

大規模空間における Interactive Projection Mapping システム

謝 淳[†] 亀田 能成^{‡§} 北原 格^{‡§} 鈴木 健嗣[‡]

[†] 筑波大学 大学院システム情報工学研究科

[‡] 筑波大学 システム情報系

[§] 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

E-mail: [†] s1520843@u.tsukuba.ac.jp, [‡] {kameda, kitahara, kenji}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 子どもの体育教育の多様化に伴い、体育館における教育活動を支援するための機能拡張のニーズが高まっている。多くの学校体育館では、床面に様々な線を引くなどして多様化に対応しているが、ユーザを混乱させたり、手入れが困難だったりという問題が発生している。LEDを埋め込んだ床を用いて多様なコンテンツを提示するという解決方法もあるが、適用可能な床材に制限があることや、工事に多大な時間と費用が掛かるといった課題が残る。本研究では、複数台のプロジェクタとカメラを組み合わせ、体育館の床面のような大画面に対するプロジェクションマッピングシステムを提案する。現場への導入を考えると、システムの拡張性や簡易なキャリブレーション作業などの課題に取り組む必要がある。また、効率的なコンテンツ作成を目指し、投影コンテンツをリアルタイムで描画・変更可能なインタラクティブインタフェースも開発したので紹介する。

キーワード 多視点プロカムシステム、キャリブレーション、体育館、インタラクティブ・コンテンツ

1. はじめに

体育館は、体育やスポーツを通じて心身を鍛える場であり、教育に欠かせない施設である。現代社会では、子どもの教育形態の多様化に伴い、様々なニーズが生じている。そのような多様化に対応するために、多くの体育館は、限られた空間において各種のスポーツに対応できるよう、図1のように種目毎にコートラインが引かれている。しかし、体育館の床面に混在したコートラインによって、利用者が混乱するという問題や、補修・除去する際の手間が増加するという問題が存在する。また、豊富な教育バリエーションにより、子どもの精神的、身体的能力を一層発達させるためには、より多様な機能が求められている。

本研究では、複数台のプロジェクタとカメラを組み合わせたプロジェクションマッピングシステムを用いて、床面に子どもの行動を支援するコンテンツを提示することで、体育館機能の拡張を目指す。

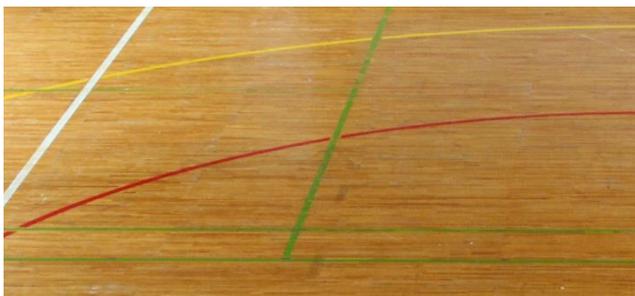


図 1. 床面に混在する複数種目のライン

2. 関連研究

床面にコートラインが混在するという問題に対し、ドイツの ASB Systembau 社が ASB GlassFloor という製品を開発した。ASB GlassFloor は、透明な床下に LED スクリーンを埋め込むことで、スポーツに応じてコートラインを自由に切り替え可能なシステムである。しかし、この方法には二つの問題点がある。一つ目は、LED が床下に組み込まれているため、床材はアクリルや強化ガラスなど透明な素材に制限されている。そのため、学校の体育館でよく使われている木製の床では実現困難という問題である。二つ目は、床下に LED を組み込むには、従来の木製の床を張り替えざるを得ず、その工事には多くの時間と費用を要するという問題である。

我々は、複数台のプロジェクタとカメラを組み合わせたプロジェクションマッピングシステムを用いて、スポーツ種目に応じたコートラインの変更を実現する。複数台のプロジェクタを用いて広い範囲に映像を投影する研究は数多くなされている。Raskar ら[1]は、カメラ 1 台と 4 台（縦横 2 台ずつ）のプロジェクタからなるシステムを構築し、プロジェクタによるチェスボードパターンの投影と、カメラで撮影した画像の解析を繰り返すことで、複数台のプロジェクタの位置合わせを実現している。しかし、使用するカメラが 1 台であるため、投影可能範囲は限定的であった。Y. Chen ら[2] は、PTZ (Pan-Tilt-Zoom)カメラを用いることにより、撮影範囲の拡大に成功している。ただし、8 台のプロジェクタの位置合わせに 1 時間ほど要すると報告され

