

単眼全方位カメラを用いた環境モデリングによる 人間への任意視点映像提示の研究

Environment Modeling and Representation of Arbitrary Viewpoint Images by Using a Single Omni-Directional Camera

研究代表者	静岡大学工学部機械工学科	准教授	山下 淳
共同研究者	静岡大学工学部機械工学科	教授	金子 透

[研究の目的]

近年のインターネットの普及もあいまって、人間と機械のインタフェースとして、人間への映像提示が重要となっている。例えばネットショッピングでの商品写真やホテル予約時の部屋の写真などは、人間の判断に必要な要素である。

しかし、これらの提示映像は一方向あるいは数種類の方向から見たものであり、人間の希望通りの視点からの映像が提示されているわけではない。任意視点の映像を人間に提示することができれば、遠隔地の様子をインタラクティブに把握することができる。

そこで本研究では、単眼全方向カメラで撮影した映像を用いて環境モデリングを自動的に行い、その結果を利用して任意視点の映像を生成・提示する手法の構築を目的とする。

成する。生成したモデルを用いて、人間の要求に応じて任意視点映像を生成する。

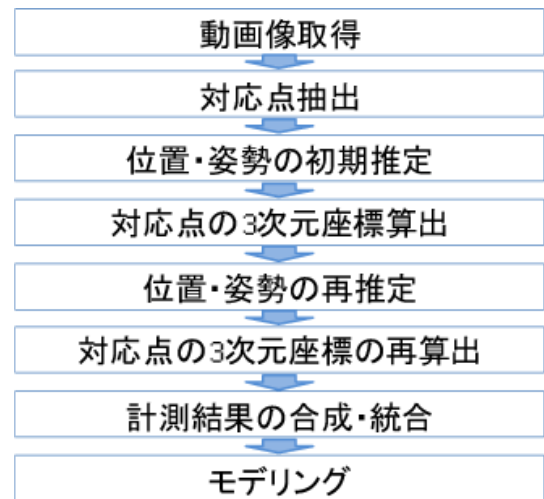


図1 処理の手順

[研究の内容, 成果]

本研究では、単体の全方位カメラを移動させながら周囲環境を撮影し、この映像を用いて環境モデリングを自動的に行い、その結果を利用して任意視点の映像を生成・提示する手法を構築した。

提案手法の概要は以下の通りである（図1）。まず全方位カメラを移動させながら動画を取得する。最初の画像中で特徴があり、対応の取りやすい点を特徴点として抽出し、以後の画像で追跡を行う。追跡を行った画像間で対応点が取得できる。追跡された複数の対応点情報を用いてカメラの動きを推定し、推定したカメラの動きを用いて対応点の3次元座標を算出する。以上の処理を繰り返し、動画を通して全計測結果を合成して環境の3次元モデルを生

実験装置は、移動ロボットにビデオカメラに双曲面ミラーを取り付けた全方位カメラを搭載したものを使用する（図2）。移動ロボットを環境中で走行させ、走行中に撮影した動画映像を用いて環境モデリングを行い、任意視点映像を生成する。

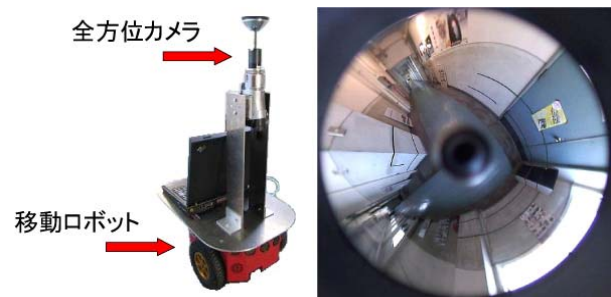


図2 全方位カメラと全方位映像

・対応点抽出

ロボットの移動前後の 2 画像間における対応点を取得するため、移動前の画像から特徴点を抽出し、移動後の画像まで追跡する。本手法では、Lucas Kanade Tracker と画像をピラミッド構造化して探索する手法を組み合わせた特徴点追跡手法を用いた。

