

環境埋め込み型カメラ映像提示のための 透明スクリーンキャリブレーション

及川 純耶* 北原 格^{†‡} 亀田 能成^{†‡} 大田 友一[§]

*筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

†筑波大学 計算科学研究センター 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

‡筑波大学 システム情報系 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

§筑波大学 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: *s1420756@u.tsukuba.ac.jp, †‡§ {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 本研究では、環境埋め込み型カメラによる撮影対象空間の中に、そのカメラでの取得映像を閲覧する利用者がいる状況を想定する。過去に取得した映像中の被写体である人物の当該空間における動作を、透明スクリーンを用いてAR提示するシステムを提案する。ARによって被写体の位置や向き、大きさ、動作といった情報を把握しやすく提示することで、被写体の動作を現実空間内における過去の様子として分かりやすく認識させることを狙う。本提示は、人物と同じ大きさの透明スクリーンとプロジェクタを用いて実現される。透明スクリーンとプロジェクタの配置はその空間内で利用者によって変えられるものとする。その変更に従って幾何的に正しい提示をし続けるための枠組みを示す。

キーワード カメラ, 透明スクリーン, AR, プロジェクタ, キャリブレーション

Calibration of Transparent Screen for Presenting Video Taken by an Environmental Camera

Atsuya OIKAWA* Itaru KITAHARA^{†‡} Yoshinari KAMEDA^{†‡} and Yuichi OHTA[§]

*Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

†Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

‡Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

§University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

E-mail: *s1420756@u.tsukuba.ac.jp, †‡§ {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We assume a user who wants to browse the video that was taken by a surveillance camera is in the subspace of its camera capture area. We propose a new AR display system that shows the motion of the recorded person on a transparent screen by projecting its video image by a projector. The user can understand the position, pose, and action of the person with respect to the space by the AR display. The AR display system deploys the transparent screen and a projector. As both of them might be moved for obtaining better view of the video by the user, a continuous projector-camera-screen calibration method is proposed to follow their motion.

Keywords Camera, Transparent Screen, AR, Projector, Calibration

1. はじめに

近年、環境埋め込み型カメラは安心安全な社会の促進の観点から、その数を増やしつつある。この環境埋め込み型カメラによる映像を用いて、撮影対象空間の中でその撮影内容を実際に見ることができれば、その映像に映されていた動作をよりよく理解できるようになると考えられる。

本研究では、環境埋め込み型カメラによって取得された映像を、同一の空間内において再生閲覧する状況を想定する。利用者は、過去の空間内で動作する被写体となる人物を認識したいだけでなく、それら被写体の大きさや動作、空間内における位置を把握したいとする。本目的のためには、空間内での被写体の位置や向き、大きさ、動作といった情報が利用者に把握しやすく提示されることが望ましい。

そこで本研究では、図1のように、利用者が空間全体を見渡し続けられるような透明スクリーンを空間内に設置し、閲覧するためのデバイスとして用いることで、環境埋め込み型カメラによって取得された映像中の被写体を空間内にAR提示する手法を提案する。

環境埋め込み型カメラによって取得された映像中の物体のうち、部屋のレイアウトなど、多くの物体は時間の経過によって変化せず、映像閲覧時の環境と一致することが考えられる。そのため、本研究で想定するように、映像取得時と閲覧時の空間が同一であるとき、利用者に提示する必要があるのは時間の経過によって変化する被写体のみである。そのため、時間の経過によって変化しない物体を除去し、利用者の映像閲覧の目的達成を支援する。

映像提示の際には、環境埋め込み型カメラの撮影空間範囲に重なるように透明スクリーンを設置する。環境埋め込み型カメラによって取得された映像のうち、利用者に提示することが意味のある被写体のみを切り出して前景映像とする。被写体の映像を幾何学的に整合した形で提示するために、環境埋め込み型カメラ、透明スクリーン、プロジェクタの位置から算出した幾何変換を元に、ホモグラフィ変換を前景映像に行う。ホモグラフィ変換後の被写体の映像を透明スクリーンに投影することで、取得映像中の被写体が、利用者のいる空間に存在しているかのような提示を実現する。

本研究では被写体が映像空間内を自由に動作・移動することを想定する。そのため、前景映像を透明スクリーンへ投影中に、利用者が映像中の被写体の移動に合わせて自由に透明スクリーンの位置姿勢を変えられることが望ましい。さらに、透明スクリーンの位置によっては、前景映像の透明スクリーン上での見易さを確保するため、プロジェクタの配置を変えることもあるものとする。よって、本研究で提案するシステムで

