

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330230

研究課題名(和文)リアルタイムProCamによる動的物体のアピランスエディティング

研究課題名(英文)Appearance Editing of Dynamic objects with a Real-Time ProCam System

研究代表者

橋本 直己 (Hashimoto, Naoki)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・准教授

研究者番号：70345354

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高精度なアピランスエディティングを実現するために、高精度な画素間対応に基づいた高精度な光学的補正手法と、高速・高精度な位置姿勢推定手法を用いた動的な空間型AR技術を実現した。また、実環境における簡易な光源推定手法、および、複数の動く物体に対応したプロジェクタ投影映像のボケ補正手法を実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research, for high-quality dynamic appearance editing, we achieved precise photometric compensation method based on sub-pixel level geometrical calibration, and dynamic spatial augmented reality system with real-time pose estimation with ICP and particle filter. We also provide easy light-source estimation in the real-world and adaptive deblurring of image projection on multiple targets.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：空間型拡張現実感 バーチャルリアリティ 映像投影 プロジェクションマッピング

1. 研究開始当初の背景

大型スクリーンへの映像投影に用いられてきたプロジェクタを使って、実物体に映像を投影する技術が注目されており、プロジェクションマッピングと呼ばれて、イベントやショーにおいて印象的な映像演出を実現していた。また、実物体に映像投影を行い、その外観（アピランス）を変化させることで、バーチャルな映像に実物体の実在感を融合して提示する、新たな映像提示手法としての期待も高まっていた。

しかし、実際に実物体のアピランスを変更した場合、理論どおりに変更できない場合が多く、また、対象となる現実世界が静止していることを条件とする大きな制約が存在したため、プロジェクションマッピングの応用範囲を大幅に制限することとなっていた。

2. 研究の目的

(1) 映像投影時のプロジェクタ及び投影面を高精度にモデル化することで、高精度なアピランスエディティングを可能にする。

(2) 動いている対象の位置姿勢をリアルタイムに推定することで、動的なプロジェクションマッピングを実現する。

3. 研究の方法

本研究では、リアルタイム ProCam による動的物体のアピランスエディティングを実現するために、以下の4つの方法を用いた。

(1) アピランスエディティングのための高精度光学的補正技術の開発

映像投影対象本来の色情報を打ち消して、任意の映像をその上に投影するためには、プロジェクタ及び投影面の入出力応答をモデル化した応答関数を用いて、光学的な補正を実現する手法が一般的に行なわれている。しかし、研究レベルでの投影対象は、緩やかな輝度変化を伴った模様が対象となることが多く、実在する物体が有する、輪郭のはっきりした模様の打ち消しには、対応することが困難な場合が多い。そこで、本手法では、プロジェクタとカメラの各画素間のズレに着目した。各画素間の対応付けは、プロジェクタによる投影と、カメラによる観測を結びつける重要な要素であり、光学的補正の精度に大きく影響している。しかし、実際の画素は、完全に重なり合うことなく、複雑に重複した関係となる。この事実に着目し、より正確に画素の重なりを計測し、それに基づいた光学的補正を実施することで、より現実的な模様に対する光学的補正を可能にした。画素間の対応付けには、3次元計測等に用いられている位相シフト法を用いることで、プロジェクタおよびカメラのみの機材で、高精度化を実現した。

(2) 動的な対象へのプロジェクションマッピングシステムの実現

動く対象の位置姿勢をリアルタイムに推定するために、深度カメラから得られる点群と、事前に取得した対象のモデル点群を、ICP アルゴリズムを用いてマッチングさせる手法を提案した。一般的に、運動する対象に対してICPを用いる場合、フレーム間移動距離の増加から、局所解に陥ることと、計算処理が増加することが問題視されてきた。そこで本手法では、予測フィルタである Particle Filter を事前に適用することで、マッチングする点群間の距離をあらかじめ縮めておくことで局所解を回避し、繰り返し計算処理の低減を行なった。また、マッチングに用いる点群を、静的ならびに動的な環境において最適化することで、点群数の削減および位置姿勢推定処理の高速化を実現した。

(3) プロジェクタの投影遅延補償

リアルタイムに対象物体の位置姿勢を推定したとしても、その推定処理時間や、プロジェクタが潜在的に持っている遅延時間によって、投影時にズレが生じることが知られている。これは、実物体のアピランスエディティングにおいて致命的な問題となるため、位置姿勢推定の高速化特性を活かし、動き予測による遅延補償手法を提案した。様々なシステムに対応するため、与えられた映像のみから動きを解析し、補償する仕組みを実現した。