なお、特徴を定量的に評価したものを特徴量と呼ぶ。特徴量が大きいほど追跡が容易な点で画像間の対応がとりやすい。逆に特徴量が小さい点ほど対応が取りにくいいため追跡に失敗する可能性が高い。そこで、本手法では特徴量が大きい順に特徴点を抽出した。

・位置・姿勢の初期推定

次に、動いているカメラの位置・姿勢の推定を行った。

本研究で用いる全方位カメラはカメラ前方に双曲面ミラーを装着したものであり、カメラの焦点距離などのパラメータと双曲面ミラーの形状などが既知の場合には、カメラから 3 次元空間中の点に向かう光線ベクトルを計算することができる。

計測に用いる 2 画像間の対応点の光線ベクトルを用いることで、カメラ移動前後の位置・姿勢情報を表す基本行列と呼ばれる行列を求めることができる。本研究では、基本行列をカメラの並進移動成分と回転移動成分に分解して計算することにより、カメラの並進および回転移動量を求めた。

ここで、特徴点追跡によって得られた対応点は全てが正しく対応しているとは限らない。対応を誤っている点が計測に含まれると位置・姿勢の推定に悪影響を及ぼす。そこで、位置・姿勢に悪影響を及ぼす点を外れ値として除去した。これには RANSAC (RANdom SAmple Consensus) と呼ばれる手法を用いた。

・対応点の 3 次元座標算出

算出されたカメラの並進移動成分および回転移動成分を用いて、対応点の 3 次元計測を行う。3 角測量の原理により、移動前後の画像上での対応点の座標値、および移動前と移動後のそれぞれの観測点のカメラ位置姿勢の情報を用いることで、3 次元空間中の特徴点の座標を求めた。

なお、計測精度は一般にカメラの移動方向の延長線付近ほど、あるいはカメラから遠いものほど悪い。そこで計測精度が良いと予想される対応点を自動的に抽出し、これらの対応点の 3

次元座標算出のみを算出した。

・位置・姿勢の再推定

これまでの処理で推定したカメラの位置・姿勢は、特徴点に含まれる誤差を考慮していないため、必ずしも良い推定結果であるとは限らない。そこで各特徴点の計測誤差を考慮して位置・姿勢を再推定する。これには、特徴点の再投影誤差の二乗和を最小化するバンドル調整法と呼ばれる手法を用いた。再投影誤差和を計算する際、特徴点ごとに計測誤差を評価し適切に重みをつけることで、より精度の良い推定を行った。

・対応点の 3 次元座標の再算出

再推定されたカメラの位置・姿勢情報を用いて、対応点の 3 次元計測を再度行い、より精度の高い計測結果を得た。

・計測結果の合成・統合

各観測点間で得られた計測結果を、各観測点の位置・姿勢推定結果を用いて重ね合わせ、合成する。

同じ特徴点を示す計測結果でも、含まれる誤差の違いから観測点間ごとに計測結果は異なる。したがって、各観測点間の計測結果を重ね合わせるとずれが生じ、同じ特徴点を示す計測結果が複数存在することになる。そこで本手法では空間をボクセルで区切り、各特徴点の計測誤差を考慮した評価値で重み付けをした投票を行うことで、特徴点の 3 次元位置を推定し計測結果を統合した。

・モデリング

得られた計測点群から 3 次元のドロネー分割により三角網を構築する。しかし、ドロネー分割によって得られる多面体構造は計測対象の形状を考慮していないため、物理的な辺に矛盾する三角網が生成されることがある。

そこで本手法では、矛盾を検出するテンプレートを導入して三角網を物理的な形状に適合するように最適化する手法を用いた。これにより実際の環境と矛盾しないモデルを生成することができる。

最後に、各観測点で撮影した画像の中でテクスチャの解像度が最大となる画像を選び、三角網の各面に貼り付けることで、モデルにより詳細な色情報を持たせた。

上記の処理で生成した環境モデルを用いて、

人間の要求に応じて任意視点映像を生成することができる。

・実験結果

単眼全方位カメラを用いて、屋内の L 字廊下（図 3）で動画撮影を行った。得られた全方位映像中において特徴点を追跡した結果の一例を図 4 に示す（画像中の点が追跡した特徴点を表す）。

追跡した特徴点の情報を用いて廊下の形状を計測した結果を上から見た様子を図 5 に示す。廊下の真ん中の点はカメラの移動軌跡である。この結果より、廊下の形状が精度良く計測できていることが分かる。



図 3 実験環境（廊下）

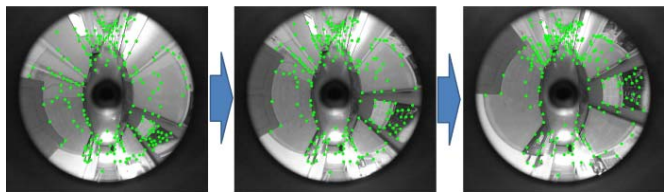


図 4 特徴点追跡の様子

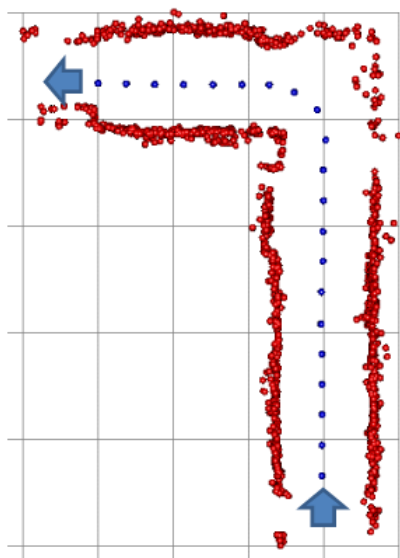


図 5 計測結果（廊下）

提案手法により得られた廊下の 3 次元環境モデルを図 3 と同一視点から見た様子を図 6 に示す。両者がほぼ一致していることが確認できる。

また、得られた 3 次元環境モデルを用いて、別視点からの映像を提示した結果を図 7 に示す。図 3 右側にあるドアを正面方向から見た映像を提示した結果が図 7(a)、同じく図 3 左側にある消火栓を正面方向から見た映像が図 7(b) である。

これらの結果より、単眼全方位カメラを用いた環境モデリングによる人間への任意視点映像提示が適切に行われていることが分かる。



図 6 モデリング結果（廊下）



(a) ドア

(b) 消火栓

図 7 モデリング結果（廊下・別視点）

次に、屋内の部屋（図 8）の環境モデリングの結果を図 9 に示す。廊下のモデリング結果と同様、図 9 においても精度良くモデリングができていることが分かる。



図 8 実験環境（部屋）



図9 モデリング結果（部屋）

[今後の研究の方向，課題]

本研究では，単眼全方位カメラを用いて環境モデリングを行い，その結果を用いて任意視点映像を人間に提示する手法を構築した．実験結果より，提案手法の有効性を確認した．

今後の課題としては，複数の観測点の位置・姿勢を同時に推定する手法の構築，計測点が疎な部分に新たに計測点を追加する手法の構築などが考えられる．

[成果の発表，論文等]

- 1) 川西 亮輔, 山下 淳, 金子 透: "全方位画像列を用いた3次元環境モデル生成", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 (Robomec2008) 講演論文集, 2P2-C13, pp.1-4, 長野, June 2008.
- 2) 川西 亮輔, 山下 淳, 金子 透: "全方位カメラを用いた3次元環境モデリング", 画像の認識・理解シンポジウム 2008 (MIRU2008) 論文集, pp.561-566, 軽井沢, July 2008.
- 3) Ryosuke Kawanishi, Atsushi Yamashita and Toru Kaneko: "Construction of 3D Environment Model from an Omni-Directional Image Sequence", Proceedings of the 3rd Asia International Symposium on Mechatronics (AISM2008), TP1-3(2), pp.1-6, Sapporo (Japan), August 2008.
- 4) 川西 亮輔, 山下 淳, 金子 透: "全方位画像列からの周囲環境モデル構築", 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2008AC1L2-03, pp.1-4, 神戸, September 2008.
- 5) 川西 亮輔, 山下 淳, 金子 透: "全方位カメラを用いた周囲環境計測のための特徴点フローモデルによる位置姿勢推定", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.33, No.11, pp.65-68, 横浜, February 2009.