ている. Garcia-Dorado ら[3] の開発したシステムは, 所要時間を数分間程度まで減少しているが, 使用プラグイン (Compiz: Linux のデスクトップの全体変換処理) の特性上, プラットフォームに依存している.

3. 複数プロカムシステムを組み合わせた床面投影システム

本研究では, 天井に設置した複数台の 프로젝タを用いて床面に大型コンテンツを提示する方式と, 各 프로젝タに取り付けたカメラを用いて 프로젝タ映像の位置合わせを実現する手法について述べる. 投影システムの構成を図2に示す. 各 프로젝タの上部にカメラを設置し, 対応する 프로젝タの投影像を撮影・解析することにより, 床面と各 프로젝タ面との間の2次元射影変換 (ホモグラフィ変換) を推定し, 프로젝タの投影歪みを補正すると同時に, 複数台の 프로젝タからの投影像を統合し, 1枚の画面とする.

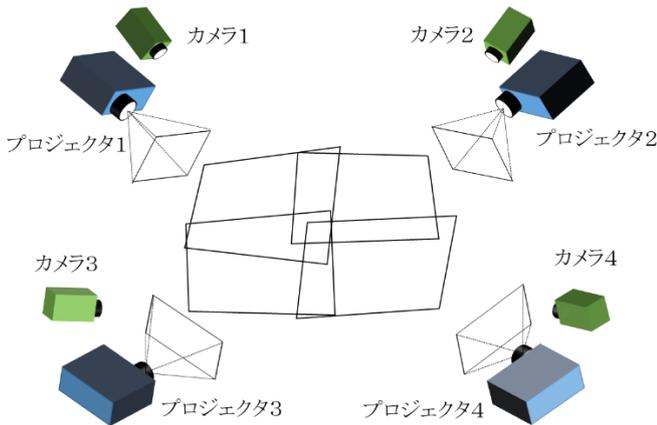


図 2. 本研究で構築したプロカムシステム

4. プロカムシステムのキャリブレーション

投影面である体育館の床は, 一般的に 프로젝タと正対していないため, 投影画像には射影歪が生じる. 本節では, この歪みを補正する処理について述べる.

4.1. カメラと 프로젝タの間のホモグラフィ変換行列の推定

床面に特定パターンを投影し, カメラで投影結果を撮影する. その画像において, 撮影画像と投影画像間の対応点を獲得する. 対応点の獲得には, Zhang ら[4] の手法を利用する. 1枚の白黒のチェスボード画像をパターン画像として 프로젝タから投影する. 本稿では, 7×10のチェスボードパターンを使用している. この画像におけるコーナー*i*の画素を点 p_i とする. パタ

ーン画像の投影結果をカメラで撮影した画像に対しグレースケール変換, 二値化処理を加え, 画像中に存在するチェスボードパターンの各コーナーを検出する. 検出されたコーナーの画素を点 p'_i とする. p'_i と p_i の対応が4組以上求めれば, 床面を介した 프로젝タ面とカメラ面との間のホモグラフィ変換行列 H_{pc} が推定できる.

