



頭部搭載プロジェクタによる 軽量低負担ウェアラブル AR システム

湯田遥季¹⁾, 飯盛正慶¹⁾, 入山太嗣¹⁾, 小室孝¹⁾

1) 埼玉大学 理工学研究科 (〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

概要: 本論文では、ユーザが頭部にプロジェクタと単眼カメラを搭載することで、ユーザの視線の先に情報を提示することが可能で、実空間の平面に情報を重畳表示することができるウェアラブル AR システムを提案する。提案するシステムでは、カメラによる SLAM を用いて頭部の位置姿勢の推定を行い、ユーザのしている場所によって映像を変化させることにより、仮想物体の固定を可能にする。また提案システムを実装したデバイスとして眼鏡型と耳掛け型の 2 種類の試作の開発を行った。

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

1. はじめに

近年、作業支援の分野では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従来のスマートフォンやタブレットに比べると、より直感的な指示情報が提示可能であり、場所の制約なく、両手がふさがらずに作業ができるといった利点がある。しかし現在のスマートグラスでは、視野角が狭くユーザに十分な情報が提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) を用いて実空間に情報を表示する AR 技術に関する研究がある [1] [2] [3]。これらの研究では、実空間に仮想物体を重畳表示することで、広い範囲に多くの情報を提示することが可能である。しかし、装置自体が大きく重いためユーザの負担になり、長時間の使用は難しいといった課題がある。

プロジェクタを用いて実空間に情報を提示する AR 技術に関する研究がある [4] [5]。これらの研究では、HMD を用いた重畳表示と比較すると装置を装着する必要がないため、ユーザの視界をふさがず、ユーザの負担を軽減することが可能である。また、プロジェクタとカメラを用いることでタッチ操作などのインタラクションが可能な AR システムを実現している。しかし、プロジェクタを特定の位置に固定する必要があるという制約があり、限られた空間でしか使用できないといった課題がある。

これに対して、ウェアラブルプロジェクタを用いて実空間に情報を提示する AR 技術に関する研究がある [6] [7]。これらの研究では、頭部や肩にプロジェクタを装着することで、課題であった場所の制約を解消した。しかし、これらのシステムではプロジェクタの投影範囲外に情報を表示できず、表示できる情報量に限りがあるといった課題がある。

これに対して、ユーザの頭部の位置姿勢を推定することで仮想物体を実空間に固定する AR システムが存在する [8] [9]。これらのシステムでは、頭部にプロジェクタとユーザの頭部

の位置姿勢を推定するためのデバイスを搭載しているため、ユーザの頭の動きに応じて仮想空間上のカメラを動かすことで実空間に仮想物体の固定を行い、投影範囲を疑似的に拡大することで多くの情報を提示することができる。しかし、装置自体が大きく重いためユーザの負担になり、長時間の使用が難しいといった問題がある。

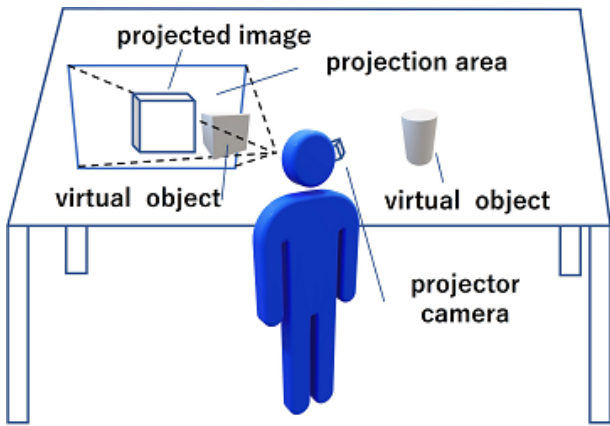
本研究では、頭部搭載型の小型プロジェクタおよび小型単眼カメラによる軽量低負担ウェアラブル AR システムを提案する。提案システムは、単眼カメラによる SLAM を行い、ユーザの頭部の位置姿勢を推定することで、実空間に仮想物体を固定する。また提案システムを実装した試作として眼鏡型と耳掛け型の 2 種類の開発を行い、より低負担なデバイスの検討を行った。

