

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 18 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500103

研究課題名(和文) 広範囲の自由視点移動を可能とするビデオベースCG技術の開発

研究課題名(英文) Development of a video-based computer graphics technique for wide range free-viewpoint movement

研究代表者

藤本 忠博 (Fujimoto, Tadahiro)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：00312512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：複数のビデオカメラ映像から自由視点映像を合成するビデオベース・コンピュータグラフィックス技術として、広範囲の自由視点移動を実現するための基礎技術を開発した。まず、複数のカメラによる2種類のカメラクラスタを構築し、1次元全周配置によるパノラマ映像、2次元格子配置による自由視点映像の生成技術を開発した。また、広範囲での複数のカメラクラスタの利用に向けて、ビューモーフィング、プレーンスweep、さらに、視体積交差法とテクスチャ合成の融合による自由視点映像の生成技術を開発した。

研究成果の概要(英文)：Several fundamental devices and methods were developed for a video-based computer graphics technique to synthesize a free-viewpoint video from multiple videos to allow a free-viewpoint to move in a wide range. Two types of devices, which were named camera clusters, were developed: one has a one-dimensional whole circumference arrangement of cameras to generate panorama videos; and another has a two-dimensional array arrangement of cameras to generate free-viewpoint videos. To use multiple camera clusters to generate free-viewpoint videos in a wide range, a view morphing-based method, a plane sweep-based method, and a method combining volume intersection and texture synthesis were developed.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：イメージベース・コンピュータグラフィックス、ビデオベース・コンピュータグラフィックス、自由視点映像、パノラマ映像、ビューモーフィング、プレーンスweep、視体積交差法、テクスチャ合成

1. 研究開始当初の背景

複数のカメラにより撮影対象(物体や風景など)を異なる位置から撮影した元画像(多視点画像)を利用し、撮影対象を自由な視点位置から見た自由視点画像を合成するイメージベース・コンピュータグラフィックス(イメージベースCG)技術の研究が国内外で盛んに行われている。その萌芽期は1990年代前半であり、当初は静止画像が対象であったが、2000年代に入りビデオ(動画)映像を扱う研究が主流となり、ビデオベースCGとも呼ばれるようになった。しかし、現状の技術では、自由視点の移動が狭い範囲に限定され、自由度も十分ではない。そこで、本研究では、3次元空間上の広範囲で自由度の高い自由視点移動を可能とする新たなビデオベースCG技術を提案する。

2. 研究の目的

複数のビデオカメラ映像から自由視点映像を合成するビデオベース・コンピュータグラフィックス(ビデオベースCG)技術として、3次元空間上の広範囲で自由度の高い自由視点移動を可能とする新たな技術を提案する。本技術では、数台のカメラを組み合わせたカメラクラスタを複数個用意して3次元空間上に配置し、それらをPCを介してネットワーク接続したカメラクラスタネットワークを構築する。個々のカメラクラスタが生成する視野360°の全周パノラマ映像を相互に融合することで、3次元空間上を広範囲に連続的に移動する任意の自由視点位置で360°の視野を実現するシームレスな自由視点映像をリアルタイム(実時間)で生成する。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、研究開始当初は、次の研究課題の実施を計画していた。

- (1) カメラクラスタによる全周パノラマ映像生成技術の開発
- (2) カメラクラスタネットワークによる複数の全周パノラマ映像を用いた自由視点映像生成技術の開発
- (3) 自由視点映像改善のための仮想CG技術の開発

そして、実際の実施過程では、それまでの研究成果、知識や知見等の利用を考慮し、可能な範囲で複数の課題を並行して実施し、進捗度合いや発生した問題の解決などの状況に応じて、適宜、当初の計画を変更した。結果として、研究期間内に次の課題を実施した。

- (1) カメラクラスタによる映像生成技術の開発
 水平面上1次元全周配置のカメラクラスタによるパノラマ映像生成
 鉛直面上2次元格子配置のカメラクラスタによる自由視点映像生成
- (2) カメラクラスタネットワークの実現に向けた複数映像を用いた自由視点映像生成

技術の開発

- ビューモーフィング法による広範囲の複数画像を用いた自由視点映像生成
- プレーンスイープ法によるリアルタイム自由視点映像生成
- (3) 自由視点映像改善のための仮想CG技術の開発
 視体積交差法とテクスチャ合成法による高品質自由視点映像生成