は、環境埋め込み型カメラと透明スクリーン、プロジェクタの位置関係が変化した際に、その変化に対応して幾何学的に整合した映像を投影できる必要がある。そのため提案する映像提示システムでは、赤外線カメラで透明スクリーンの位置を常に検出し、赤外線カメラと環境埋め込み型カメラ、プロジェクタの間の位置関係を用いることで、環境埋め込み型カメラと透明スクリーン間及び、プロジェクタと透明スクリーン間の位置関係を検出する。本研究では、この処理についてはMorenoら[1]のプロジェクタとカメラ間のキャリブレーションの手法を用いる。以降、2節では関連研究について述べ、3節では前景映像の透明スクリーンへの投影方法について述べ、4節では移動し得る投影スクリーンとプロジェクタに対する追従方法について述べる。

2. 関連研究

実際に目の前に広がる空間とその中に設置されたディスプレイをその視認性において両立させるための技術として透明スクリーンが活用されている。現在、透明スクリーンは店舗や展示会でのデモやインフォメーション提示、アミューズメントやエンターテインメント、アートの分野で主に使われている。また、NGUYENら[2]による、頭部搭載プロジェクタ(HMPD, Head Mounted Projective Display)における透明スクリーンの利用の実現方法の提案や、小山ら[3]による、両面タッチパネルの透明スクリーンを用いたインタラクションシステムによる、複数人のユーザーでの協調作業支援のためのアプリケーションの検討など、透明スクリーンのUIへの応用が進められている。

環境埋め込み型カメラによる取得映像の提示においては、我々はこれまでも様々な手法を提案してきた。住谷ら[4]は、複合現実感技術を用いることで、カメラ付きモバイル端末による環境埋め込み型カメラの取得映像の提示手法を提案している。これは環境埋め込み型カメラが設置された空間内にいる利用者が、モバイル端末のカメラを環境埋め込み型カメラに向けることで、モバイル端末のディスプレイ上に環境埋め込み型カメラによる取得映像を鏡のように重畳し提示する手法である。また、映像中の被写体の三次元的な位置の提示手法として、中野らは、撮影された被写体が存在し得る錐体空間を多重スリットで可視化して提示する手法[5]を提案している。

本研究では、透明スクリーンとプロジェクタによるAR提示によって、利用者に対して被写体の情報の直感的な理解を促す提示を目指す。

3. 透明スクリーンへの前景映像提示

3.1 透明スクリーン

本研究では、利用者が周囲の環境を認識しながら、被写体の情報を AR 提示によって閲覧できるデバイスとして透明スクリーンを用いる。本研究では、映像の閲覧の目的となる被写体が、直立、歩行する人物であることを想定している。そのような被写体の等身大の提示を可能にするために、透明スクリーンは図 2 のような高さ 2 メートル、幅 1 メートルの大きさを確保する。透明スクリーンにはビニール素材を利用する。透明スクリーンの可搬性を高めるために、フレームとスクリーン共に軽量の素材を利用する。今回提案する方法では透明スクリーンは環境埋め込み型カメラの撮影空間範囲の一部全体に重なるように設定されるべきであるが、その範囲内でどこに設置するかは利用者の裁量に任せるものとする。

3.2 前景映像

本研究では、利用者がある空間と、環境埋め込み型カメラが撮影していた空間は、時系列の異なるだけで同一の空間であることを想定している。そのため、その空間内において時間経過で位置姿勢が変化しない物体は利用者が直接視認するべきと考え、閲覧用の映像では提示しない。そのため、被写体でない映像中の物体は事前取得映像から除去する必要がある。

一方、その空間において、動作や移動をする被写体が存在した場合、それらの動作などを理解することが利用者の映像閲覧の目的である。そのため、これらの被写体を前景として定義し、取得映像に対して前景抽出処理を行う。

前景抽出には、KaewTraKulPong ら [6] の手法を用いる。この手法では、映像のうち、注目フレームより以前の数フレームを、背景モデルを初期化するための学習用データとして用いる。以後、得られた映像を前景映像と呼ぶ。

