

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 22 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700162

研究課題名(和文) 移動機構を導入した多眼カメラによるリアルタイム自由視点映像生成

研究課題名(英文) Real-Time Free-Viewpoint Video Synthesis Using a Movable Camera Array

研究代表者

高橋 桂太 (TAKAHASHI, Keita)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30447437

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：人物等の動的な対象をリアルタイムに観察できる自由視点カメラにおいて、広範囲の視点移動の実現を目指した。この目的に向けて、カメラを電動プラットフォームに搭載して物理的に移動させるハードウェア的アプローチと、多眼カメラを通して取得される映像の補間によってリアルタイムに自由視点映像を生成するソフトウェア的アプローチを融合する枠組みの構築に取り組んだ。特に、多眼カメラの移動中に途切れることなく自然な映像を生成するため、カメラの自己位置推定に基づいて座標を補償する手法、および、多眼カメラを最適な位置に移動するため、電動プラットフォームをスムーズに制御する手法を開発し、実験によってその有効性を確かめた。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is to achieve a "free-viewpoint camera" that can be used to observe dynamic objects such as humans in real time. To extend the range for the viewpoint movement, we have developed a framework that integrates two approaches; a hardware-based approach where a camera device is physically translated or rotated using an electric platform, and a software-based approach, where multi-view images captured through a multi-view camera are interpolated to generate free-viewpoint images in real time. In this framework, we have estimated the position and orientation of the camera device from the captured images and used it to compensate the coordinate system. Furthermore, we have smoothly controlled the electric platform to move it to the optimal position and orientation. We have evaluated our method through experiments and confirmed that we can observe photo-realistic images without interruption during the movement of the platform.

研究分野：情報学

キーワード：画像情報処理 自由視点映像

1. 研究開始当初の背景

ユーザが対象を観察する視点位置を自由にコントロールできるようなカメラを、自由視点カメラと呼ぶことにする。自由視点カメラを実現できれば、ユーザは自身の視点位置を自在に操ることができ、あたかも空間を飛び回るかのような体験をすることもできる。この技術は三次元空間の可視化手法として効果が高く、テレビ会議等の遠隔地通信や、スタジオ撮影におけるカメラワーク等への応用が期待できる。

観察視点を移動する従来の方法として、以下の2つが挙げられる。

まず、カメラを移動機構(ロボットアーム、移動ステージ、移動台車等)に搭載し、所望の視点位置にカメラを直接移動する手法がある。対象物が静止しており、かつ複数の視点からの画像の記録が目的である場合には、このアプローチが適する場合もある。しかし、視点の移動には必然的に時間遅れがあるため、動的な対象をリアルタイムに観察する用途においては限界がある。また、プラットフォームの仕様によって視点が移動できる範囲が制約される。

別の手法として、多眼カメラ装置によって複数の視点位置から撮影した映像(多視点映像)をもとに、実際には撮影されていない新しい視点位置から見た映像(自由視点映像)を生成する方法がある。この方法はソフトウェア処理に基づくため、時間遅延を伴わずに視点移動が可能である。また、多眼カメラのカメラ面内だけでなく、前後に移動した位置から見た映像も生成できるという柔軟性を持つ。しかし、映像の補間を基盤とした方法であるため、生成が可能なのは多眼カメラ装置の枠内を通過する光線のみであり、実質的に視点移動が可能範囲が狭いという限界がある。

2. 研究の目的

本研究では、人物等の動的な対象をリアルタイムで観察できる自由視点カメラの実現において、広範囲な視点移動を可能にすることを目的とした。この目的を実現するため、カメラを電動プラットフォームに搭載して物理的に移動させるハードウェアからのアプローチと、多眼カメラを通して取得された映像の補間によって自由視点映像を合成するソフトウェアからのアプローチを融合した枠組みの構築に取り組んだ。上記の融合により、ハードウェアによる広範囲な視点移動のサポートと、ソフトウェアによる視点移動の機敏さと柔軟性の高さを両立し、どちらか一方のアプローチでは達成し得ない、従来にない品質の自由視点カメラを実現することを目指した。より具体的には、研究代表者がこれまで開発してきた、多眼カメラを用いた自由視点映像生成をベースとし、多眼カメラ装

