のプロジェクターを連携させ情報を投影するアプローチも提案されている。その一つに、複数台のプロジェクターからの投影映像を並置することで投影範囲を拡大するものがあり、並置した投影像の間に生じる位置ずれを抑えるために、各プロジェクターと投影箇所の位置関係を正確にキャリブレーションする手法 [11], [12] や、並置した投影像同士で色調の違いが生じないようにするために、各プロジェクターの特性の違いを補正し色調を揃える手法 [13], [14] 等が提案されている。

また、坂梨ら [15] は、複数台のプロジェクターから同一箇所へ重畳して情報を投影する状況を考え、一部のプロジェクターの投影光が障害物（人物等）で遮られる場合でも、他のプロジェクターの投影光の明るさを調整することで、投影箇所に影が生じないようにする手法を提案している。さらに、岩井ら [16] は、複数台のプロジェクターから一つの物体へ情報を投影する状況を考え、投影する情報の

品質が最も高くなるプロジェクターを物体の面毎に決定する手法を提案している。

以上のように、複数台のプロジェクターを連携させ情報を投影する手法の多くは、プロジェクターが固定されていることを前提としており、複数台の各々移動するモバイルプロジェクターを用いる場合については、モバイルプロジェクター同士を利用環境の状況を考慮し効果的に連携させる新たな情報投影手法が必要となる。

3. 提案

提案手法は、目標投影箇所と各プロジェクターの位置関係の決定、目標投影箇所の各部分へ各プロジェクターから投影した情報の見易さの推定、各部分へ情報を投影するプロジェクターの切り替えを行う機能により構成される。

以下、システムの構成と各機能について説明する。

3.1 システムの構成

本システムの構成を図 2 に示す。システムは、中央サーバと複数台のノードで構成される。各ノードは、モバイルプロジェクター、カメラ、および制御用のエッジサーバ（携帯端末）で構成されており、モバイルプロジェクターとカメラのパラメータ、両者の位置関係は事前にキャリブレーションされているとする。目標投影箇所の周辺にはユーザが複数人おり、その内の何人かはノードを各々携帯しているものとする。

中央サーバは、投影する情報を映像として管理しており、目標投影箇所の各部分への情報の投影を担当するノードの決定を行い、決定された各ノードへ対応する映像を各々送信する。担当する部分の映像を受信した各ノードは、自身のプロジェクターの状態に応じた映像の変換をエッジサーバで行い、変換した映像をプロジェクターへ入力し目標箇所へ投影する。

また、各ノードは、自身のカメラで撮影した映像に基づき、自身のプロジェクターと目標投影箇所の位置関係の決定、目標投影箇所の各部分へプロジェクターから情報を投影した場合の見易さの推定を行い、推定結果を中央サーバへ送信する。中央サーバは、得られた推定結果に基づき、投影情報の各部分の投影を担当するノードの更新を行う。

3.2 目標投影箇所と各プロジェクターの位置関係の決定

情報を投影する対象面は平面であるとし、対称面上の描画範囲の四隅にマーカーとしてラベルを予め貼付する。図 3 に示すように、ユーザが携帯するノードのカメラで、四隅のマーカーを全て検出できる場合、そのノードを情報投影を担当する候補とする。ノードと投影箇所の間に障害物がある場合は、ノードのカメラでマーカーの一部が検出できなくなるため、そのようなノードは投影担当候補から除外される。これにより、ノードのプロジェクターから投

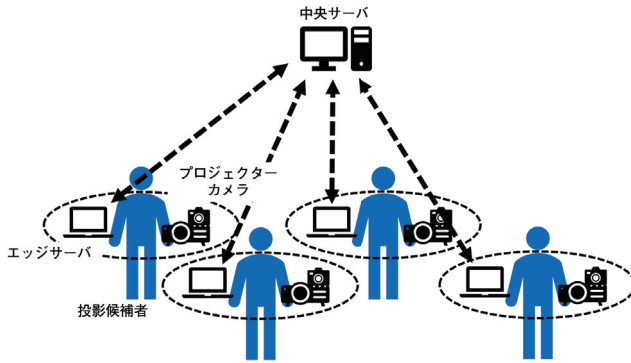


図2 システムの構成

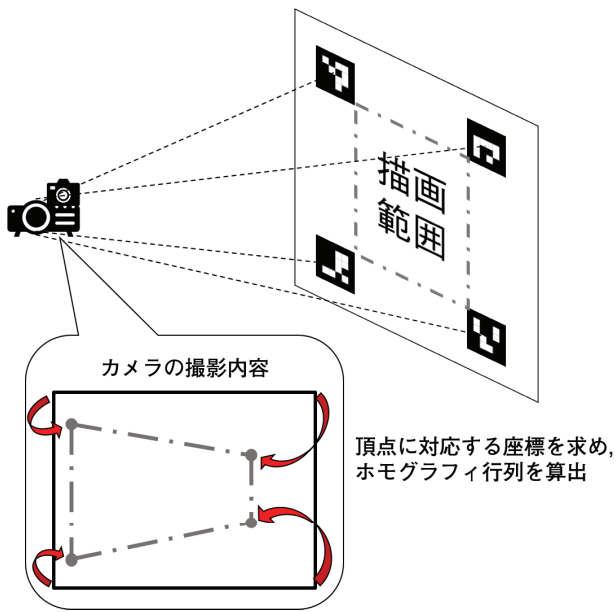


図3 マーカーによる投影対象検出

影された映像が障害物で遮蔽され、影による欠損が投影情報に生じる可能性の低減を図る。

情報を投影する対象面上の2次元座標を (x, y) 、ノードのプロジェクターから投影する映像上での2次元座標を (u, v) とすると、両者の関係は次式で表すことができる。

