

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700191

 研究課題名（和文） ナビゲーションシステムのための複数全方位画像列を用いた
仮想視点画像生成

 研究課題名（英文） Virtual Viewpoint Image Generation from Multiple Omnidirectional
Images for Navigation System

研究代表者

阪野 貴彦（BANNO ATSUSHIKO）

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：70356187

研究成果の概要（和文）：

本申請研究では、全方位画像列を用いて、経路ナビゲーションのための任意視点画像生成手法の研究を行った。具体的には、（1）単一動画像列のための処理、および（2）複数動画像列のシームレスな接続のための処理に関する手法開発と（3）仮想視点から見た新動画像列生成のための処理を行った。全方位画像列より周囲の幾何情報とカメラパスの3次元環境を復元し、この仮想空間で仮想カメラを設定することで仮想視点画像を生成した。これらの開発事項のほかにも、全方位および通常画像を用いた3次元復元や、頑強な基礎行列推定や外れ値除去手法など周辺の要素技術の精度向上を図ることができた。

研究成果の概要（英文）：

In this application research, we developed an arbitrary viewpoint image generation method for navigation systems using omnidirectional image sequences. Specifically, our objectives are (1) processing for a single video sequence, (2) multiple video sequence treatments, and (3) a new video image sequence generation viewed from virtual viewpoints. We generated virtual viewpoint images by reconstructing the three-dimensional environment and the camera path from the omnidirectional image sequence, and to set up a virtual camera in this virtual space. Besides them, we developed a robust 3-D reconstruction system using the normal and omnidirectional images, and some elemental technologies such as robust outlier removal method by using double quaternion for fundamental matrix estimation, and robust saliency-points tacking method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン

1. 研究開始当初の背景

デジタルカメラ・ビデオの普及により、我々は様々な映像ソースを蓄積・閲覧するこ

とができる。また、これら映像ソースの利活用も提供され始めている。代表的な例として、グーグル・ストリートビューでは、全方

位画像が使われているが、これは静止画の集合であり、経路に沿って画像を連続して閲覧しようとするれば膨大な数のクリック操作が必要となる。ビデオなどの動画像については、例えばユーチューブでは車載動画像などが閲覧できるが、これは撮影者が走行した経路・視線方向でしか見ることはできず、ユーザーが自由に経路等を変更することができない。

このようなニーズに応えるため、近年、3次元地図が開発されつつある。まだ、一部の市街地などに限定されるものの、ユーザーが望む視点視線で画像を見ることができる。ところが、これらの地図では、建物は立方体などのプリミティブな形状モデルとして表現されているため、リアリティに欠けるといった問題点がある。

そこで本申請研究では、都市空間などにおいて、個別に撮影された全方位画像列を用いて、ユーザーが望む視点・視線で経路をナビゲートする動画像の生成手法を着想するに至った。コンピュータビジョンなどのコミュニティでは、インターネット上にある観光地などの写真から3次元形状を復元する手法が盛んに行われている。そこで、日常的な空間においても、全方位カメラを用いることで、従来のカメラより復元精度が向上することに着目し、本研究を構想した。

2. 研究の目的

複数の全方位動画像列を入力として、周辺の3次元環境の復元を行い、この環境を仮定の視点から見た場合の整合性ある画像列を生成する。この目的を達成するため、次の細分化した3つの要素技術の確立が不可欠である。

(1) 単一動画像列のための処理

データベースとして撮影した個々の動画像を個別に処理するための、新たな動画像処理手法を開発する。歩行者あるいは車両に搭載した画像列を使用する場合、画像取得時のカメラの動き推定や周辺の3次元構造の復元は必須となり、また、画像列に写りこんだ歩行者、周りの車両、雨筋、影などの定常でない撮像対象も問題となる。そこで、全方位動画像を用いた3次元幾何情報の推定と、画像上での移動物体除去を行う手法を開発する。

(2) 複数動画像列のシームレスな接続のための処理

2つ以上の動画像列を繋ぎ合せていくためには、幾何的および光学的な整合性が必要となる。幾何的整合性とは、ある動画像列から別の動画像列に移行する際に、カメラの位置や姿勢が正しく重なり合った地点で切り替えられることを示す。同様に、光学的整合性とは、別の動画像に切り替える際に画像の

明るさや色彩などの見え具合があまり変化しないようにスムーズに繋がることを示す。そこで、動画像接続のためのスムーズな画像位置合わせ手法を開発する。

(3) 仮想視点からみた新動画像列生成のための処理

画像列を繋ぐ間の画像や、車線を変更した画像、また実際に撮影した位置よりも高い位置からの画像、揺れを除去した画像など、実際には撮影していない画像列を新たに生成するための手法を開発する。また、全方位画像をそのまま表示する呈示法以外に、ユーザーが望む方向を従来画像のように切り出す呈示手法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では図1に示すような全方位画像を用いる。この全方位画像は1枚で全ての方向をカバーしており、情報量が多く、画像による3次元復元では従来の画像よりも精度が向上することを確認している。