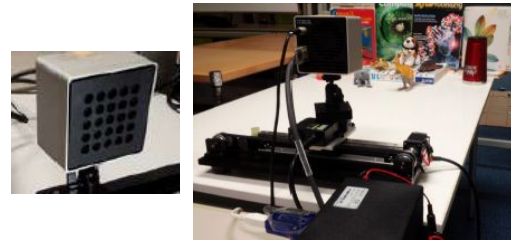


図 1: 実験装置の外観

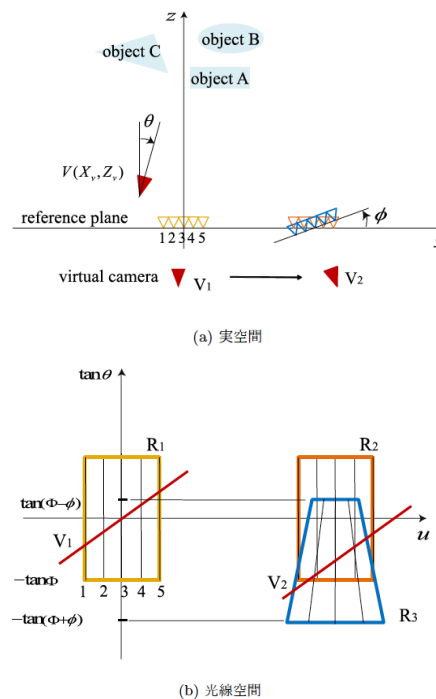


図 2: 実空間と光線空間での考察

置を新たに電動プラットフォームに搭載することで可動化する方向から研究を進めた。

3. 研究の方法

多眼カメラとして、視点が 5×5 に密に配置された 25 眼カメラ (ProFUSION25) を用いた。電動プラットフォームについては、高速に動作する平行移動ステージを特注にて製作し、さらにその上に回転ステージを搭載したものをを用いた。したがって、多眼カメラの物理的な動きとしては、水平方向への移動と、垂直軸周りの回転が可能である。実験装置の外観を図 1 に示す。多眼カメラと電動プラットフォームは同一の計算機に接続されている。この計算機上で、多視点映像の取得、自由視点映像の生成表示、および電動ステージの制御の一連の処理を実行する。

3.1 多眼カメラの自己位置推定と座標補償

多眼カメラの位置・姿勢が時々刻々と変化する状態で、途切れることなく自由視点映像

を生成表示するため、多眼カメラの自己位置推定と座標補償を行う。自己位置推定は、多眼カメラによって取得される自然特徴点を用いる手法を採用し、1 フレーム前の時刻と現在の時刻との相対的な動きを推定することとした。具体的には、まず、同一視点における時刻間、および同一時刻における異なる視点間で、多数の自然特徴点の対応をとった。次に、それら対応点の幾何学的関係から、特徴点群に対する多眼カメラの運動パラメータ（回転および並進）を推定した。特徴点群の大半が静止していると仮定すれば、これにより多眼カメラの運動が求まる。さらに、このとき、特徴点の誤対応や、動いている特徴点の影響を除去するため、RANSAC と呼ばれる安定化の枠組みを適用した。最後に、計算機内部の座標系は多眼カメラを基準として設定されているため、推定された多眼カメラの動きを相殺するように内部座標系を補償することで、自由視点映像を生成する物理的な視点が保持されるようにした。

3.2 プラットフォームの制御

ユーザから要求されている映像の視点位置、視線方向に応じて、最適な多眼カメラの位置・姿勢を求めめるため、光線空間に基づく考察を行った。光線空間では、空間中を直進する光線を、参照平面との交点、および進行方向を表す角度で表現する。実空間上での 1 点を通る光線は、光線空間上では線分に対応する。ユーザの要求する画像を生成するためには、図 2 に示すように、多眼カメラによって取得される光線空間上の範囲(領域 R)を移動して、要求されている画像に対応する光線の範囲(線分 V)をカバーすればよい。

さらに、求められた位置・姿勢に向かって滑らかにカメラを移動するため、誤差に基づく比例速度制御を導入した。実装においては、制御周期 1 回あたりに電動プラットフォームに与えるパルス数を現在の誤差に比例させることにより、等価的に比例速度制御を実現することにした。この制御手法については、実際のプラットフォームで実験に加えて、数値計算ソフトウェア (MATLAB) によるモデル化・シミュレーションを併せて行い、その妥当性や安定性を考察した。

4. 研究成果

まず、多眼カメラの自己位置推定において、リアルタイム処理の範囲内で多眼カメラの運動パラメータを推定でき、そのパラメータを用いて安定に座標補償を行うことが可能であることを示した。また、提案手法により、自由視点カメラにおける視点移動範囲を広域化することができた。図 3 に示すように、電動プラットフォームに、水平移動だけではなく、垂直軸回りの回転の機能を与えたことにより、ユーザの要求する映像に必要な情報をカバーすることが容易になった。さらに、



図 3: 提案法による自由視点映像

- (上) 水平移動のみ
- (下) 水平移動と垂直軸回りの回転

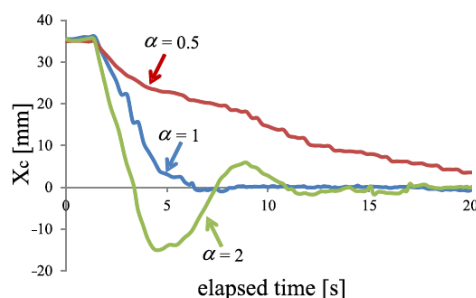


図 4: 電動ステージの制御の例

多眼カメラの自己位置推定に基づく座標補償、および電動プラットフォームの円滑な制御技術を組み合わせることにより、多眼カメラの静止・移動状態のいずれにおいても、途切れることなく自然な映像提示を実現することができた。図 4 に電動プラットフォームの平行移動ステージの制御の例を示す。グラフの横軸は時刻、縦軸は目標位置からの位置誤差である。ここでは、誤差の初期値として比較的大きなステップ入力を与えている。ハードウェアの仕様により、若干の遅延が発生するが、速度制御のパラメータを適切に調整することで、目標とする位置に安定かつ高速に到達できることを確認した。また、遅延を考慮したモデル化を行ったところ、数値計算においても同様の制御特性が得られることを確認した。