$$\begin{bmatrix} wx \\ wy \\ w \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

従って、対象面上の目標箇所へプロジェクターから投影を行うためには、式(1)中のホモグラフィ行列 H を決定する必要がある。ホモグラフィ行列 H は、対象面上での各マーカーの2次元座標、ノードのカメラで撮影した画像上での各マーカーの2次元座標、および事前に求めたカメラとプロジェクターの位置関係から計算する。

現在は、対象面上の描画範囲の四隅にのみマーカーを貼付する場合を想定しているが、描画範囲の辺上により多くのマーカーを貼付することで、目標投影箇所と各プロジェクターの位置関係の高精度な決定と、障害物により遮蔽の詳細な決定が可能になると考えられる。また、マーカーを

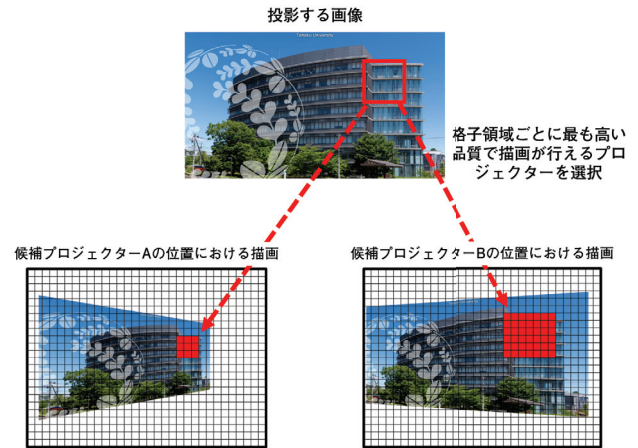


図4 格子領域ごとの投影品質推定の概要

用いずに、対象面上で特徴点を検出し SLAM 等を適用することで、目標投影箇所と各プロジェクターの位置関係を決定する手法についても検討している。

3.3 投影情報の見易さの推定

目標投影箇所を分割した各部分へ各プロジェクターで情報を投影した場合の投影情報の見易さの推定を行う。この結果を用いることで、3.4で述べるように、各部分への情報投影に適したプロジェクターを決定することが可能となる。

本稿では、対象面上の描画範囲全体に映像として情報が投影されるものとし、映像全体を $M \times N$ 個に分割した各格子領域 $P_{m,n}$ ($m = 1, \dots, M, n = 1, \dots, N$) を投影する際に使用するプロジェクターの画素数で見易さの評価を行う。対象面上に $P_{m,n}$ を正しい形状で投影する際、プロジェクターの対応する画素数は、図4に示すように、プロジェクター自体の解像度やプロジェクターと投影表面の位置関係により変化する。そこで、3.2の式(1)に示した関係を用いることで、 $P_{m,n}$ に対応する画素数（描画画素数）をプロジェクター毎に求め、描画画素数が多いほど高品質な投影が可能と判断する。

3.4 投影品質に応じたプロジェクターの切り替え

3.2で述べたように、情報投影を担当する候補として決定された各ノードのプロジェクターについて、3.3で述べたように、格子領域ごとの描画画素数を求める。中央サーバでは、各ノードで得られた描画画素数を集計し、格子領域ごとに、描画画素数が最大のノード（プロジェクター）を選択する。中央サーバによって選択されたノードには、該当する格子領域に投影する情報が送信され、情報を受信したノードは、担当する格子領域の映像をホモグラフィ行列により変換し、プロジェクターが投影を行う。