3.3 ホモグラフィ変換

前景映像は環境埋め込み型カメラにより透視投影によって得られている。プロジェクタからの映像投影もまた透視投影を原理とし、かつその投影先する先も透明スクリーンであり平面矩形である。このことから、撮影対象空間における投影スクリーンの位置姿勢を求めることができれば、前景映像をプロジェクタでの提示用にホモグラフィ変換することで、空間的に正しい拘束に従って被写体を表示することができる。

このために、環境埋め込み型カメラの撮像面における透明スクリーンの四隅の座標の組を求める。また、プロジェクタで出力する画面において、透明スクリー



図 2 透明スクリーン

ンに投影された際に透明スクリーンの四隅と重なる座標の組を求める。これらの二つの座標の組は、透明スクリーンの平面矩形の四隅に対応している。この 2 つの座標の組の情報を元にしてホモグラフィ変換行列を算出する。

4. スクリーンの移動

本研究では、環境埋め込み型カメラ映像中の被写体の移動に合わせて、利用者が透明スクリーンを移動できる状況を想定している。つまり、環境埋め込み型カメラが固定であるのに対して、透明スクリーンは提示内容が見やすくなるよう利用者が時々位置を変えることを想定している。

透明スクリーン位置姿勢を求めるための一つの直接的な解法は、環境埋め込み型カメラで透明スクリーンを観測しそこからその位置姿勢を推定することである。しかしながら、設置状況によっては環境埋め込み型カメラで透明スクリーンの一部しか撮影できないことが考えられるため、安定した透明スクリーン位置検出ができない可能性がある。

そこで、もう一台の固定カメラを用意し、これを透明スクリーン検出用に割り当てる。アクセス者の映像閲覧を妨げずに透明スクリーン検出の可能性を高めるため、このカメラには赤外線カメラを利用し、透明スクリーンには赤外線再帰性反射材を取り付けてマーカ

一とする.

以下, 本枠組みによって, 環境埋め込み型カメラとプロジェクタと透明スクリーンとの関係を求める方法について述べる. 3つの関係が明らかになれば, 被写体が存在し得る正しい大きさで見えるように, 前景映像を透明スクリーン上に映し出すことが可能となる(図3).

なお, 以下において, 環境埋め込み型カメラ, 赤外線カメラ, プロジェクタはいずれもその内部パラメータは事前キャリブレーションにより既知であるとする.