以下、各課題の研究成果を報告する。

4. 研究成果

- (1) カメラクラスタによる映像生成技術の開発

水平面上1次元全周配置のカメラクラスタによるパノラマ映像生成

はじめに、視野360°の全周パノラマ映像を生成する元映像を撮影するため、複数のデジタルビデオカメラを水平面上で外向きに放射状に配置することでカメラクラスタと呼ぶ装置を作成した。具体的には、図1に示すように、水平視野約120°の広角レンズを装着した8台のカメラを金属フレームで製作した設置台に視線方向の角度差45°の間隔で設置した。全てのカメラをUSB2.0接続により1台のPCに接続した。表1にカメラとPCの性能を示す。



図1: カメラクラスタ(水平面上1次元全周配置)の構成

表1: カメラクラスタ(水平面上1次元全周配置, 鉛直面上2次元格子配置)の性能

カメラ		Point Grey 製 FireflyMV (USB2.0)
P C	マザーボード	SABERTooth Z77
	CPU	Core i7-3770 3.4GHz
	GPU	GW GTX670 2048MBD5
	メモリ	8GB
	ハードディスク	500GB

続いて、カメラクラスタを構成する各カメラの元映像をパノラマ映像となるように正確に重ね合わせる方法を検討した。第一の案として、隣接する2台のカメラの映像上に映るシーン中の全ての物体が同一平面上に位置すると仮定し、平面に対するホモグラフィ行列を利用することとした。まず、OpenCVライブラリを利用して開発したプログラムに

より、隣接する2台のカメラごとの共通特徴点を効率的に得ることで、隣接カメラ間のホモグラフィ行列を算出した。そして、その行列を用いて、視線方向に依存して利用する隣接カメラ映像とホモグラフィ行列を切り替えることで、カメラ映像間の重なり部分を合成してリアルタイムでパノラマ映像を生成するプログラムを開発した。しかし、実際にはシーン中の全ての物体が同一平面上に位置することはないことから、特に、奥行きが大きく異なる複数の物体が存在する場合、重なり部分が大きくずれる不具合が生じた。

上記の問題の改善のため、第二の案として、カメラ校正によって各カメラの内部・外部パラメータを正確に推定して高精度なパノラマ映像を生成する方法を検討した。そして、従来のパノラマ映像のように視点を固定せず、視点移動に対して奥行き異なる物体を正確に表示する自由視点パノラマ映像の生成を行うこととした。この実現のためには、8台のカメラによるカメラクラスタにおける「水平視野約120°の広角レンズによるカメラ映像の歪み」と「視線方向の角度差45°の隣接カメラ映像上の共通点の対応付け」という問題を解決する必要があった。そこで、推定したカメラパラメータを用いて、

- <1> 各カメラ映像の歪み補正
- <2> 隣接カメラ映像の平行化
- <3> カメラパラメータから求めた基礎行列を用いたエピポラ幾何によるステレオマッチングによる共通点の対応付け

という処理により、物体の奥行き推定を伴う自由視点パノラマ映像の生成を行うこととした。カメラ校正、歪み補正、平行化の処理には OpenCV ライブラリを利用した。8台のカメラによる自由視点パノラマ映像の一部として生成した、隣接する2台のカメラ間に位置する自由視点に対する自由視点映像を合成した実験結果を図2に示す。広角レンズによるカメラ映像の大きな歪みを主な原因として、良質な平行化映像が得られず、結果として、現状では、良質な自由視点映像の生成には至っていない。今後、より高精度な平行化の実現方法の検討などが必要である。

鉛直面上2次元格子配置のカメラクラスタによる自由視点映像生成

上記の で8台のカメラを水平面上で配置したカメラクラスタは、水平方向の自由視点移動を目的としている。しかし、より自由度の高い自由視点移動のためには、垂直方向も含めた多様なカメラの配置を実現する必要性が生じる。そこで、図3に示すように、20台のカメラを2次元格子状に配置したカメラクラスタ(カメラアレイ)を構築し、3次元空間上の自由な自由視点移動を可能とする自由視点映像の生成法を開発した。レンズの水平視野は約60°であり、全てのカメラを USB2.0 接続により1台のPCに接続した。カメラとPCの性能は、 の場合と同様