また、上記に付随する成果として、多眼カメラ映像から生成される自由視点映像の品質を向上させるため、アクティブ照明技術を用いる手法を開発した。アクティブ照明法で

は、プロジェクタから人工的なパターン光を投影することで、自由視点映像生成における奥行き推定の安定性を改善することができる。今後は、この技術を本研究の主要な成果である電動プラットフォームによる視点移動の広範囲化と組み合わせることにより、さらに高品質で自由度の高い自由視点カメラ技術の実現が期待される。

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)

T. Mori, K. Takahashi, T. Fujii: "Real-Time Free-Viewpoint Image Synthesis System Using Time Varying Projection", ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol. 2, No. 4, pp. 370-377 (2014.10.1). [査読有]
https://www.jstage.jst.go.jp/article/mta/2/4/2_370/_article

高橋, 金子: "自由視点映像生成のための自然特徴点を用いた多眼カメラの自己位置推定法", 電子情報通信学会和文論文誌, Vol. J96-D, No. 9, pp. 2010-2012 (2013.9.1). [査読有]
<http://search.ieice.org/bin/index.php?category=D&year=2013&vol=J96-D&num=9&lang=J>

高橋: "ダウンサンプリングされた光線空間データのレート歪み特性についての一考察", 電子情報通信学会和文論文誌, Vol. J96-D, No. 9, pp. 1978-1980 (2013.9.1). [査読有]
<http://search.ieice.org/bin/index.php?category=D&year=2013&vol=J96-D&num=9&lang=J>

[学会発表](計 9 件)

S. Yamada, K. Takahashi, K. Sawada, M.-P. Tehrani, T. Fujii: "Free-viewpoint Video Synthesis from a Movable 2D Camera Array", The 1st International Conference on Advanced Imaging (ICAI2015), National Center of Science, Tokyo, Japan (2015.6.17-19).

山田, 高橋, 澤田, テヘラニ, 藤井: "可動型多眼カメラによる自由視点映像生成", 第21回画像センシングシンポジウム (SSII2015), 神奈川県横浜市/パシフィコ横浜 (2015.6.10-12).

K. Takahashi, T. Fujii: "Least MSE Regression for View Synthesis," International Conference on 3D Vision (3DV) 2014, pp. 385--392, The University of Tokyo, Tokyo, Japan (2014.12.8-11).

山田 隼輔, 高橋 桂太, パナヒプル テヘラニ メヒルダド, 藤井 俊彰: "可動型多眼カメラによる自由視点映像生成における回転機構導入のための基礎検討", 映像メディア処理シンポジウム, I-4-02, 静岡県伊豆市/ラフォーレ修善寺 (2014.11.12-14).

山田 隼輔, 高橋 桂太, パナヒプル テヘラニ メヒルダド, 藤井 俊彰: "自由視点映像生成のための多眼カメラの位置制御手法の基礎検討", 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, G3-5, 中京大学名古屋キャンパス (2014.9.8-9).

山田 隼輔, 高橋 桂太, パナヒプル テヘラニ メヒルダド, 藤井 俊彰: "可動型多眼カメラによる自由視点映像生成のための光線空間の解析", 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2014), SS2-33, 岡山コンベンションセンター (2014.7.28-31)

森 達郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰: "時間変動アクティブ照明と時空間ステレオを用いた自由視点映像生成システム", 電気学会東海支部若手セミナー, 分散環境のためのマルチメディア情報処理と信号処理, 第2回, 愛知県名古屋市/名古屋大学 (2014.3.3).

T. Mori, K. Takahashi, T. Fujii: "Development of Free-Viewpoint Image Synthesis System Using Time Varying Projection and Spacetime Stereo," IS&T/SPIE Electronic Imaging 2014, Vol. 9011-66, Hilton San Francisco, California, USA (2014.2.2-6).

森 達郎, 高橋 桂太, 藤井 俊彰: "アクティブ投影を用いた自由視点映像生成システムの基礎検討", 映像メディア処理シンポジウム, I-4-02, 静岡県熱海市/ニューウェルシティ湯河原 (2013.11.6-8)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

Pseudo Stabilization Using a Multi-View

Camera

<http://youtu.be/FE2QIzoAaTY>

Camera Array Project

<http://www.fujii.nuee.nagoya-u.ac.jp/~takahasi/Research/CamArray/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

高橋 桂太 (TAKAHASHI, Keita)

名古屋大学 大学院工学研究科 准教授

研究者番号： 30447437

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし