

立体提示可能なモバイル プロジェクション型AR案内システム

永松 明 神原 誠之 横矢 直和
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

あらまし 屋内環境における観光案内などを目的とした、モバイルプロジェクタを用いて利用者の位置に依存した情報を現実環境に投影し利用者に情報を提示するウェアラブル拡張現実感 (AR) 案内システムの研究が行われている。しかしそれらは、一つのプロジェクタにより情報を壁や床に投影するため、提示位置はその平面上に限られており、3次元空間中に指すような3次元的な情報提示は実現されていない。そこで本研究では、2台のモバイルプロジェクタを用いた偏光方式による立体提示可能なAR案内システムを提案する。本手法では、不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置推定手法により頭部に装着したプロジェクタの位置姿勢を高精度に推定することで、屋内環境における情報の立体提示を実現する。

Stereoscopic AR Guide System Using Mobile Projectors

Akira NAGAMATSU Masayuki KANBARA Naokazu YOKOYA
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

Abstract: This report proposes a projection based augmented reality (AR) guide system which guides users by using two mobile projectors in indoor environments. The projection based AR system projects stereoscopic image of exhibit guidance onto a wall or a floor in the real world. In order to realize this system, it is necessary to measure position and orientation of two projectors and users viewpoints. In the proposed system, the projector's position and orientation are estimated by recognizing invisible markers which are set up on ceilings using an infrared camera attached to the projector.

1 はじめに

ユーザが装着して使用可能なウェアラブルコンピュータ [1, 2] と、計算機が生成した情報を現実環境に重ね合わせて表示可能な拡張現実感 (AR) [3] を組み合わせたウェアラブル拡張現実感を利用すれば、任意の場所で利用者の位置や姿勢に応じて注釈情報を直感的に提示することができる。その応用として、道案内や観光案内のための位置依存情報を利用者に提示するウェアラブルAR案内システムが提案されている [4-7]。

これまで、我々はプロジェクタを用いて仮想物体を現実世界に直接投影することで仮想世界と現実世界の融合を図るプロジェクションARによる案内システム [8] を提案してきた。プロジェクションARシステムでは利用者が存在する現実空間中のオブジェクトに対して情報を投影するため、同時に複数の利用者が同じ情報を見ることが可能である。また、不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置・姿勢推定システム [9] を利用して、広範囲の屋内環境において高精度にプロジェクタの位置・姿勢を推定している。

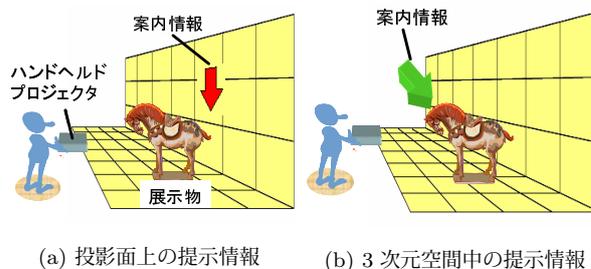


図 1: 従来手法と提案手法の提示情報の比較

このシステムでは、ハンドヘルドプロジェクタを用いて、展示物の説明情報や移動経路のナビゲーション情報などの案内情報を壁や床に投影し観光の補助が実現されている。しかし従来手法では、図 1(a) のように案内情報の提示位置が投影面上に限定されるため、3次元空間中の点を指し示すことはできない。案内情報を利用者により直感的に提示するには、図 1(b) のように提示位置を壁面や床面等の投影面上から3次元空間中に拡張する必要がある。

ARシステムにおいて、3次元的な情報を提示するにはヘッドマウントディスプレイの利用が考えられる [10]. しかしユーザは両目にディスプレイを装着しなければならず、周辺視野が遮られ環境内を歩き回る観光案内での利用は困難である. また環境内に設置された固定型の立体提示可能なプロジェクタシステム [11,12] では、広範囲における利用は難しい.

そこで本研究では、3次元空間中に立体的な情報を提示可能なモバイルプロジェクション型 AR 案内システムを提案する. これらのシステムでは正確な位置に案内情報を提示するために、利用者の視点位置・姿勢に基づいた投影像を生成する必要がある. 提案システムでは、従来手法 [8] と同様に天井に貼り付けられた不可視マーカをハンドヘルドプロジェクタに設置された赤外線カメラで認識することでプロジェクタの位置・姿勢を推定し、2台のプロジェクタを用いて立体的な案内情報を提示をする. 各プロジェクタには個別の偏光フィルタが取り付けられ、利用者は偏光眼鏡を装着し、それぞれのプロジェクタから投影された左目用, 右目用の映像を見ることで立体視を実現する.