2. 頭部搭載プロジェクタによる軽量広視野ウェアラブル AR システム

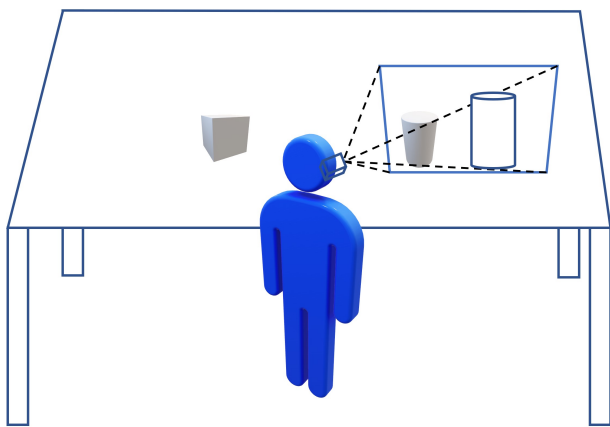
本章では、提案するウェアラブル AR システムについて述べる。HMD による AR システムの課題である装置の大きさや重量の問題を解決するため、小型軽量で低負担なシステムを目指す。

提案するウェアラブル AR システムでは、ユーザは頭部に小型プロジェクタと単眼カメラを装着する。頭部にプロジェクタを装着するため、常にユーザの視線の先に映像を表示することができる。また、ユーザの視点の近くに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ユーザから見ると歪みがない映像を提示できる。図 1 にはシステムの概要図を示す。

単眼カメラによる SLAM を行うことで、頭部の位置姿勢の推定、周辺環境の点群情報の取得が可能になる。そこから得られた情報をもとに、ユーザの頭部の位置姿勢を仮想空間上のカメラの位置姿勢に反映させる。ユーザの頭の動きに応じて仮想空間上のカメラを動かすことで、仮想空間上に配置している仮想物体が実空間上に固定される見え方ができる。これにより疑似的な大画面を実現する。



(a) ユーザが左を見ている様子



(b) ユーザが右を見ている様子

図 1: システム概要

提案するシステムでは、SLAM から得られた点群情報により平面検出を行う。検出した平面情報を仮想空間上に反映させて、その平面上に仮想物体を配置する。これによって実空間上の平面に仮想物体を重畳表示することが可能になる。

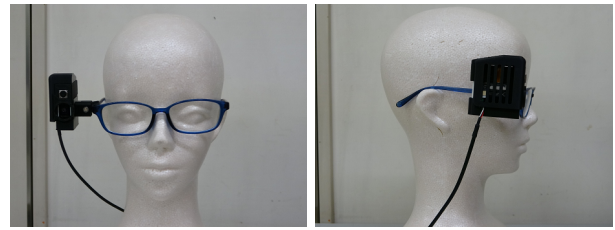
3. 実装

3.1 システム構成

システムは、プロジェクタ、カメラ、PC の 3 つの装置からなる。頭部の位置姿勢推定のための SLAM は ORB-SLAM [10] を使用した。これは単眼カメラを使用する様々な環境下でリアルタイムに動作する特徴点ベースの SLAM であり、回転などの動きや光の変化に強い特徴がある。この SLAM から推定した頭部の位置姿勢を仮想空間上に反映させる。仮想空間の描画には Unity を用いた。

3.2 試作

提案システムの有効性を評価するために試作として、眼鏡型と耳掛け型のプロトタイプの開発を行った。プロジェクタは 27g、カメラは 2g と小型で軽量なものを使用した。図 2 に試作システムの外観を示す。



(a) 眼鏡型 (正面)

(b) 眼鏡型 (横)



(c) 耳掛け型 (正面)

(d) 耳掛け型 (横)

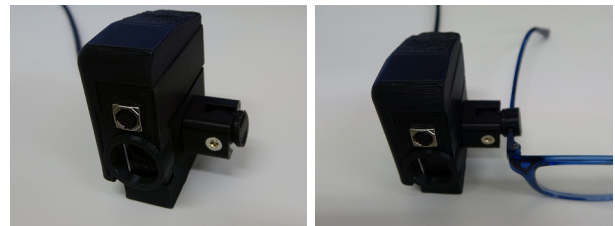
図 2: 試作システム外観

3.2.1 眼鏡型ウェアラブルシステム

小型プロジェクタと単眼カメラを眼鏡に固定し、ウェアラブルシステムを試作した。全体の重量は 68g となっている。図 3a に眼鏡型の装置の取り付け部分の様子を示す。また図 3b に眼鏡に取り付けた様子を示す。固定する部分の角度を変更することができる治具が取り付けられているため、装置と眼鏡との角度を調整可能である。

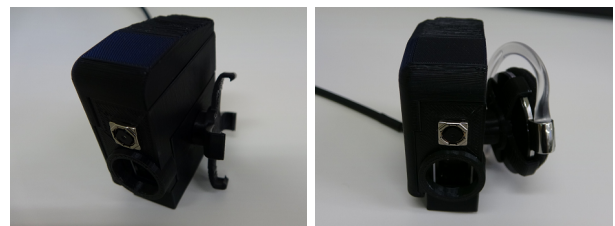
3.2.2 耳掛け型ウェアラブルシステム

小型プロジェクタと単眼カメラを耳掛け型イヤホンに固定し、ウェアラブルシステムを試作した。全体の重量は 63g となっている。図 3c には耳掛け型の装置の取り付け部分の様子を示す。またイヤホンに取り付けた様子を図 3d に示す。取り付け部分は、ユーザの正面にプロジェクタの映像が投影されるように 20° 外向きに設計されている。



(a) 眼鏡型の取り付け部分

(b) 眼鏡取り付け時



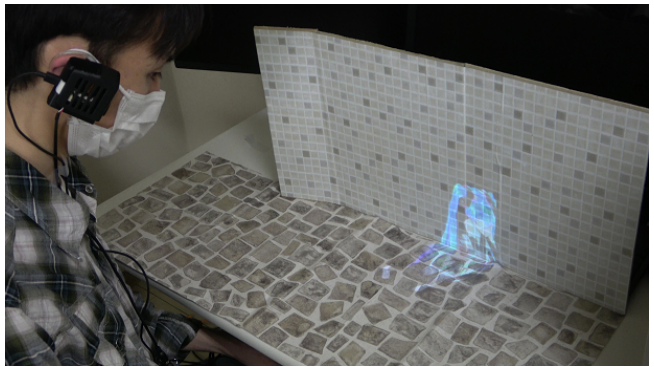
(c) 耳掛け型の取り付け部分

(d) イヤホン取り付け時

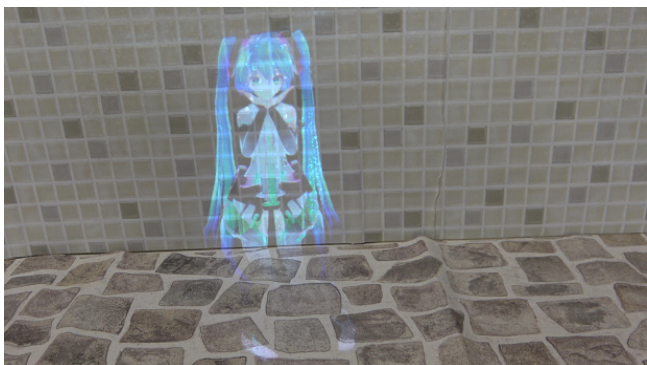
図 3: 試作システム詳細



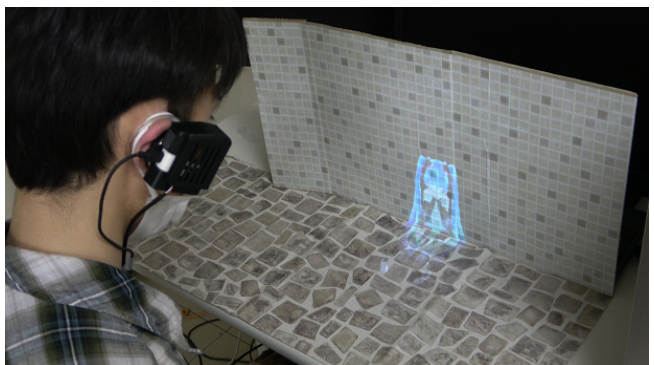
(a) ユーザ視点での左からの見え方



(b) ユーザが左から見ている様子



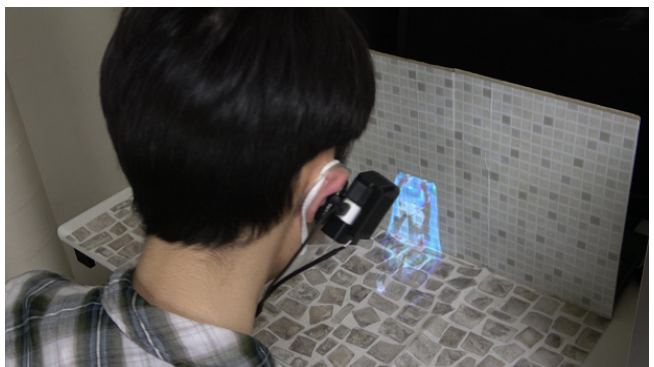
(c) ユーザ視点での中央からの見え方



(d) ユーザが中央から見ている様子



(e) ユーザ視点での右からの見え方



(f) ユーザが右から見ている様子

図 4: 投影映像結果

4. 評価

4.1 投影映像結果

試作システムが正しく動作するかを確認するため、仮想物体を異なる位置から観察した。実験は眼鏡型と耳掛け型を用いて行い、2つの試作の評価を行った。図 4a, 4c, 4e に実空間に仮想物体を固定して、異なる位置のユーザ視点からの仮想物体の見え方を示す。また図 4b, 4d, 4f に耳掛け型を用いた時の仮想物体を見ているユーザの様子を示す。

4.2 考察

試作システムを用いて実験を行った結果、ユーザの位置に応じて仮想物体の見え方が変化することで運動視差が生まれ、映像が立体的に見えることを確認した。試作システムは眼鏡型が 68g、耳掛け型が 63g となり従来の HMD と

比較すると軽量であり、ユーザの負担を軽減することができたと考えられる。眼鏡型は、眼鏡の片側だけに装置を固定しているため、重量が片側に集中してバランスが悪くなるという問題がある。また視界に眼鏡が入ってしまうという問題もある。耳掛け型は、眼鏡型の課題であるバランスの悪さや、視界に装置が入り込んでしまう課題を解決することができた。しかし、耳掛け型はイヤーフックを耳にかけて装着を行っているが、装置の重量の影響によって装着が不安定になってしまう問題がある。改善策として、ゴムバンドなどによって装着の補助を行う必要があると考えられる。

5. おわりに

本論文では、ユーザの頭部に小型プロジェクタと小型カメラを装着し、単眼カメラによる SLAM を用いて頭部の位

置姿勢の推定を行い、実空間上に仮想物体を固定することで疑似的な大画面を実現する軽量低負担ウェアラブル AR システムを提案した。また提案システムを実装した眼鏡型と耳掛け型の 2 種類の試作を行った。

現在の試作では、演算のためにデスクトップ PC に接続しているため、使用場所の制約がある。この制約をなくすためには、モバイル PC を接続するなどしてシステムの独立動作を実現する必要がある。今後は、被験者をあつめてタスクを行ってもらい、従来手法との比較によりシステムの有効性の評価を行う予定である。

謝辞 本研究を行うにあたり、試作システムを共に開発、製作していただきました高橋一成氏をはじめとする総合技術支援センター 3D-Design プロジェクトの皆様にご心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 山崎 賢人, 柴田 史久, 木村 朝子, 田村 秀行. 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.
- [2] 松本 紀子, 小坂 忠義, 中島 洋平, 櫻田 崇治, 尾崎 友哉, 田野 俊一. 物流における拡張現実技術を用いたピッキング作業支援システムの開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-CDS-25, No. 10, pp. 1–8, 2019.
- [3] Bjorn Schwerdtfeger, Rupert Reif, Willibald A Gunthner, Gudrun Klinker, Daniel Hamacher, Lutz Schega, Irina Bockelmann, Fabian Doil and Johannes Tumler. Pick-by-Vision: A First Stress Test, In *8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 115–124, 2009.
- [4] Marco Ojer, Hugo Alvarez, Ismael Serrano, Fátima A Saiz, Iñigo Barandiaran, Daniel Aguinaga, Leire Querejeta and David Alejandro. Projection-based Augmented Reality Assistance for Manual Electronic Component Assembly Processes, In *Applied Sciences*, p.796, 2020.
- [5] 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.
- [6] Chris Harrison, Hrvoje Benko and Andrew Wilson. Omnitouch: Wearable Multitouch Interaction Everywhere, In *Proceedings of the 24th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 441–450, 2011.
- [7] Pranav Mistry and Pattie Maes. SixthSense: A Wearable Gestural Interface, In *ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Art Gallery and Emerging Technologies: Adaptation*, p. 85, 2009.
- [8] Shunichi Kasahara. Headlight: Egocentric Visual Augmentation by Wearable Wide Projector, In *ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies*, pp. 1–2, 2018.
- [9] Masamichi Iimori and Takashi Komuro. Wearable Augmented Reality System Using Head-Mounted Projector, In *International Symposium on Visual Computing*, pp. 481–491, 2021.
- [10] Raúl Mur-Artal, Jose Maria Martinez Montiel and Juan Domingo Tardós. ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 31, No. 5, pp. 1147–1163, 2015.