

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300042

研究課題名(和文) 高速プロジェクタ・カメラを用いたモバイルユーザインタフェースの研究

研究課題名(英文) Mobile User Interfaces using a High-Speed Projector-Camera System

研究代表者

鏡 慎吾 (Kagami, Shingo)

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：90361542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円、(間接経費) 4,590,000円

研究成果の概要(和文)：プロジェクタを搭載するモバイル端末のためのユーザインタフェースの開発を行った。プロジェクタつきモバイル端末の動きに関わらずに投影対象平面座標系で固定された映像を提示するためのシステム開発を行うとともに、そのようなシステムを利用する際にモバイル端末の動きを入力操作に活用するユーザインタフェースの開発を行った。具体的には、高フレームレートで映像を座標変換する機能を持つプロジェクタの開発、モバイル端末と投影平面との間の幾何学的拘束を利用したモバイル端末の位置姿勢推定手法の開発、モバイル端末の姿勢やダイナミックな動きを活用する操作インタフェースの開発を行った。

研究成果の概要(英文)：We have developed user interfaces for a mobile device equipped with a video projector. System development for stabilized projection by which the projected contents are fixed on a planar screen without being affected by the motion of the mobile device was carried out and user interfaces utilizing the motion of the mobile device while the projected contents are fixed on the screen. The results include namely a projector firmware to apply arbitrary homography transformations to the projected contents at 1300 frames/s, a pose and position estimation algorithm for a mobile projector-camera system exploiting geometric constraints between the system and the planar screen, and operation interfaces utilizing the pose and dynamic motion of a mobile device.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンインターフェイス 画像処理 ディスプレイ

### 1. 研究開始当初の背景

携帯電話等のモバイル型情報通信端末(以下、モバイル端末)は、ネットワークを介した情報サービスをいつでもどこでも享受するためのツールとして、現代人に必須のものとなりつつある。しかし「画面の大きさ」と「携帯性」という相反する要求へどう答えていくかが課題となっている。

一方、映像プロジェクタは近年小型化・低電力化が進み、最近では携帯電話やデジタルカメラ等に搭載されるまでに至っている。プロジェクタを搭載するモバイル端末は、端末自体の大きさにしぼられることなく、例えば壁面、机面、紙面等に比較的大画面の映像を投影することが可能である。しかし、このようなプロジェクタによる投影映像を端末ディスプレイとしてストレスなく利用するためには、いくつかのハードルを乗り越える必要がある。

第一に、モバイル端末が手で保持されることによってその位置姿勢が不安定であった場合でも、あるいは投影対象面が動いている場合でも、投影像が安定化され、投影対象に追従していることが必要である。第二に、映像を安定して投影しつつ、それに対する入力操作を可能とする直感的で快適なユーザインタフェースを実現することが必要である。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、プロジェクタつきモバイル端末の動きに関わらずに投影対象平面座標系で固定された映像を提示するためのシステムおよびアルゴリズムの開発を行うことを目的とする。具体的には、高速リアルタイムビジョン技術による高フレームレートの映像投影制御を可能とするための開発を行う。

同時に、そのようなモバイル端末システムでの利用に適した、マウス操作やタッチパネル操作の代替となる新たな入力インタフェースを提案することを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 上記の目的を達成するため、投影対象平面とプロジェクタの位置関係に応じた投影コンテンツの変形を高フレームレートで行うことのできる高速プロジェクタを開発する。研究代表者らは、本研究以前に Digital Micromirror Device (DMD) を用いた高速プロジェクタ・カメラシステムを開発し高速 3次元形状計測等の応用を実現してきたが、その動作はあらかじめ保存しておいたパターンシーケンス群の繰り返し投影に限られており、この目的に用いることはできない。本研究では、プロジェクタ内部で投影パターンに任意の平面射影変換(ホモグラフィ変換)を行う機能を実装し、外部からは変換パラメータを送信するのみで投影像の変形制御を可能とする開発を行う。

(2) プロジェクタつきモバイル端末の動きに関わらずに投影対象平面座標系で固定された映像を提示するためには、投影対象平面とプロジェクタの位置関係を推定する必要がある。モバイル端末に搭載したカメラや慣性センサなどを用いて Simultaneous Localization And Mapping (SLAM) と呼ばれる問題を解くことでこれは実現可能であるが、その高速化と高精度化が重要となる。本研究では、モバイル端末上に固定されたプロジェクタ・カメラ系と対象平面上の投影像との間の幾何学的拘束を利用して、推定問題の自由度を下げるための手法を開発する。