以降、2章では提案システムの概要について、3章では提案システムの有効性を確認するための実験について述べる. 最後に4章において本稿のまとめと今後の課題について述べる.

2 立体提示可能なモバイルプロジェクション型 AR 案内システム

提案システムは博物館のように展示物が様々な場所に置かれた広域な屋内環境を対象とし、利用者が展示物を見て回る環境を想定する. 利用者はプロジェクタを装着し、壁や床などにプロジェクタから投影される展示物の説明情報や移動経路のナビゲーション情報などの案内情報を閲覧する. 立体映像の提示は偏光方式により2台のプロジェクタから左目用, 右目用の映像を投影することで実現する.

2.1 提案システムの機器構成

図2に提案システムの機器構成を示す. 提案システムでは、ハンドヘルドプロジェクタを頭部に固定し、プロジェクタの姿勢と利用者の視点の姿勢および2台のプロジェクタの相対関係を固定することで立体映像の提示に必要な左右の視点位置・姿勢の算出を単純化する. またプロジェクタの位置・姿勢を計



図 2: 提案システムの機器構成



(a) 不可視マーカ (通常撮影時) (b) 不可視マーカ (フラッシュ撮影時)

図 3: 天井に設置される不可視マーカ [9]

測するために、プロジェクタの上に赤外線 LED 付き赤外線カメラを取り付け、環境中の天井には図3のように景観を損ねない再帰性反射材からなる不可視マーカを設置する. 赤外線カメラで不可視マーカを撮影・認識してプロジェクタの位置・姿勢を推定する. 利用者は偏光フィルタを取り付けた2台のプロジェクタを頭部に固定し、さらに投影像を生成するための計算機、偏光メガネを装着する. また、プロジェクタを用いた偏光方式による立体映像の提示には、投影面に映し出された光の偏光を保つためにシルバースクリーンが必要である. そこで、図4のように情報を提示する対象の展示物の背面にシルバースクリーンを設置する.

2.2 提案システムの処理の流れ

提案システムでは、既知の情報として投影面 (使用環境) の3次元形状、提示する案内情報の3次元形状や画像、提示位置・姿勢、および利用者の左右の視点と2台のプロジェクタの相対位置関係の情報を利用する. 図5に投影像生成処理の流れを示す. プロ



図 4: 展示物とシルバースクリーンの例

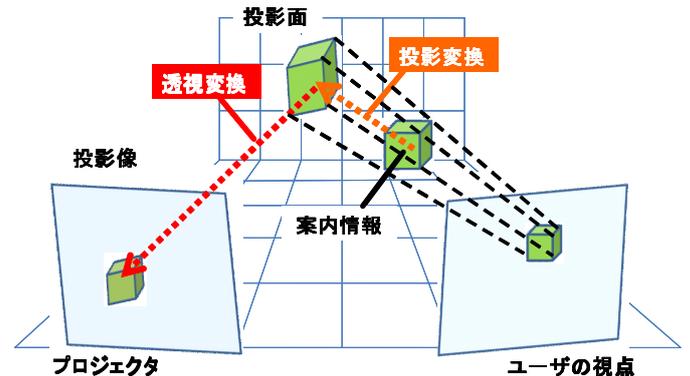


図 6: 提示映像の幾何変換処理の概要

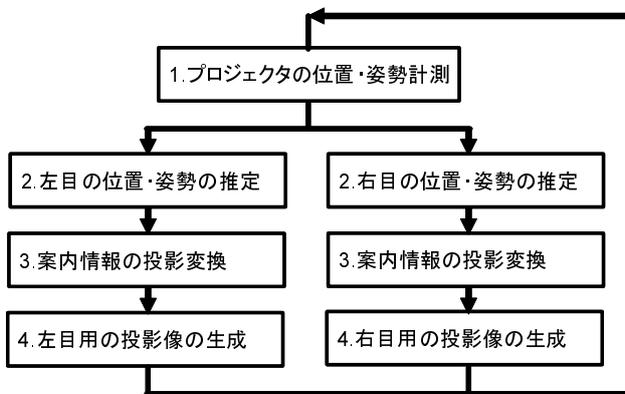


図 5: 投影像生成処理の流れ

ジェクタの位置と利用者の視点位置は異なっているため、利用者の視点からみた映像を生成しプロジェクタから投影する。以下に各ステップに関して詳述する。

1. プロジェクタの位置・姿勢計測

環境中の天井に設置された不可視マーカをプロジェクタの上部に取り付けた赤外線 LED 付き赤外線カメラで撮影・認識してプロジェクタの位置・姿勢計測を計測する (それぞれ誤差 9mm, 0.35° 程度) [9]。2 台のプロジェクタの相対関係は固定であるため、それぞれの位置・姿勢を計算する。