に、表1に示すものである。

このカメラクラスタについては、20台のカメラの元映像によるライトフィールドを利用して、3次元空間上の任意の位置に与えた焦点面による注目物体の抽出を伴う自由視点映像の生成を行うこととした。図4に示す実験では、遮蔽物(カエルのぬいぐるみ)を除去して注目物体(チェッカーボード)と背景を抽出した自由視点映像を生成している。これにより、自由視点移動の自由度の向上に加え、自由視点映像中の物体に3次元的な立体感を与える方法の知見が得られた。

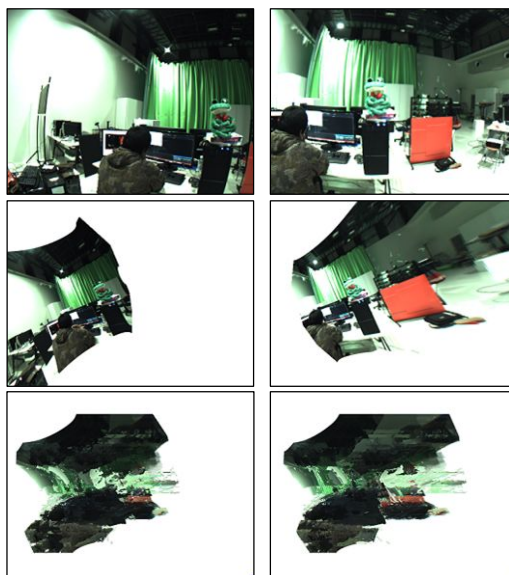


図2: カメラクラスタ(水平面上1次元全周配置)による自由視点パノラマ映像生成の実験結果。上段: 隣接カメラの元映像。中段: 元映像に対する平行化映像。下段: 隣接カメラ間の自由視点に対する自由視点映像。

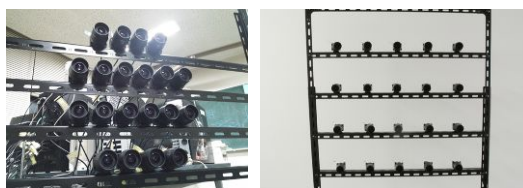


図3: カメラクラスタ(鉛直面上2次元格子配置)の構成

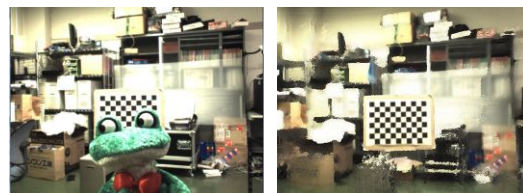


図4: カメラクラスタ(鉛直面上2次元格子配置)による自由視点映像生成の実験結果。左図: 実際のシーン。右図: 遮蔽物(カエルのぬいぐるみ)を除去して注目物体(チェッカーボード)と背景を抽出した自由視点映像。

(2) カメラクラスタネットワークの実現に向けた複数映像を用いた自由視点映像生成技術の開発

ビューモーフィング法による広範囲の複数画像を用いた自由視点画像生成

複数のカメラクラスタのネットワーク接続によるカメラクラスタネットワークの実現に向けた基礎技術として、同じシーンを互いに離れた位置から撮影した複数のカメラ画像からスムーズな視点移動を可能とする自由視点映像の生成法を開発した。この方法では、まず、各カメラ画像から Affine-SIFT により抽出した特徴点群を制約として、Structure from Motion によって各撮影位置に関するカメラパラメータと各特徴点の 3次元座標を推定する。そして、各カメラ画像上で特徴点群から生成した 2次元3角形メッシュを用いて、ビューモーフィング法によるカメラ画像の補間により、カメラ視点間の自由視点に対する自由視点映像を生成する。図5に互いに離れた位置から撮影した2枚のカメラ画像から自由視点映像を生成した実験結果を示す。遠方の建物はスムーズに補間できているが、手前の車は大きくぼやけている。これは、現状では、推定した特徴点の3次元座標を十分に利用せず、2次元3角形メッシュを用いたことが原因であり、3次元座標を利用することで改善できるものと考えられる。その実現を今後の課題とする。