(3) モバイル端末の動きに関わらずに投影コンテンツを対象平面上に固定することにより、端末の動きを入力インタフェースに活用することが可能となる。特に、マウス操作等では用いられないことのないモバイル端末の姿勢回転の自由度を入力に用いることができるほか、本研究で取り組むシステムの高フレームレート性を利用するとダイナミックな入力動作を導入することができる。具体的には、デスクトップ画面を壁面や運動物体等に固定して投影しつつ、モバイル端末を持つ手の動きに連動して画面上のオブジェクトを放る、跳ね飛ばす等のダイナミックな入力操作の開発を行う。

### 4. 研究成果

(1) ホモグラフィ変換機能を持つ高速プロジェクタの開発については、DMD 制御ボード DLP Discovery 4100 上に搭載された FPGA 用の回路として、ボード上の DRAM に格納された映像データを、外部から動的に指定されたホモグラフィ行列パラメータに基づいて座標変換しながら投影する機能の実装を行った。開発した高速プロジェクタを図 1 に示す。

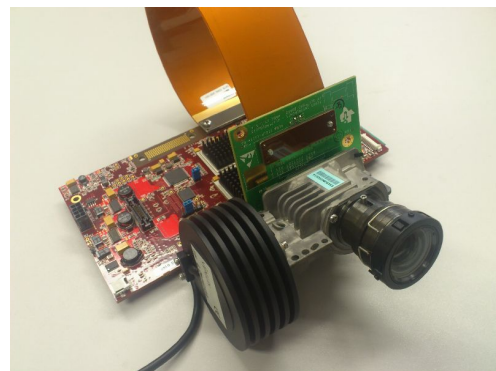


図 1 開発した高速プロジェクタ

ホモグラフィ変換のハードウェア実装においては、画素数回の実行が必要な除算がボトルネックとなるため、除算回数を 1/500 に削減するための近似計算アルゴリズムを開発した。FPGA への実装の結果、1024x768 画素の画像を毎秒 1300 フレームで座標変換・投影することが可能となった。これにより、投影対象平面とプロジェクタ間の任意の

相対位置姿勢に対応して映像に高速に幾何学的補正を加えることが可能となり、また任意の仮想的相対位置姿勢をシミュレートした映像投影を行うことが可能となった。

(2) モバイル端末に搭載したプロジェクタ・カメラ系の位置姿勢推定アルゴリズムの開発に関しては、自身によって対象平面に投影された既知パターンの観測により得られる幾何学的拘束により、プロジェクタ・カメラ位置姿勢のうち決定可能な3自由度を求め、残りの3自由度の状態推定問題に帰着する方法を開発した。具体的には、幾何学的拘束によって定まらない対象平面に垂直な軸まわりの回転1自由度と、対象平面に平行な並進2自由度を推定する問題として定式化した。代表的なSLAMアルゴリズムであるEKF SLAMおよびFastSLAMに対して提案する自由度削減手法を適用し、いずれも同程度以下の計算時間で推定誤差を大きく削減することができることを示した。特にFastSLAMの場合の計算時間は、状態を表現するパーティクルの数に概ね比例するため、提案手法により、推定精度を保ちつつパーティクルを減らすことで高速化することが可能であることがわかった。FastSLAMにおける推定精度向上を示す結果を図2に示す。

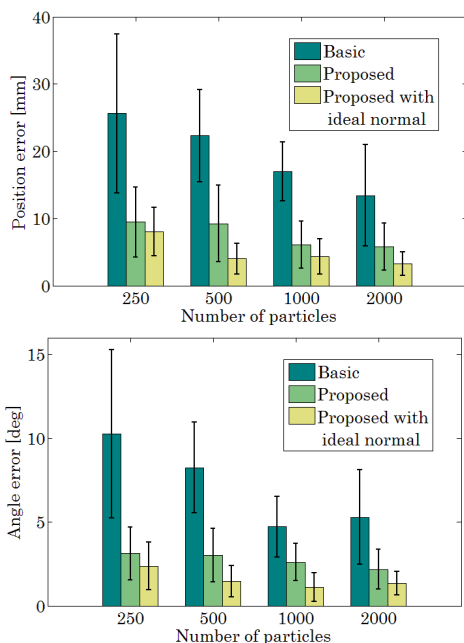


図2 位置姿勢推定誤差

(3) プロジェクタ搭載モバイル端末の動きを利用するユーザインタフェースのうち、端末の回転姿勢を利用する操作に関しては、モバイル端末によって映像を再生・閲覧する状況を想定して、映像コンテンツの検索・再生操作を端末の姿勢及び向きを利用して行うユーザインタフェースの開発を行った。評価の結果、端末の上下方向の動きをタイムラインの拡大・縮小に、端末の回転を拡大・縮小の中心時刻シフトに割り当てるユーザインタフェース設計の有効性が示唆された。