2. 利用者の左右視点位置・姿勢の推定

プロジェクタの位置・姿勢結果から、利用者の左右の視点と 2 台のプロジェクタの位置・姿勢との相対関係により利用者の左右の視点位置・姿勢をそれぞれ計算する。

3. 案内情報の投影変換

図 6 に提示映像の幾何変換処理の概要を示す。図中の案内情報は 3 次元位置に設定してある。投影面の 3 次元形状が既知であることから利用者の視点、案内情報、投影面の位置関係の情報より、利用者の左右それぞれの視点から見た案内情報が、投影面に対してそれぞれどのように投影されるか計算する。

4. 投影像の生成

最後に 2 台のプロジェクタの位置・姿勢から、投影変換した案内情報をそれぞれ透視変換して左目用、右目用の投影像を生成し、各プロジェクタから出力する。

2.3 提案システムの利用環境

提案システムでは、正しい位置に提示された案内情報を見ることが可能なのは、厳密には機器を装着する利用者の視点のみである。複数人で行動する場合、機器を装着しないその他の利用者は提示される案内情報の 3 次元位置は正確な位置とは異なる。そのため、機器を装着する利用者の視点から離れた地点から提示された案内情報を見た場合にその案内情報の 3 次元位置の誤差求めることで提案システムの想定する利用環境を述べる。

図 7 に提示する案内情報位置の高さを一定とした場合における利用者の視点位置、投影面、展示物、利用者の位置関係を示す。案内情報の提示位置を O 地点、機器を装着する利用者の位置を A 地点、機器を装着しないその他の利用者の位置を B 地点、投影

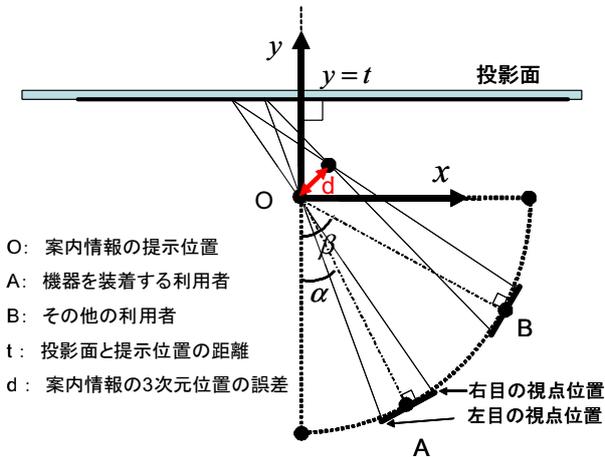


図 7: 利用環境の概略図

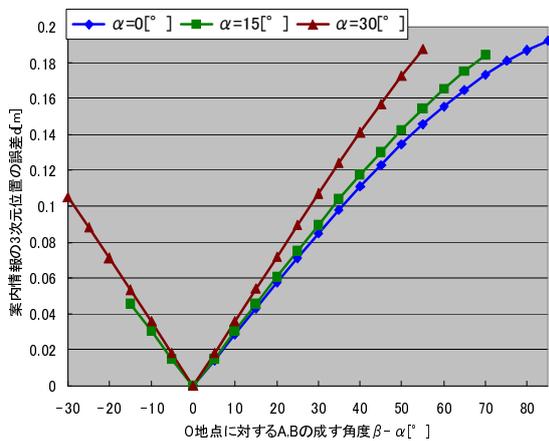


図 8: A, B の成す角度と 3 次元位置の誤差の関係

面と提示位置の距離を tm , 案内情報の 3 次元位置の誤差を dm , O 地点に対する y 軸と A, B 地点の角度をそれぞれ α° , β° とする. ここでは, 利用者は O 地点を中心とした半径 $1m$ の円周上から案内情報を見るものとし, それぞれの利用者の眼間距離は $6.5cm$ とする.

図 8 に投影面と提示位置の距離 t が $0.2m$ のときの $\alpha = 0, 15, 30^\circ$ の場合において, O 地点に対する A, B の成す角度 ($\beta - \alpha$) と案内情報の 3 次元位置の誤差 d の関係を示す. これより, α が $15^\circ, 30^\circ$ のときと比べて, 投影面に対して正面から投影を行った場合である α が 0° のときに誤差 d が小さくなるのがわかる. ここで許容誤差を $0.05m$ とした場合は A, B の成す角度は約 15° , $0.1m$ とした場合は約 35° となる.

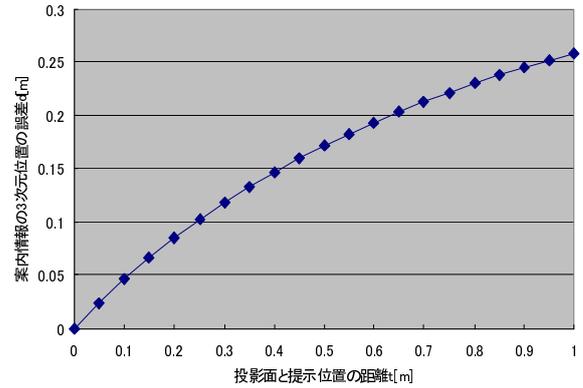


図 9: 投影面の位置と 3 次元位置の誤差の関係

図 9 に α が 0° , β が 30° のときの投影面と提示位置の距離 t と案内情報の 3 次元位置の誤差 d の関係を示す. 許容誤差を $0.1m$ とした場合は t を約 $0.25m$, $0.2m$ とした場合は約 $0.6m$ となる. また案内情報の提示位置が投影面に近いほど誤差 d が小さくなるのがわかる.

これらより, 利用環境において機器を装着する利用者は投影面と正対に近い場所から投影するほど誤差は小さくなり, 機器を装着する利用者とその他の利用者の視点位置に近いほどより正確な位置に提示できる.

3 立体映像の提示実験

3.1 実験環境

実験環境は本学内の廊下(天井高約 $2.8m$)で, 天井には壁紙に印刷された不可視マーカを設置する. 利用者は, 図 2 に示すように赤外線 LED 付き赤外線カメラ(自作), 偏光フィルタが取り付けられた 2 台のプロジェクタ(三菱電機製 LVP-PK20)をそれぞれ頭部に取り付け, さらに計算機(Lenovo 製 ThinkPad X60 CPU:Core2Duo 2GHz メモリ:2GB), 偏光メガネを装着する.

図 10 に実験環境と案内情報の提示位置を示す. 博物館を想定し, 台の上に展示物を設置する. さらに展示物の背面にシルバースクリーンを展示物から距離 $0.2m$ の場所に設置し, 展示物からの距離 $1m$ の P, Q 地点からそれぞれ映像を投影する. また, 展示物に対する P と Q の成す角度は 30° とし, 案内情報 1, 2, 3 はそれぞれシルバースクリーンから $0.1m$,

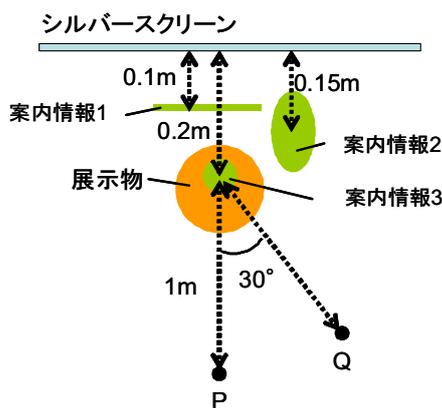


図 10: 実験環境と案内情報の提示位置

0.15m, 0.2m の場所に提示する。

3.2 実験結果

図 11, 12 に P, Q 地点から立体映像の提示を行った際の、各 P, Q 地点からの案内情報の提示の様子とその左目用の投影像をそれぞれ示す。図 11(b), (c), 図 12(b), (c) に示すように、機器を装着している利用者に対して 3次元空間中の点を指し示す情報を提示可能であることが確認できた。また、図 11(d), (e), 図 12(d), (e) に示すように、その他の利用者も立体的な情報提示が可能であることが確認できた。本実験により、プロジェクション AR でありながら 3次元空間中に情報を提示することができ、機器を装着する利用者には 3次元空間中の点を指し示して案内情報を提示可能になった。

4 まとめ

本稿では 2 台のモバイルプロジェクタを用いた偏光方式による立体提示可能な AR 案内システムについて述べた。また複数人での利用を想定した場合に機器を装着する利用者以外の視点から見た案内情報の 3次元位置の誤差を定式化することで提案システムの推奨される利用環境を考察した。実験では展示物への立体的な情報提示する環境を想定し、3次元的位置に案内情報を提示した。これにより、プロジェクションにおいて案内情報の提示表現を 2次元から 3次元に拡張できることが確認できた。

今後の課題として 3次元の環境地図や入力装置を用いたインターフェースの開発が挙げられる。また相対関係が固定された 2 台のハンドヘルドプロジェク

タを手に所持した状態で、立体映像を提示し使いやすくすることが求められる。

謝辞 本研究の一部は文部科学省「大学院教育改革支援プログラム」の支援による。

参考文献

- [1] S. Mann: "Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging," IEEE Computer, Vol. 30, No. 2, pp. 25 - 32, 2002.
- [2] R. D. Vul, M. Sung, J. Gips and A. S. Pentland: "mIThril 2003: Applications and Architecture," Proc. Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 4 - 11, 2003.
- [3] R. Azuma: "A Survey of Augmented Reality," Presence, Vol. 6, No. 4, pp. 355 - 385, 1997.
- [4] R. Malaka and A. Zipf: "Deep Map Challenging IT Research in the Framework of a Tourist Information System," Proc. 7th Int. Congress on Tourism and Communications, pp. 15 - 27, 2000.
- [5] D. Stricker, J. Karigiannis, I. T. Christou, T. Gleue and N. Ioannidis: "Augmented Reality for Visitors of Cultural Heritage Sites," Proc. Int. Conf. on Cultural and Scientific Aspects of Experimental Media Spaces, pp. 89 - 83, 2001.
- [6] 狩塚俊和, 佐藤宏介: "プロジェクタ投影型ウェアラブル複合現実感システム", 情報処理学会 研究報告 2003 - CVIM - 140, pp. 141 - 46, 2003.
- [7] R. Tenmoku, M. Kanbara and N. Yokoya: "Nara Palace Site Navigator: Device-indepent Human Navigation Using a Networked Shared Database," Proc. 10th Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia, pp. 1234 - 1242, 2004.
- [8] 永松明, 中里祐介, 神原誠之, 横矢直和: "屋内環境におけるハンドヘルドプロジェクション型 AR ナビゲーションシステム", 日本バーチャルリアリティ学会 サイバースペースと仮想都市研究会 研究報告, Vol. 13, No. 1, pp. 15 - 20, 2008.
- [9] Y. Nakazato, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Localization System for Large Indoor Environments Using Invisible Markers," Proc. ACM Symp. on Virtual Reality Software and Technology, pp. 295 - 296, 2008.
- [10] S. Uchiyama, K. Takemoto, K. Satoh, H. Yamamoto and H. Tamura: "MR Platform: A Basic Body on Which Mixed Reality Applications Are Built," Proc. 1st Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 246 - 253, 2002.
- [11] N. Hashimoto, S. Jeong, Y. Takeyama, M. Sato: "Immersive Multi-Projector Display on Hybrid Screens with Human-Scale Haptic and Locomotion Interfaces," Proc. Int. Conf. on Cyberworlds, pp. 361 - 368, 2004.
- [12] Y. Kitamura, T. Nakayama, T. Nakashima and S. Yamamoto: "The IllusionHole with Polarization Filters," Proc. ACM Symp. on Virtual Reality Software and Technology, pp. 244 - 251, 2006.



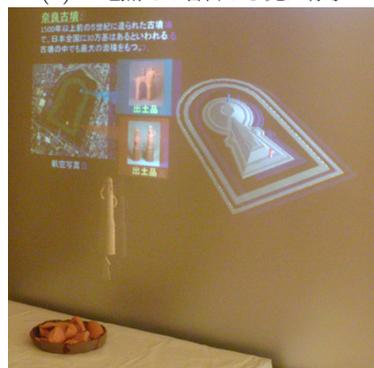
(a) 左目用の投影像



(b) P 地点での右目から見た様子



(c) P 地点での左目から見た様子



(d) Q 地点での右目から見た様子



(e) Q 地点での左目から見た様子

図 11: P 地点からの立体映像の提示の様子



(a) 左目用の投影像



(b) Q 地点での右目から見た様子



(c) Q 地点での左目から見た様子



(d) P 地点での右目から見た様子



(e) P 地点での左目から見た様子

図 12: Q 地点からの立体映像の提示の様子