図5：ビューモーフィング法により2枚のカメラ画像から自由視点映像を生成した実験結果。上段：元のカメラ画像。下段：生成された自由視点画像。

プレーンスweep法によるリアルタイム自由視点映像生成

注目物体の3次元形状を考慮して、複数のカメラ映像から高品質な自由視点映像をリアルタイムで生成するため、プレーンスweep法を利用した方法を検討した。リアルタイム性を重視するため、グラフィックス処理を高速に実行するGPU(Graphics Processing Unit)によるテクスチャ投影機能を利用したプレーンスweep法を開発した。図6に注目物体を囲むように配置した10台のカメラを用いた実験結果を示す。凹凸形状を持つ物体に対しても妥当な自由視点映像が生成

きている。表2に実験に用いたカメラとPCの性能を示す。プレーンをスweepするデプス位置の個数や各パラメータの設定により、自由視点映像の生成速度は3～5(fps)程度であった。

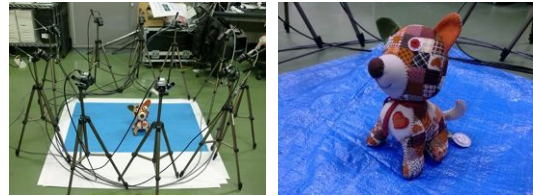


図6：プレーンスweep法により自由視点映像を生成した実験結果。上段：実験環境。中段，下段：生成された自由視点映像。

表2：プレーンスweep法の実験に用いたカメラとPCの性能

カメラ		Point Grey 製 FireflyMV(IEEE1394)
P C	マザーボード	SABERTOOTH Z77
	CPU	Corei7-3770 3.4GHz
	GPU	GeForce GTX680 2GB
	メモリ	16GB
	ハードディスク	500GB

(3) 自由視点映像改善のための仮想CG技術の開発

視体積交差法とテクスチャ合成法による高品質自由視点映像生成

互いに離れた位置から撮影した少ない枚数のカメラ画像から生成される低品質な自由視点映像を改善する技術として、視体積交差法とテクスチャ合成法を融合した方法を開発し、実験を行った。図7に互いに離れた位置から撮影した2枚のカメラ画像から中間位置の自由視点に対する自由視点映像を生成した実験結果を示す。従来の視体積交差法による自由視点映像に比べて、テクスチャ合成法の適用による品質の向上が見られるが、不自然な結果となっている。今後の改善策の検討を予定している。



図7：視体積交差法とテクスチャ合成法により自由視点画像を生成した実験結果。上段：元のカメラ画像。下段左：視体積交差法による自由視点画像。下段右：下段左図にテクスチャ合成法を適用した自由視点画像。

本研究の全体を通して、研究期間内には「3次元空間上を広範囲に連続的に移動する任意の自由視点位置で360°の視野を実現するシームレスな自由視点映像をリアルタイムで生成する」という当初の目的の達成までには至らなかった。しかし、その実現のための基礎技術を開発し、また、様々な知見や解決すべき問題が発見された。本研究の成果を生かし、今後も研究を継続する予定である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計6件)

豊嶋宏太，藤本忠博，複数のカメラを用いた全周パノラマ映像生成のための映像補間法，平成26年度芸術科学会東北支部大会，2015年1月10日，いわて県民情報交流センター（アイーナ）(岩手)

吉田周平，藤本忠博，離散画像間の自由視点画像生成のためのカメラパラメータ推定法と3次元点群生成法の検討，平成26年度芸術科学会東北支部大会，2015年1月10日，いわて県民情報交流センター（アイーナ）(岩手)

大門孝裕，藤本忠博，カメラアレイによる注目物体の実時間エディット手法，映像情報メディア学会メディア工学研究会，2014年2月22日，関東学院大学関内メディアセンター（神奈川）

大門孝裕，藤本忠博，カメラアレイによる遮蔽物除去可能な注目物体抽出法，平成25年度第3回芸術科学会東北支部研究会，2013年12月7日，フォレスト仙台（宮城）

樋口拓馬，藤本忠博，テクスチャ投影によるプレーンスweepの効率化手法，平成24年度第1回芸術科学会東北支部大会，2013年1月5日，いわて県民情報交流センター（アイーナ）(岩手)

沢田奈保子，藤本忠博，多視点画像による自由視点画像のテクスチャ合成ベース高品質化手法，平成24年度第1回芸術科学会東北支部大会，2013年1月5日，いわて県民情報交流センター（アイーナ）(岩手)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 忠博 (FUJIMOTO, Tadahiro)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：00312512