端末のダイナミックな動きを活用するユーザインタフェースの開発に関しては、投影される映像内のコンテンツのうち、スクリーン座標系に固定されるコンテンツと端末とともに動くコンテンツの相互間にダイナミクスを定義する、直観的で快適な操作インタフェースの開発を行った。具体的な操作例として、音楽コンテンツの検索・選択を行うカバーフロー操作に応用した。スクリーン上に固定された座標系の上で流れるカバーフローの動きを、モバイル端末と連動して動く投影像境界によって跳ね飛ばすことで、慣性スクロールを行っている様子を図3に示す。

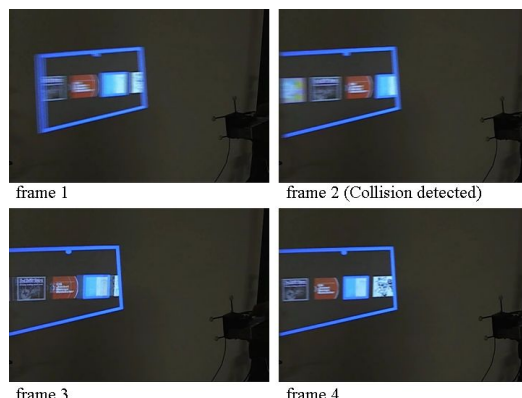


図3 ダイナミックな操作インタフェース

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

Edouard Laroche, Shingo Kagami, Loïc Cuvillon: Modeling and Compensation of Dynamic Effects in Camera-Based Position Measurement, Robotics and Autonomous Systems, 2014. (in press) 査読有

DOI: 10.1016/j.robot.2014.04.003.

鏡 慎吾: 高速ビジョンのためのOpenCVの活用, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.3, pp.244-248, 2013. 査読無

DOI: 10.7210/jrsj.31.244

Lei Hou, Shingo Kagami, Koichi Hashimoto: Frame Synchronization of High-Speed Vision Sensors with Respect to Temporally Encoded Illumination in Highly Dynamic Environments, Sensors, Vol.13, No.4, pp.4102-4121, 2013. 査読有

DOI: 10.3390/s130404102

戸潤 宏太, 鏡 慎吾, 橋本 浩一: 高速プロジェクタ・カメラシステムによる3次元計測と実世界インタラクティブゲームへの応用, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.2, pp.251-260, 2011. 査読有

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008712398>

〔学会発表〕(計 6 件)

阿部 圭馬, 鏡 慎吾, 橋本 浩一, モバイルプロジェクトの動きを利用する映像シークインタフェース, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013 (東京都新宿区, 2013.9.12), 2531P, 2013.

進藤 康孝, 鏡 慎吾, 橋本 浩一: 人物の姿勢情報を用いた加速度・角速度センサの所持位置と向きへの推定, 電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会 (熊本市, 2013.05.16), 電子情報通信学会技術研究報告, ASN2013-4, 2013.

今井 博之, 鏡 慎吾, 橋本 浩一: 投影像の幾何拘束を利用したモバイルプロジェクトカメラの位置姿勢推定, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (福岡市, 2012.12.20), 3F4-5, 2012.

鏡 慎吾, 荒井 勇亮, 折笠 達郎, 橋本 浩一: 高速視覚情報をヒトに伝えるディスプレイメディア, 第6回新画像システム・情報フォトリック研究討論会 (大阪府吹田市, 2012.06.22), pp.63-64, 2012.

荒井 勇亮, 鏡 慎吾, 橋本 浩一: 高速ビジョンシステムを用いたリアルタイム運動予測表示 -- 予測軌道を表示するエアホッケーシステム--, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 (浜松市, 2012.05.29), 2P1-Q04, 2012.

Yusuke Arai, Shingo Kagami, Koichi Hashimoto: Experimental Studies on Prediction in Air Hockey Games, 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (Kyoto, Japan, 2011.12.22), pp.112-117, 2011.

荒井 勇亮, 鏡 慎吾, 橋本 浩一: 高速ビジョンシステムを用いたリアルタイム運動予測表示 -- エアホッケーを題材とした基礎検討 --, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 (仙台市, 2011.09.15), 2011.

〔産業財産権〕

取得状況 (計 1 件)

名称: 視覚センサ同期装置および視覚センサ同期方法

発明者: 鏡 慎吾

権利者: 東北大学

種類: 特許

番号: 特許第 5213045 号

取得年月日: 25 年 3 月 8 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鏡 慎吾 (KAGAMI, SHINGO)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号: 90361542

(3) 連携研究者

橋本 浩一 (HASHIMOTO, KOICHI)

東北大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号: 80228410

荒井 翔悟 (ARAI, SHOGO)

東北大学・大学院情報科学研究科・助教  
研究者番号: 80587874