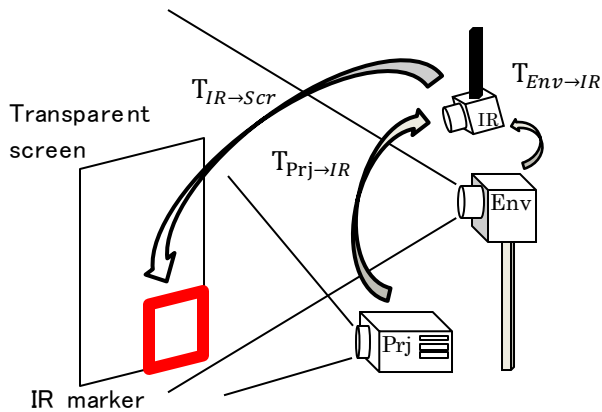


図3 座標系の関係

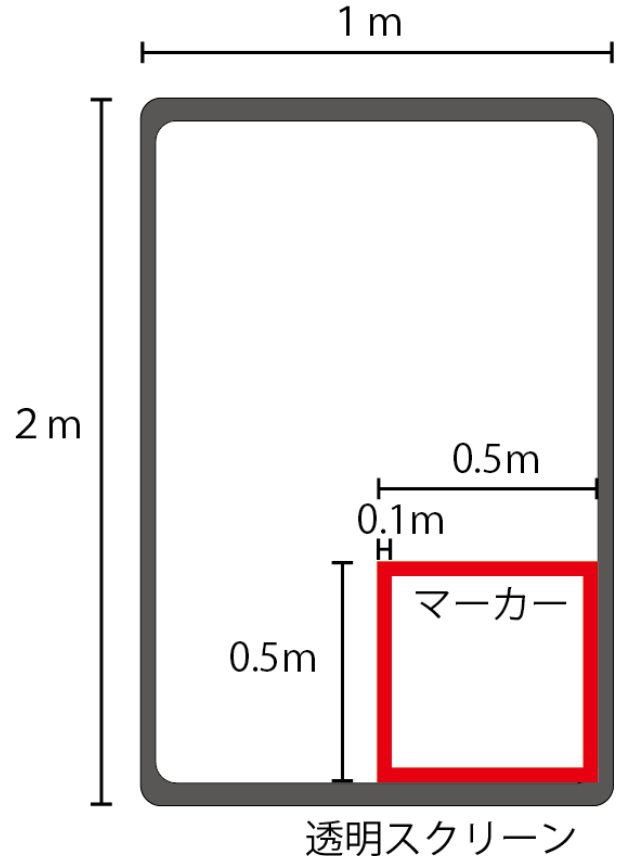


図4 透明スクリーンに設置するマーカー

4.1 環境埋め込み型カメラと赤外線カメラ

環境埋め込み型カメラと赤外線カメラは対象空間内に固定されているので, この二つの座標系間のキャリブレーションは事前に行う. 本研究では, それぞれのカメラにおいて, チェスボードを複数回撮影するZhangの手法を同時に実行して, チェスボード群に対する各カメラの位置姿勢を得る. そこから, 赤外線カメラ座標系から環境埋め込み型カメラ座標系への剛体運動変換 $T_{Env \rightarrow IR}$ を得る.

4.2 赤外線カメラと透明スクリーン

透明スクリーンに赤外線再帰性反射材を取り付けてマーカーとする. 赤外線カメラによる視認性を高めるため, 赤外線投光器を赤外線カメラの周りに, その光軸に沿って設置する. 本手法では, 図4のようにマーカーを設置し, 透明スクリーン座標系においてその三次元座標が既知であることを利用して, マーカーの検出とそこからのカメラとマーカーとの幾何関係を求める.

これにより, 赤外線カメラ座標系から透明スクリーン座標系への変換 $T_{IR \rightarrow Scr}$ が得られる. この変換は透明スクリーンの移動が検知された度に更新するものとする.

4.3 赤外線カメラとプロジェクタ

本研究では, 透明スクリーンに加えてプロジェクタも設置位置が変更になることを想定している. 環境埋め込み型カメラ座標系と赤外線カメラ座標系は互いに固定の関係にあることから, 本提案では, プロジェクタ座標系から赤外線カメラ座標系への変換を求めることで, 環境埋め込み型カメラ座標系とプロジェクタ座標系との変換を得る.

プロジェクタ・カメラ間のキャリブレーション方法としては, プロジェクタ本体がカメラから常に観測可能としてプロジェクタの三次元位置を求める方法と, プロジェクタの発する構造化光を利用して間接的にプロジェクタの三次元位置を求める方法が考えられる. 本研究のようにプロジェクタの設置に自由度を与える場合, 前者の前提は成立しないので, 後者の方法を用いる. プロジェクタからの構造化光を用いる場合は, その構造化光が照射される物体が, プロジェクタの投射可能範囲とカメラの撮影可能範囲の積空間内に必要である. 現在想定している環境では, プロジェクタは水平投射を考えているので, 壁や天井の一部, ないしその場に存在し続けている物体などがこれに相応する. しかし, 壁や天井はカメラやプロジェクタから見て遠いことが多いこと, その他の物体は積空間内に占める

大きさが小さいことなどから、撮影対象空間にある事柄だけで変換を精度よく推定することが難しいと考えられる。そこで本研究では本キャリブレーション時にはチェスボードを持ち込み、Moreno らの手法[1]を用いる。Moreno らの手法では、プロジェクタと赤外線カメラの設置された空間にチェスボードを設置し、そこにプロジェクタからグレイコードパターン画像を複数パターン投影する。グレイコードパターン画像が投影されたチェスボードを、投影パターンが変わるたびに赤外線カメラで撮影する。チェスボードの位置姿勢を変化させながら複数セット撮影する。これらの画像セットを用いることで、プロジェクタ座標系から赤外線カメラ座標系への変換 $T_{Prj \rightarrow IR}$ を算出することができる。

この処理はプロジェクタを移動させるたびにを行うことが必要となるが、透明スクリーンの移動に比べれば、プロジェクタの移動が必要とされる状況は少ないものと考えている。

4.4 前景映像の投影

前景映像の投影に必要なホモグラフィ変換を求めるためには、スクリーン座標系と環境埋め込み型カメラ座標系との間の変換 $T_{Env \rightarrow Scr}$ と、同じくスクリーン座標系とプロジェクタ座標系との間の変換 $T_{Prj \rightarrow Scr}$ が必要であり、それぞれ次式によって求められる。

$$\begin{aligned} T_{Env \rightarrow Scr} &= T_{Env \rightarrow IR} T_{IR \rightarrow Scr} \\ T_{Prj \rightarrow Scr} &= T_{Prj \rightarrow IR} T_{IR \rightarrow Scr} \end{aligned}$$