(4) アピランスエディティング品質の向上

アピランスエディティングの品質全般に寄与する試みとして、映像投影を行なう空間の光源情報、及び、投影対象の反射特性モデルを、深度カメラを使って簡易に計測する手法を実現した。これにより、現実空間の光源情報を反映した映像投影を、より容易に利用可能にすることができた。また、映像投影を行なう対象は複雑な形状を有しているため、物体表面全体で良好なフォーカスを実現することは、一般的なプロジェクタでは困難である。そこで、動的な対象に対しても、常に良好なフォーカスを実現する、ボケ補償機能を提案した。

4. 研究成果

本研究で実施した4つの手法に対して、それぞれの成果を以下で述べる。

(1) 家庭用に使われている、比較的派手な模様を有したカーテンに対して、その模様を打ち消して、任意の映像を投影する実験を行なった。プロジェクタおよびカメラは一般的な

機材を用いた。グレイコードおよび位相シフト法によって、カメラとプロジェクタの画素間対応を取得し、sub-pixel レベルでの幾何対応に基づいた光学的補正を実施した。その結果、図1および2に示すように、カーテンの様を打ち消して、任意の様を投影可能であることを確認した。



図1 投影環境



図2 カーテン上での補正結果

(2)一般的な深度カメラ (MS Kinect) およびプロジェクタ (60fps) を用いて、動的なプロジェクションマッピングシステムを構築した。ICP+Particle Filter による位置姿勢推定は、事前処理によるモデル点群の削減と、リアルタイム処理による、Kinect から入力される点群の背景および人物削除によって、従来の 15fps から 45fps まで高速化することに



図3 システム構成



図4 動的なプロジェクションマッピング

成功した (図3および4)。

(3)実物体の動きを正確に捉えるために、200fps の高速度赤外カメラを用いて、実時間動き解析を実現した。基本的にはオプティカルフローを用いて推定を行ない、補間処理や安定化処理をGPU上にて実現した。これによって得られる動きベクトルから、投影遅延分の動き予測を行ない、補償画像を生成することで、投影ズレの低減を実現した。図5では、遅延補償の様子を示しており、上段では手の上下運動に対して、重ねて投影されるはずの映像がずれていることが確認できる。それに対して、遅延補償を行なった下段では、ズレ量が低減していることが確認できる。

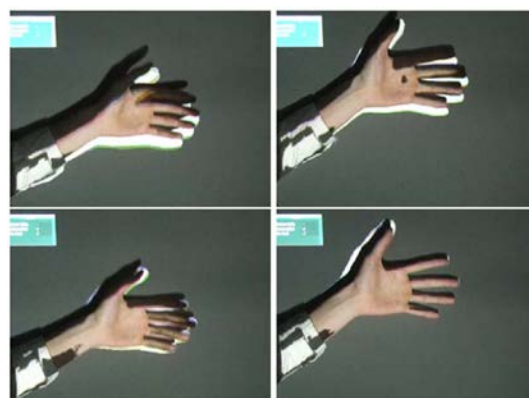


図5 動き予測による投影遅延補償

(4)実環境における光源推定に関しては、深度カメラから得られる物体の法線情報に基づいたモデル化と、それを用いた簡易ARシステムにおいて、光源再現効果を確認した (図6)。また、動的な対象に対するボケ補償に関しては、一般的なプロジェクタのフォーカス調整ダイヤルを稼働させる簡単な機構を構築し (図7)、これを深度カメラから得られる対象までの距離に応じて制御すると共に、PSF を用いたボケ補償カーネルによる画像処理によって、距離が変化する対象へのインタラクティブなボケ補償を実現した (図8)。図8では、PSF による補正効果が十分に得られない領域でも、フォーカスダイヤルを制御することで (PSF+focus)、より良好なフォーカスが実現できていることが確認できる。



図6 環境内の光源を考慮したAR



図7 フォーカスダイヤル調整機構

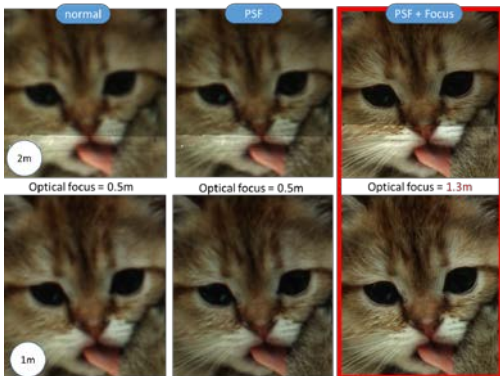


図8 ボケ補正結果

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3件)

