



頭部搭載型プロジェクタを用いた ウェアラブル拡張現実感システム

Wearable Augmented Reality System Using Head-mounted Projector

飯盛正慶¹⁾, 小室孝¹⁾

Masamichi IIMORI, Takashi KOMURO

1) 埼玉大学 理工学研究科 (〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区大字下大久保 2 5 5)

概要: 本論文では, 場所の制約なく使用でき, 実環境に固定された映像が提示できるウェアラブル拡張現実感システムを提案する. 提案するシステムでは, プロジェクタを頭部に搭載し, 頭部の位置姿勢をリアルタイムに推定することにより, 表示する仮想空間上の物体が実空間に固定されているような映像を提示する. さらに, プロジェクタの位置を視点の位置に近づけることで, 投影面の形状に依存しない映像投影を可能にする.

キーワード: 拡張現実, ウェアラブルデバイス, プロジェクタカメラシステム, トラッキングカメラ

1. はじめに

近年, 眼鏡型のウェアラブルデバイスであるスマートグラスを用いたシステムが, 作業支援の分野で導入され始めている. このようなウェアラブルデバイスは, 場所の制約なく使用可能である上に, 身体に装着して使用するため両手が利用できることから, 従来のタブレット端末などを用いたシステムに代わって利用されるようになってきた. しかし, スマートグラスは, 常にユーザの視界に映像を提示できる反面, 表示できる範囲が狭く, 多くの情報が表示できないという問題がある.

透過型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて, 注釈やナビゲーション情報などの画像を現実世界に重ねて表示する拡張現実 (AR) に関する研究が存在する [2][6][7]. 実空間に仮想物体を重畳表示することで, 見る場所によって表示する映像を変化させることができるので, 広い範囲に映像を表示することが可能である. ユーザは HMD を装着し, 実空間に重畳表示されている仮想物体に対して空中や平面上でインタラクションを行うことができる. しかし, 装置が大きく重くなりがちなことや, ハーフミラーを通して見る実シーンが暗くなるといった問題がある. また, HMD による立体映像をユーザがみる際には, 輻輳距離と焦点距離のずれにより眼精疲労が発生する場合がある.

これに対し, プロジェクタを用いて実空間上の面に情報提示を行う研究がある [1][3][11]. プロジェクタによって平面に映像を投影し, ユーザはタッチなどの操作によりインタラクティブに情報を受け取ることができる. HMD による重畳表示に比べ, 視界を塞ぐことなく, 裸眼で映像を見ることができる. しかし, 多くの情報を表示するには広い範囲に映像を投影することが必要だが, 投影する範囲を広くするためにはプロジェクタと投影面の距離を離したり, プ

ロジェクタを複数設置したりする必要があり, 設置場所の制約が存在する.

この課題を解決する方法として, 持ち運び可能なプロジェクタを用いた研究がある [4][10]. プロジェクタを手を持ってプロジェクタの向きや位置に合わせて映像を変化させ, 広い映像の一部を表示することにより擬似的な大画面を実現している. しかしこれらは, 使用者が映像を投影したい場所にプロジェクタを向ける必要があるため, プロジェクタを動かす手間が生じる. また, 大画面を実現するには広い平面が必要で, 投影面に凹凸があると映像に歪みが生じるという問題もある.

常に視線の先に映像を投影できる AR システムとして, 頭部にプロジェクタを搭載する研究が存在する [8][9]. これらの研究で提案されたシステムは, 耳や頭の上にカメラとプロジェクタを装着して, 映像に対してジェスチャーをすることで投影されたコンテンツを操作できる.

見目は, プロジェクタとカメラをユーザーの頭に装着するテーブルトップインターフェースを開発し, 設置場所の制約なく疑似的に大画面なディスプレイを実現した [5]. このシステムは, ユーザーの頭に取り付けられた深度カメラで撮影された画像から検出された平面を使用して, 頭の位置と向きを推定している. ただし, この方法は平面での使用に限定される.