図5に示すように、各格子領域に対する描画画素数によるノードの選択は定期的実施され、順位が入れ替わった際は投影するプロジェクターを随時切り替える。

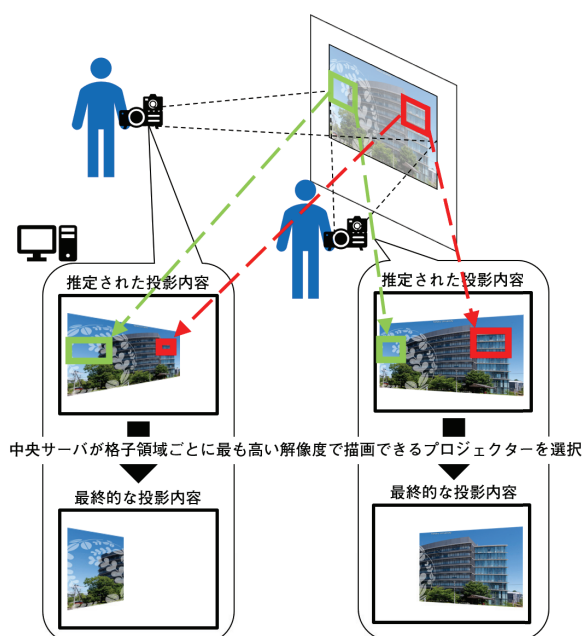


図 5 投影品質ごとのプロジェクター選択の概要

4. おわりに

本稿では、作業支援を受けるため複数人がモバイルプロジェクターを持ち情報投影を行う状況において、投影者の移動に頑強な投影プロジェクターの切り替え手法の提案を行った。今後は提案した手法の実装を行い、その有効性の評価を行っていく。またマーカーではなく SLAM を用いた位置推定手法の検討および実装を行う予定である。さらに、モバイルプロジェクターを人間の頭部に装着した場合の揺れによる投影のブレを補正する手法の開発を行うつもりである。

参考文献

- [1] 根津 禎ほか: どこでも AR, 日経エレクトロニクス, 2017 年 7 月号, No. 1181, pp. 27-50 (2017).
- [2] Büttner, S., Mucha, H., Funk, M., Kosch, T., Aehnelt, M., Robert, S. and Röcker, C.: The design space of augmented and virtual reality applications for assistive environments in manufacturing: A visual approach, *Proc. 10th Int. Conf. Pervasive Technol. Relat. Assistive Environ.*, pp. 433-440 (2017).
- [3] Uva, A. E., Gattullo, M., Manghisi, V. M., Spagnulo, D., Cascella, G. L. and Fiorentino, M.: Evaluating the effectiveness of spatial augmented reality in smart manufacturing: A solution for manual working stations, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 94, No. 1-4, pp. 509-521 (2018).
- [4] 釣賀亮佑, 大沼信也, 阿部 亨, 菅沼拓夫: モバイルプロジェクターとカメラを利用した作業支援のための情報投影手法, 情報処理学会第 78 回全国大会 講演論文集, Vol. 2, pp. 275-276 (2016).
- [5] Kruijff, E., Swan, J. E. and Feiner, S.: Perceptual issues in augmented reality revisited, *Proc. IEEE Int. Symp. Mixed Augmented Reality*, pp. 3-12 (2010).
- [6] Donato, M. D., Fiorentino, M., Uva, A. E., Gattullo, M. and Monno, G.: Text legibility for projected augmented

- reality on industrial workbenches, *Comput. Ind.*, Vol. 70, No. C, pp. 70-78 (2015).
- [7] Funk, M., Kosch, T., Wolf, K., Knierim, P., Mayer, S. and Schmidt, A.: Automatic projection positioning based on surface suitability, *Proc. 5th ACM Int. Symp. Pervasive Disp.*, pp. 75-79 (2016).
- [8] 太田脩平, 寺田 努, 塚本昌彦: 投影映像の視認性を考慮した装着型プロジェクタの装着位置評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, pp. 1882-7764 (2012).
- [9] Iwai, D., Yabiki, T. and Sato, K.: View management of projected labels on nonplanar and textured surfaces, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, Vol. 19, No. 8, pp. 1415-1424 (2013).
- [10] 越後佑暉: 投影型 AR 技術を用いた作業支援における情報の視認性向上のための投影光制御手法, 修士論文, 東北大学大学院情報科学研究科 (2018).
- [11] Bajestani, S. A., Pourreza, H. and Nalbandian, S.: Scalable and view-independent calibration of multi-projector display for arbitrary uneven surfaces, *Mach. Vision Appl.*, Vol. 30, pp. 1191-1207 (2019).
- [12] Wang, X., Yan, K. and Liu, Y.: Automatic geometry calibration for multi-projector display systems with arbitrary continuous curved surfaces, *IET Image Processing*, Vol. 13, No. 7, pp. 1050-1055 (2019).
- [13] 有田千紘, 山本豪志朗, 浦西友樹, 武富貴史, 宮崎 純, 加藤博一: 複数の携帯型プロジェクタによる投影面合成時の相対的色補正, 平成 24 年度情報処理学会関西支部支部大会 講演論文集 (2012).
- [14] Miyagawa, I., Sugaya, Y., Arai, H. and Morimoto, M.: An iterative compensation approach without linearization of projector responses for multiple-projector system, *IEEE Trans. Image Process.*, Vol. 23, No. 6, pp. 2676-2687 (2014).
- [15] 坂梨 豊, 橋本直己: 前面投影システムにおける複数台プロジェクタのシームレスな切り替えによる鑑賞可能領域の拡張, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 34, No. 10, pp. 133-136 (2010).
- [16] 岩井大輔, 田中章文, 佐藤宏介: 複数重畳投影による立体模型の投影型彩色のための投影結果推定に基づくプロジェクタ選択法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 20, No. 2, pp. 75-81 (2015).