図1 全方位画像

単一動画像のための処理としては、全方位動画像を用いた3次元環境復元カメラパス推定と、写りこんだ人物等の任意の物体除去を行う。動画像列からカメラパスと周囲の3次元環境を復元する手法では、Structure From Motionと呼ばれる手法を全方位画像に拡張する。本手法により、あらゆる方向の3次元情報を同時に復元することができ、なおかつ画角が広いことにより従来のカメラより高精度でのパス推定が可能となる。写りこんだ人物の除去に関しては、人物の色と輪郭をモデル化し、オプティカルフローと動的計画法を組み合わせることで、時間方向に人物領域の追跡・抽出が可能となる。除去した人物領域には、他の動画像領域を用いるインペインティングと呼ばれる手法を使用することで、違和感のない穴埋めを行う。また、オプティカルフローそのものも、時間前後の3フレームを用いることで、従来よりも頑強な手法を開発する。

複数動画像接続のための処理としては、異なる動画像間での画像位置合わせを行う。2つの照明条件の異なる画像間でのマッチングをとるため、照明変化に頑強な特徴点抽出法であるSIFTを採用、さらには全方位画像

から照明方向を特定し、3次元モデルから陰影画像を再現することで、天候変化に頑強なマッチング手法を開発する。また、特徴点マッチングの際には、誤った対応ペアを弾くため、ノイズに頑強で高速なクォータニオンを用いた基礎行列推定手法の開発を行う。

複数のパスにおいて、重複して復元した3次元環境をもとに、つなぎ合わせ処理手法を開発し、大規模な地図構築のための基礎技術を確立する。画像および画像列間の類似性より複数パスで重複している箇所を検出、もしくは同じ画像列であっても復元精度が低下した場合に自動的にパスを分割する。あわせて精度のよいサブマップをつなぎ合わせる手法を開発する。

新画像の生成に関しては、最も近い撮影済みのカメラ位置から復元した3次元環境を仮想投影し、モーフィングによって生成する手法をとる。本手法によりカメラの揺れを除去した画像の生成等を可能となる。さらに、補正後の画像上での特徴点の軌跡から、揺れ補正の度合いを客観的に評価する指標を提案し、従来手法より有効であることを示す。

4. 研究成果

(1) 単一画像列のための処理

本研究では、既存の手法のように1枚の全方位画像を分割するのではなく、そのまま1枚の画像として扱った。3次元復元を行う際には、SIFT、SURF、ORBといった最新の抽出手法を用いて、全方位画像より特徴点を追跡し(図2)、球面画像としてのStructure From Motionの定式化を行った。

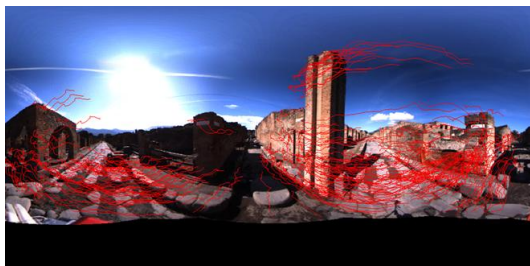


図2 画像特徴点の追跡

全方位 Structure From Motion では、①視線角度による復元に適したキーフレームの抽出、②ダブルクォータニオンによる安定的なF行列推定、③テンソル解法による高速・安定的な自己位置推定、④復元した3次元点を利用した強制トラッキングといった、本申請研究で開発した要素技術を盛り込み、安定した3次元復元が可能となった(図3)。また、入力画像である球面画像としての全方位画像を2次的に展開する際、回転変換を加えることによって、街路樹の下やトンネル内などの閉所においても、安定的に処理することができた。



図3 全方位 Structure From Motion

また、特徴点追跡が不十分になった場合には、処理を中断し、別の動画像として処理を再開するサブマップ分割により、誤差の蓄積を最小限に抑えられるようにした。

動画像列に写り込んだ移動物体の除去のためには、移動物体領域の特定と、除去後埋め合わせが必要である。移動物体領域の特定に関しては、MRコンテンツ作成の一環として、既存映像アーカイブから人物領域の抽出を行った。提案手法では、初期フレームでは解を手動で入力する必要があるが、それ以降は自動的に所望する物体を動画像から精度良く抽出することができた。既存手法との比較においても、提案手法の優位性を示すことができた(図4)。