この制約をなくするために, 本研究ではカメラ自身の位置姿勢を推定できるトラッキングカメラを導入する. これにより, 本システムは平面を必要とせずユーザーの頭の位置と向きを推定できる. このカメラを用いることで, 頭部の向きや位置に応じた画像を提示することができ, 実環境上に仮想物体を固定することができる. その結果, 作業空間を拡張することができ, プロジェクタの表示範囲に制限

されない映像を表示することが可能になる。また、プロジェクタの視点位置とユーザーの視点が近いいため、凹凸のある面に投影しても映像が歪んでいないように見えるという利点もある。したがって、映像を投影するのに十分な大きさの平面がない環境でも本システムを使用できる。

2. システムデザイン

本章では、提案するウェアラブル AR システムのデザインについて述べる。HMD による AR システムの課題であった装置の重量や身体的負担を解決するため、小型で軽量のシステムを目指す。また、投影面の形状に関係なく映像の提示が可能で、作業空間を拡張できるシステムを提案する。

2.1 頭部搭載型プロジェクタを用いたウェアラブル AR システム

提案するシステムでは、ユーザは小型プロジェクタとトラッキングカメラを頭部に装着する。トラッキングカメラで推定した頭部の位置姿勢の情報は、表示する仮想空間にリアルタイムで反映させることができる。頭部の動きに合わせて仮想空間上のカメラを移動させることで、図 1 のように仮想空間上に配置した物体が実空間上に固定されるような見え方を提示する。これにより、擬似的な視野の拡大を可能にする。

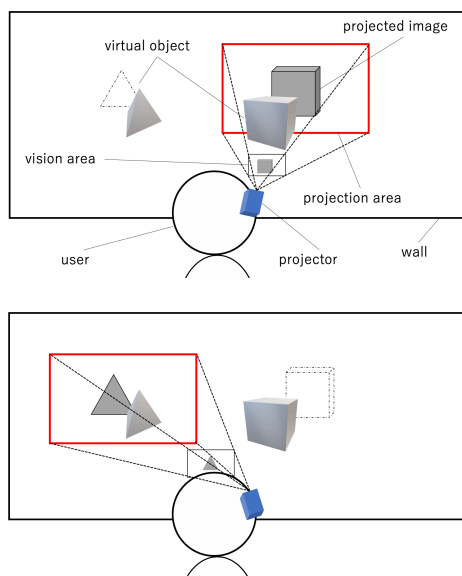
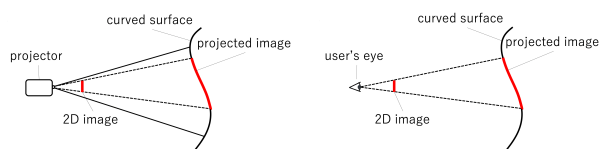


図 1: システムの動作イメージ

2.2 投影面の形状に依らない映像提示

プロジェクタで映像を提示するには、一般に投影する平面が必要であるが、プロジェクタの投影に必要な平面が常にシステムの利用者の周りにあるとは限らないので、従来のプロジェクタでは使用できる環境に制限がある。提案するシステムでは、装着者の視点の近くに小型プロジェクタを装着することで、平面以外の面に映像を投影しても装着者から見ると歪みがない映像を提示できる。

例えば、図 2(a) のように曲面に映像を投影する場合を考える。投影する映像自体は、図 2(a) の projected image のように歪んで表示されるが、頭部にプロジェクタを装着することによって視点の位置とプロジェクタの位置が近くなるので、投影する像 (図 2(a) の 2D image) と装着者から見える像 (図 2(b) の 2D image) がほぼ等しくなる。これにより、曲面に投影しても装着者からは平面に投影したときと同じ見え方で仮想物体を提示することができる。



(a) プロジェクタが投影する像 (b) ユーザが見える像

図 2: 曲面への投影

2.3 作業空間の拡張

従来のプロジェクタは表示できる範囲に制限があり、範囲を広げるには投影面とプロジェクタの距離を大きくする必要がありという制約がある。提案するシステムでは、頭部の位置姿勢をリアルタイムに推定し、プロジェクタで表示する仮想空間上の位置に反映させることができる。仮想空間内のカメラの位置を頭部の動きに合わせて移動させることで、仮想物体が実空間に固定されたような映像を提示することができる。見る場所によって表示する映像を変化させることが可能になり平面全体を使って映像を投影できるので、擬似的な大画面を実現することができる。

3. 実装と評価

提案するシステムの有効性を確認するため、2 節で述べたデザインを実装したシステムを開発した。さらに、試作システムの性能の評価を行った。

3.1 装置の概要

モバイルプロジェクタとトラッキングカメラを用いて、図 3 に示すような試作システムを作成した。モバイルプロジェクタは SEKONIX 社の MiNi-Ray を用い、トラッキングカメラは Intel 社の RealSense T265 を用いた。このトラッキングカメラは 2 つの魚眼カメラと慣性計測装置を搭載しており、高速な自己位置推定アルゴリズムを実行できる。プロジェクタは 44×44×14mm/27g、カメラは 108×25×13 mm/55g と頭部に装着する際に負担にならない重量になっている。また、この試作システムでは、プロジェクタとトラッキングカメラはデスクトップ PC (CPU: Intel Core i7-6700 3.4 GHz RAM: 8 GB) に接続して、PC には演算に用いる。

トラッキングカメラで頭部の位置姿勢を推定し、取得した自己位置を仮想空間上に反映させるために推定した自己位置を利用できる RealSense SDK を用いた。仮想空間の描画には Unity を用いた。

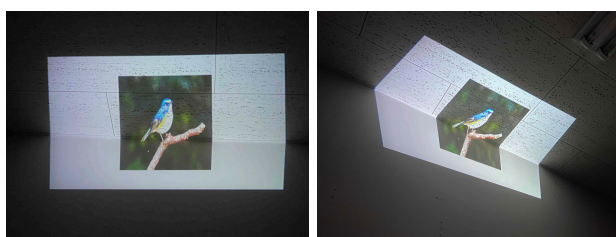


図 3: 試作システムの外観

3.2 投影面の形状に依らない映像提示

ユーザの視点の位置の近くにプロジェクタを配置することで、ユーザが見える像とプロジェクタが投影する像がほぼ一致するので、投影面の形状に依らない映像提示を可能にする。

本節ではその手法の有効性を評価するために、システムの装着者からの見え方と装着者とは異なる位置からの見え方を比較する。装着者は壁から 125.5cm の位置に座り、壁と天井の境界に映像を投影する。この時、床からプロジェクタまでの高さは 112cm で、床から天井までの高さは 258cm である。図 4(a) は装着者からの見え方で、図 4(b) は装着者から 82cm 右にずれた位置から見たときの見え方である。投影面に角度がある場合でも、映像の見え方は平面に投影したときに比べて歪みがほとんどなく、投影面の形状に依らない映像が提示できていることが確認できる。



(a) ユーザの視点からの見え方

(b) ユーザの位置より右からの見え方

図 4: 曲面への投影

3.3 作業空間の拡張

試作システムでは、実空間に映像が固定されているような見え方を提示できるので、擬似的な大画面の映像提示を可能にし、作業空間の拡張を実現する。

擬似的な大画面が実現されることを示すために、実空間上の平面に仮想物体を固定する場合を考える。Unity 上で、システムの装着者から投影する平面までの距離と等距離の位置に仮想物体を描画することで、投影する平面に仮想物体が固定されているような見え方を提示できる。今回の評

価では、装着者は壁から 125.5cm 離れた位置に座り、仮想空間上のカメラから 125.5cm の位置に、一辺が 25cm の正方形の画像を 3 箇所配置する。この時、床からプロジェクタまでの高さは 130cm である。図 5(a) から (d) は、装着者が頭部を動かして壁に映像を投影した様子である。



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

図 5: 頭部を動かして映像を投影している様子

平面に映像が固定されていることを示すために、図 5(a) から (d) の 4 枚の写真を重ねて合成したものを図 5(e) に示す。頭部を動かしても、投影面である壁に画像が固定されているように見えることが確認できる。

4. 考察

提案するシステムでは、実環境の形状とは無関係に仮想物体を配置するため、仮想物体が壁の奥など実空間にはないスペースに移動することが起こりうるので、実空間に固定されているという見え方を提示できない可能性がある。また、今回投影に使用した小型プロジェクタの明るさは 30 lm と一般的なプロジェクタの明るさに比べて暗いので、明るい部屋や屋外で試作システムを使用するのは困難であるが、使用するプロジェクタの明るさを上げれば、ある程度明るい室内でも使用できると考えられる。また試作したシステムでは、トラッキングカメラで取得した位置を反映させるのに若干の遅延が生じるので、素早く首を動かさないという制約のもと使用する必要がある。このシステムは現在は

カメラとプロジェクタを PC に接続して使用しているので動き回りながらの使用が困難だが、スティック PC などを用いて PC も持ち運び可能にすることでこの問題は解決できると考える。

5. 結論

本論文では、頭部に小型プロジェクタとトラッキングカメラを搭載し、実空間上に仮想物体が固定されているような見え方を提示できるウェアラブル AR システムを提案した。投影面の形状に依らない映像投影ができるように、視点の近くにプロジェクタを装着し、曲面に投影しても歪みのない映像を提示できるようにした。

また、提案するシステムデザインをもとに試作システムを作成し、実際に実空間上に仮想物体が固定されていることを確認した。さらに、投影面に仮想物体を固定し、広い映像の一部をプロジェクタで投影することにより、擬似的な作業空間の拡張を行った。

今後の課題として、デブス情報をなどを用いて実環境の形状を取得し、それに基づいた仮想物体の配置をすることが挙げられる。これにより実物体と重ならないように仮想物体を配置できるので、より現実感の強い情報を提示できると考える。また、提案したシステムを利用したアプリケーションの開発が考えられる。既存の AR システムの研究で行っているような作業支援やナビゲーションを行うものを提案するシステムを用いて行い、その有効性を示す必要がある。作業支援の一例として、機器の保守点検の現場を想定した環境を作成し、作業者に作業手順や作業箇所を提示するプログラムを実装し、被験者をあつめてタスクを行ってもらい、システムの有効性の評価を行う予定である。

参考文献

- [1] Hrvoje Benko, Ricardo Jota, and Andrew Wilson. Miragetable: freehand interaction on a projected augmented reality tabletop. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 199–208, 2012.
- [2] Jens Grubert, Matthias Heinisch, Aaron Quigley, and Dieter Schmalstieg. Multif: Multi fidelity interaction with displays on and around the body. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3933–3942, 2015.
- [3] Brett Jones, Rajinder Sodhi, Michael Murdock, Ravish Mehra, Hrvoje Benko, Andrew Wilson, Eyal Ofek, Blair MacIntyre, Nikunj Raghuvanshi, and Lior Shapira. Roomalive: magical experiences enabled by scalable, adaptive projector-camera units. In *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 637–644, 2014.
- [4] Bonifaz Kaufmann and Martin Hitz. X-large virtual workspaces for projector phones through peephole interaction. In *Proceedings of the 20th ACM international conference on Multimedia*, pp. 1279–1280, 2012.
- [5] Yusuke Kemmoku and Takashi Komuro. Ar tabletop interface using a head-mounted projector. In *2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, pp. 288–291. IEEE, 2016.
- [6] 山崎賢人. 商品物流における仕分け作業支援への複合現実感技術の応用 (3) 光学シースルー方式を前提とした注釈情報提示法の検討. 情報処理学会研究報告, Vol. 2015-CVIM-195, No. 34, pp. 193–198, 2015.
- [7] Gun A Lee, Mark Billingham, and Gerard Jounghyun Kim. Occlusion based interaction methods for tangible augmented reality environments. In *Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry*, pp. 419–426, 2004.
- [8] Pranav Mistry, Pattie Maes, and Liyan Chang. Wuw-wear ur world: a wearable gestural interface. In *CHI'09 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 4111–4116. 2009.
- [9] Emi Tamaki, Takashi Miyaki, and Jun Rekimoto. Brainy hand: an ear-worn hand gesture interaction device. In *CHI'09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 4255–4260. 2009.
- [10] Karl DD Willis, Takaaki Shiratori, and Moshe Mahler. Hideout: mobile projector interaction with tangible objects and surfaces. In *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, pp. 331–338, 2013.
- [11] Andrew D Wilson and Hrvoje Benko. Combining multiple depth cameras and projectors for interactions on, above and between surfaces. In *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 273–282, 2010.