- ①小林 大祐、小泉 諒、橋本 直己、深度カメラを用いた実時間姿勢追跡に基づく動的な空間型ARの実現、電子情報通信学会論文誌、査読有、J99-D、3、264-272、2016
- ②酒巻 祥平、橋本 直己、動的なプロジェクションマッピングにおける遅延補償手法、映像情報メディア学会誌、査読有、69、9、J278-284、2015
- ③石田 左句、橋本 直己、ARにおける任意物体の反射特性推定を用いた光学的整合性の実現、映像情報メディア学会誌、査読有、68、7、J320-J322、2014

[学会発表] (計17件)

- ①青木 耀平、丸山 啓介、橋本 直己、安価な深度センサによる高精度プロジェクションマッピングの実現、映像情報メディア学会ME研究会、2016年2月20日、横浜
- ②庭田 直也、橋本 直己、高速な特徴点検出を用いた動的な空間型ARの実現、映像情報メディア学会ME研究会、2016年2月20日、横浜
- ③Ryotaro Takaoka、Naoki Hashimoto、Depth Map Super-Resolution for Cost-Effective RGB-D Camera、CyberWorlds2015、2015年10月7~9日、ゴットランド・スウェーデン
- ④Ryo Koizumi、Daisuke Kobayashi、Naoki Hashimoto、Acceleration of Dynamic Spatial Augmented Reality System、CyberWorlds2015、2015年10月7~9日、ゴットランド・スウェーデン
- ⑤Naoki Hashimoto、Koki Kosak、Photometric Compensation for Practical and Complex Textures、SIGGRAPH2015、2015年8月9~13日、ロサンゼルス・アメリカ
- ⑥小林 大祐、小泉 諒、橋本 直己、動的な空間型ARのための実時間姿勢追跡の実現、電子情報通信学会総合大会、2015年3月10~13日、草津
- ⑦小泉 諒、小林 大祐、橋本 直己、深度カメラを用いた動的な空間型ARシステムの高速度化、映像情報メディア学会ME研究会、2015年2月28日、横浜
- ⑧吉田 卓矢、橋本 直己、動的環境におけるマルチプロジェクションシステムによる映像補正、映像情報メディア学会ME研究会、2015年2月23~24日、札幌
- ⑨酒巻 祥平、橋本 直己、動的なプロジェクションマッピングにおける遅延補償手法、映像情報メディア学会ME研究会、2015年2月23~24日、札幌
- ⑩Naoki Hashimoto、Hisanori Saito、Mie Sato、Adaptive Deblurring of Image Projection on Multiple Targets、IWAIT&IFMIA2015、2015年1月11~13日、台南・台湾
- ⑪Daisuke Kobayashi、Naoki Hashimoto、Spatial Augmented Reality by Using Depth-Based Object Tracking、SIGGRAPH 2014、2014年8月10~14日、バンクーバー・カナダ

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・
准教授
研究者番号：70345354

- ⑫小林 大祐、橋本 直己、深度カメラを用いた実時間姿勢追跡に基づく動的な空間型ARの実現、映像情報メディア学会 ME 研究会、2014年2月22日、横浜
- ⑬田代 茜、齋藤 仙典、小川 智史、橋本 直己、動的物体への映像投影における焦点ボケの解消、映像情報メディア学会 ME 研究会、2014年2月22日、横浜
- ⑭石田 佐句、橋本 直己、ARにおける任意物体の反射特性推定を用いた光学的整合性の実現、映像情報メディア学会 ME 研究会、2014年2月22日、横浜
- ⑮Takuya Yoshida、Naoki Hashimoto、A Highly Accurate Photometric Compensation by Considering Indirect Reflected Light、IWAIT2014、2014年1月6～8日、バンコク・タイ
- ⑯ Shohei Sakamaki、Naoki Hashimoto、Predictive Projection for Dynamic Projection Mapping、IWAIT2014、2014年1月6～8日、バンコク・タイ
- ⑰ Shohei Sakamaki、Naoki Hashimoto、Time-Delay Compensation for Dynamic Projection Mapping、SIGGRAPH Asia 2013、2013年11月19～22日、香港

〔産業財産権〕

○出願状況（計2件）

名称：プロジェクションマッピング装置、映像投影制御装置、映像投影制御方法および映像投影制御プログラム

発明者：橋本 直己、小林 大祐、小泉 諒

権利者：同上

種類：特許

番号：特許願2015-030575号

出願年月日：平成27年2月19日

国内外の別：国内

名称：プロジェクションマッピング装置、遅延補償装置、遅延補償方法および遅延補償プログラム

発明者：橋本 直己、酒巻 祥平

権利者：同上

種類：特許

番号：特許願2015-027751号

出願年月日：平成27年2月16日

国内外の別：国内

〔その他〕

<http://www.ims.cs.uec.ac.jp/research>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 直己 (HASHIMOTO, Naoki)