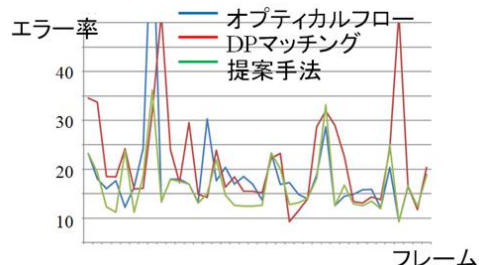


図4 移動物体領域抽出の精度

画像中から消したい領域を抽出した後は、類似した小領域を探索して埋め合わせるインペインティング手法を開発、適用することで埋め合わせを行った(図5)。

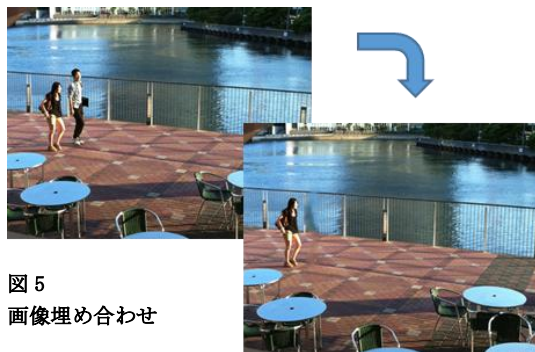


図5 画像埋め合わせ

(2) 複数動画像列のための処理

主に、複数画像を幾何的に接続するための手法開発を行った。異なる画像のフレーム間で、(1)と同様の特徴点抽出と、復元した3次元モデル間での幾何的な位置合わせを行うことで、安定的に接続することができた。

(3) 仮想視点動画像生成のための処理

仮想視点生成では、(1)で復元した3次元モデル内において、仮想視点の位置姿勢を設定し、その位置にカメラを置いた場合、復元した3次元点が画像のどこに投影されるかを計算し、球面上の三角パッチの最適変形を推定することで新画像生成を行った。本手法を画像の揺れ補正に適用し、有効性を検証した。図6に揺れ補正後の特徴点軌跡を示す。図2と比較すると、特徴点の軌跡が滑らかに変化しており、補正が有効に行われていることがわかる。我々が提案した揺れの度合いを示す数値では、20%以上軽減されたことを示した。

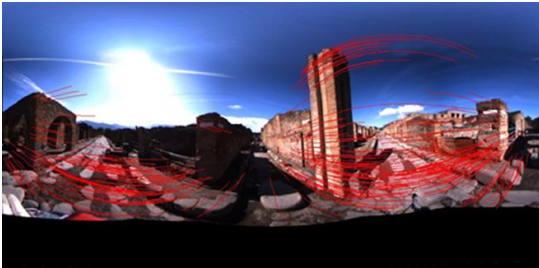


図6 揺れ補正後の特徴点軌跡

今後の展望としては、更なる大規模化と処理の高速化の2点が考えられる。大規模化とは、カバーする3次元空間の広域化であり、半径数キロメートルの範囲のモデル化である。大量のデータが必要となるため、同時に複数のカメラが撮影し、画像データをサーバなどに送ることで統一された広域地図生成を行う予定である。その際、画像列をサーバに投げるだけで、既存データとのマッチングなどを行えるような完全自動化処理が必要となる。そして、このような処理には更なる高速化が不可欠である。近年盛んになってきたGPU処理や並列化などで高速化を行う予定である。

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1件)

- ① Atsuhiko Banno, Katsushi Ikeuchi, Estimation of F-Matrix and Image Rectification by Double Quaternion, Information Science, 査読あり, 181(1), 2012, 140-150
DOI: 10.1016/j.ins.2011.08.019

[学会発表] (計7件)

- ① 阪野貴彦、モビリティロボットののための3次元環境地図構築、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013、2013年5月23日、つくば国際会議場 (茨城県)
- ② Menandro Roxas, Takeshi Oishi, Atsuhiko Banno, Katsushi Ikeuchi, Video Completion via Maintaining Consistent Motion, International Workshop on Robust Computer Vision, 2013年1月4日、大阪大学 (大阪府)
- ③ Ashwani Kumar, Takeshi Oishi, Shintaro Ono, Atsuhiko Banno, Katsushi Ikeuchi, 3D Geometric Modeling of Large Scale Urban Structure in World Geodetic System, International Workshop on Robust Computer Vision, 2013年1月4日、大阪大学 (大阪府)
- ④ Masaki Inaba, Atsuhiko Banno, Takeshi Oishi and Katsushi Ikeuchi, Achieving Robust Alignment for Outdoor Mixed Reality using 3D Range Data, ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 2012年12月10日、トロント (カナダ)
- ⑤ 稲葉正樹, 阪野貴彦, 大石岳史, 池内克史、3次元計測データを利用した屋外MRにおける頑健な位置合わせ、画像の認識・理解シンポジウム 2012、2012年8月7日、福岡国際会議場 (福岡県)
- ⑥ 千代裕介, 阪野貴彦, 大石岳史, 池内克史、時間方向への外挿・内挿に基づく前景領域抽出とフレーム補間、画像の認識シンポジウム 2011、2011年7月22日、金沢文化ホール (金沢県)
- ⑦ Mostafa Kamali Tabrizi, Atsuhiko Banno, Jean-Charles Bazin, In So Kweon and Katsushi Ikeuchi, Stabilizing Omnidirectional Videos using 3D Structure and Spherical Image Warping” IAPR Conference on Machine Vision Applications, 2011年6月14日、なら100年会館 (奈良県)

[その他]

ホームページ等

<http://staff.aist.go.jp/atsuhiko.banno>

<http://www.cvl.iis.u-tokyo.ac.jp/~vanno>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阪野 貴彦 (BANNO ATSUSHIKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号：70356187