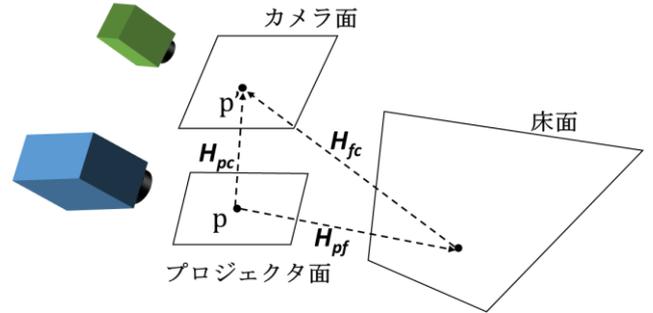


図 3 床面を介したホモグラフィ変換行列 H_{pc} の推定

4.2. 프로젝タ面と床面との間のホモグラフィ変換行列の推定

次に, ユーザによって指定された床面上の点と, それらがカメラ画像上で観測される点の対応関係から, カメラ平面と床面のホモグラフィ変換行列 H_{cf} を推定する. そのために床面上にマーカを配置して点を指定する. 本システムでは4台の 프로젝タの投影像を統合して一つの投影画像を形成するため, 図4のように, 床面に投影面を四つの投影領域に分割し, 各領域に四つずつマーカが含まれるように九つのマーカを配置する.

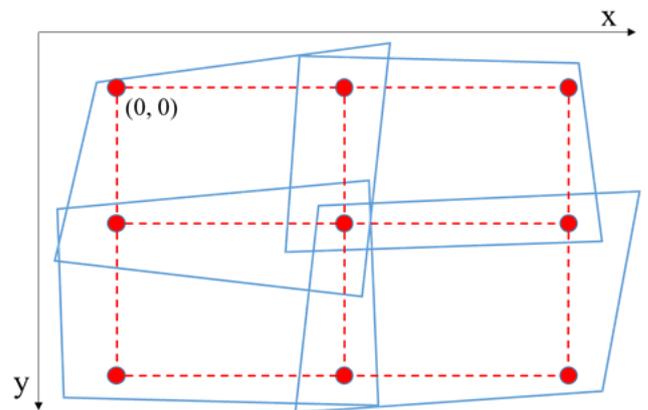


図 4 床面 (投影範囲) の分割

図3に示すように, 床面座標系を定義する. 図中左上のマーカの位置を座標系の原点とし, 水平方向を x 軸, 鉛直方向を y 軸とする. 各マーカの位置を q_j と表記する. q_j に対応する床面座標を (X_j, Y_j) とし, 各マーカの位置 X, Y 座標は, 事前に計測されているものとす

る。プロジェクタに取り付けたカメラを用いて四つのマーカを撮影する。各マーカ q_j がカメラ画像中で観察され位置 q'_j の座標 (u'_j, v'_j) を取得する。具体的には、ユーザが撮影された画像を見ながら、マウスなどを用いて画像中においてマーカを観測されている位置を指定する。 q'_j と q_j の対応が 4 組み以上求まれば、カメラ平面と床面のホモグラフィ変換行列 H_{cf} が推定できる。

前節で算出した H_{pc} と H_{cf} の積を求めることで、プロジェクタ平面から床面へのホモグラフィ変換行列 H_{pf} を算出する。

プロジェクタに入力される投影元画像 I_p に対し、ホモグラフィ行列 H_{pf} の逆行列 H^{-1}_{pf} を用いて I_p を変換した後、投影することで射影歪みの補正が実現される。また、この射影処理によって、各々のプロジェクタ面座標を床面座標で統一的に表現することができる。図 5 に、コートライン画像に対して歪み補正と統合処理を施した結果を示す。上の 4 枚は、逆行列 H^{-1}_{pf} を用いて変換した投影画像、下は、床面に投影し統合された 4 枚の投影画像を別視点のカメラで撮影したものである。投影歪みが補正され、1 枚の大きな画面が形成されていることがわかる。

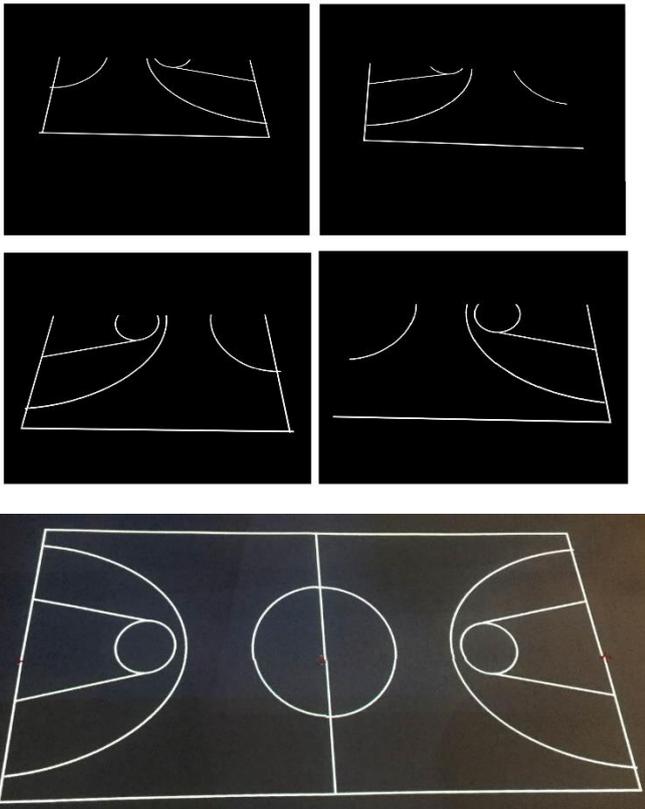


図 5 コートライン画像に対して歪み補正と統合処理を施した結果：(上の 4 枚) 射影歪みを考慮した各プロジェクタの投影画像、(下) 床面に投影し統合された 4 枚の投影画像

5. インタラクティブインタフェース

教育現場のスタッフによる利用を想定したユーザインタフェースを構築した。本インタフェースでは、各カメラ画像の切り替えによって、常にコート中の様子を観察することが可能である。また、カメラ面と床面の間のホモグラフィ行列 H^{-1}_{cf} を用いて撮影画像を変換することにより、斜めから撮影した画像を真上から見ているような画像に変換して提示する。本システムでは、カメラを 4 台使用しているため、このような画像が 4 枚取得でき、図 4 で示している投影面の分割に応じて画像を適切に並べることにより、トップビューという真上から観察しているような床面の全体像が作成される。ユーザがこの全体像においてコンテンツの描画、変更した結果はリアルタイムで投影画像に表示できる。図 6 に、開発したユーザインタフェースの一例を示す。上は、ユーザが実際に入力する画面の一例、下は、ユーザの目の前に提示されている投影コンテンツを撮影したものである。ユーザの入力に従ったコンテンツ作成が行われていることがわかる。



図 6 開発したユーザインタフェース：(上) ユーザ入力画面、(下) ユーザに提示される投影コンテンツ

6. おわりに

本論文では、複数台のプロジェクタとカメラを組み合わせて用いた、プロジェクションマッピングシステムを提案した。複数台のプロジェクタに対し、投影画像の台形歪み補正を行い、位置合わせることで、大規模空間においても、広範囲な投影画像を提示することが可能になった。また、カメラ画像を射影変換して位置合わせを行うことで、投影面の全体像を作成した。この全体像に基づいて、ユーザが投影の様子を観察しながらリアルタイムで投影コンテンツを描画、変更が可能なユーザインタフェースを作成した。

本研究は、科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)における研究領域「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」の研究課題「ソーシャル・イメージング：創造的活動促進と社会性形成支援」により行ったものである。

文 献

- [1] R.Raskar, J. Van Baar, JX. Chai, "A low-cost projector mosaic with fast registration," Asian Conference on Computer Vision (ACCV). Vol. 3. No. 3. Melbourne, Australia, Jan, 2002.
- [2] Y. Chen, D. Clark, A. Finkelstein, T. Housel, and K. Li, "Automatic Alignment of High-Resolution Multi-Projector Displays Using an Un-Calibrated Camera," Proc. IEEE Visualization 2000, pp. 125-130, Salt Lake City, UT, USA, Oct, 2000.
- [3] Garcia-Dorado, Ignacio, and Jeremy Cooperstock, "Fully automatic multi-projector calibration with an uncalibrated camera," Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2011 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, pp. 29-36, Colorado Springs, USA, Jun, 2011.
- [4] Zhang, Zhengyou. "A flexible new technique for camera calibration," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11): 1330-1334, 2000.