ここでいずれも変換は剛体運動変換であるので逆変換が存在することに注意する。これらの変換が求まれば、あとはスクリーン座標系における透明スクリーンの四隅の座標を与えることで、ホモグラフィ変換を得ることが出来る。

実験結果の一例を図5に示す。本例では、システムとして4.2節で説明した透明スクリーンの移動に合わせて更新する部分がまだ組み込まれていないので、その部分は手動で実行している。 $T_{Scr \rightarrow IR}$ の推定を組み込んで提案システムが全体として稼働するようになれば、アクセス者による撮影対象空間内における映像内容の理解度を評価する実験を行っていく予定である。

5. おわりに

本稿では、環境埋め込み型カメラによる取得映像中の被写体の直観的でわかりやすい提示を目的として、透明スクリーンとプロジェクタを用いた前景映像の新しい提示方法を提案した。

今後の展望として、前節で述べた評価実験を行っていくことその他、より適用性の高いプロジェクタ位置推定方法の導入が考えられる。

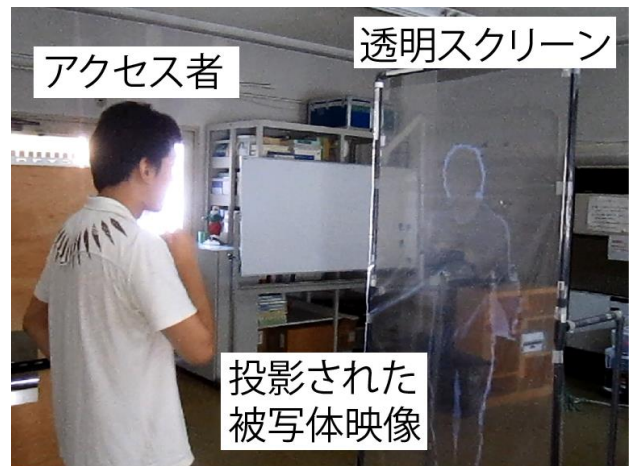


図5 被写体の AR 提示の様子

謝 辞

本研究の一部は科研費 25280056 の助成を受けて実施された。ここに謝意を表明する。

文 献

- [1] Daniel Moreno, Gabriel Taubin, “Simple, Accurate, and Robust Projector-Camera Calibration”, Second Joint 3DIM/3DPVT Conference: 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization & Transmission (3DIMPVT) 2012. <http://mesh.brown.edu/calibration/>
- [2] NGUYEN VAN Duc, 間下以大, 清川清, 竹村治雄, “双曲面ハーフミラーを用いた広視野頭部搭載プロジェクターのための再帰性半透過スクリーンの検討”, 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU, Vol. 110, No. 381, pp. 353-358, 2011.
- [3] 小山雄大, 井上亮文, 星徹, “透過スクリーン側面からの深度情報を用いた両面タッチパネル化システム”, 情報処理学会研究報告 HCI, Vol2014-HCI-157, No, 41, pp. 1-6, 2014
- [4] 住谷司, 亀田能成, 大田友一, “撮影空間における環境カメラ情報の複合現実感技術による可視化”, PRMU, Vol. 109, No. 470, pp. 287-292, 2010.
- [5] 中野一成, 亀田能成, 大田友一, “物体が存在し得る錐体空間の多重スリットによる可視化”, 電子情報通信学会技術研究報告 MVE, Vol. 112, No. 474, pp. 203-208, 2013
- [6] P. KaewTraKuPong, R. Bowden, “An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-Time Tracking with Shadow Detection,” Proc. 2nd European Workshop on Advanced Video-Based Surveillance Systems, 2001.
- [7] Z. Zhang. “A Flexible New Technique for Camera Calibration.” Technical Report MSR-TR-98-71, Microsoft Research, 1998.
- [8] Z. Zhang. “A Flexible New Technique for Camera Calibration.” IEEE Trans. On pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 11, pp. 1330-1334, 1996.