

全天球カメラを用いた 歩行者ナビゲーション向けの屋内外3次元地図構築に向けた検討

飯田 啓量† 櫻田 健† 河口 信夫†‡
 †名古屋大学大学院工学研究科 ‡名古屋大学未来社会創造機構

1 はじめに

近年、日常生活のサポートやロボットナビゲーションなどを目的とし、屋内外環境モデリングの研究が活発に行われている。我々はその中でも歩行者ナビゲーション向けの屋内外地図を、モバイル全天球カメラを用いて簡易かつ低コストに生成する手法の開発に取り組んでいる。歩行者ナビゲーションを実現するためには、3次元の地図から歩行可能領域の検出やランドマークの視認性の推定を行う必要がある。さらに、広域で一貫性のある経路案内を行うためには、地図を地理座標(緯度・経度)にマッピングする必要がある。

これまでも、LiDARと全天球カメラを用いて屋内環境を計測する手法[1]や、画像から復元した3次元点群を建物地図や航空写真に対して位置合わせする手法[2,3]が提案されている。本研究では、ロボットなどの移動が難しい立体的な屋内外の環境を対象としている。そのため、モバイル全天球カメラとスマートフォンのGPS機能を利用し、人が歩きながら計測できる屋内外3次元地図構築を目指す。本稿ではその第一段階として、Structure from Motion (SfM)を用いて推定したカメラ姿勢をGPSで計測したカメラ軌跡にフィッティングし、屋内外の3次元モデルの地理座標を推定する。

2 地理座標空間における3次元地図の構築

図1に地理座標空間における3次元地図の構築の流れを示す。まず、屋内外を歩きながらモバイル全天球カメラで撮影を行う。撮影と同時に、スマートフォンのGPS機能を利用して各画像に対応する位置情報を取得する。得られた全方位パノラマ画像に対しSfMを適用してカメラ姿勢を推定し、そのカメラ軌跡とGPSのカメラ軌跡をRANdom SAmples Consensus (RANSAC)[4]を用いて相似変換行列を求めフィッティングする(図1赤枠)。最後に、推定したカメラの位置姿勢を用いてMulti-View Stereo (MVS)により密な点群の復元およびメッシュモデルを構築する。

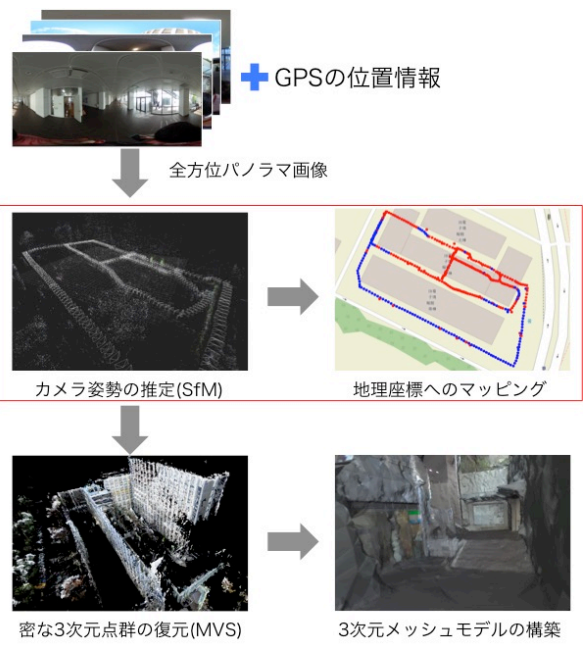


図1: 地理座標空間における3次元地図の構築

モバイル全天球カメラによる撮影と3次元復元

まず、モバイル全天球カメラを用いて屋内外を含むループの閉じた経路を歩きながら1~2m間隔で撮影を行う。本研究では、モバイル全天球カメラとしてRICOH THETA Sを利用した。このカメラでは、撮影の度にスマートフォンと通信しGPSの位置情報を画像に付与できる。

次に、撮影した全方位パノラマ画像にSfM[5]を適用し、カメラ姿勢と特徴点の3次元位置を推定する。本研究では、画像特徴量としてScale Invariant Feature Transform (SIFT) [6]を用いた。GPSの位置情報に大きな誤差を含む画像もあるため、位置情報による絞り込みを行わず全画像間でマッチングを行った。

地理座標の推定

SfMではカメラ軌跡の幾何学的な形状は推定できるが、地理座標を持たずそのスケールも不定である。そこで、SfMで推定したカメラ軌跡からGPSで取得したカメラ軌跡への相似変換行列を求め、地理空間におけるカメラ姿勢を推定する。ただし、一般的にスマート

Towards 3D Map Construction Using Omnidirectional Camera for Pedestrian Navigation in Both Indoor and Outdoor Environment.
 Hirokazu Iida † Ken Sakurada † Nobuo Kawaguchi †‡
 †Graduate School of Engineering, Nagoya University
 ‡Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University

表 1: 実測値と推定したカメラ姿勢間の距離の比較

実測値 [m]	平均誤差 [%]	標準偏差
10	2.2	0.20

フォンの GPS 機能で取得した位置情報は数メートルから数十メートルの誤差を含む。また、屋内やマルチパスが発生するような建物の間においては計測誤差が大きい。そのため、RANSAC を用いて GPS カメラ軌跡へのフィッティングに適する対応点を選択し、インライアとみなされた対応点のみを用いて最小二乗法により相似変換行列を求める。

密な点群の復元とメッシュモデルの構築

推定したカメラの位置姿勢を用いて、MVS[7] によりシーンの密な点群を復元し、復元した密な点群に対してメッシュモデルを構築する (図 1 下段)。本研究では、全方位パノラマ画像を 6 枚の透視投影画像に変換し MVS の入力とした。

3 実験

名古屋大学 IB 電子情報館とその周辺で 410 枚 (解像度: 5376×2688 pixel) の画像を撮影し、本手法により 3 次元地図の構築および地理座標の推定を行った。

地理座標を推定し 2 次元にマッピングした結果を図 2 に示す。青、赤の点は推定されたカメラ軌跡の地理座標を表しており、そのうち、対応する GPS の位置情報がアウトライアとみなされた点を赤で示している。緑の点は撮影時の GPS による位置情報を示す。また、黒の小さな点は SfM で推定した特徴点をプロットしたものであり、壁やオブジェクトなどの輪郭を示す。図 2 から屋内や建物の間のような GPS による位置推定精度が低いエリアに対しても地理座標を推定できていると考えられる。

本研究では、復元した 3 次元地図の評価としてカメラ軌跡のスケール推定精度を求めた。具体的には、2 地点間の距離が既知の画像を 10 ペア用意し、実測値 (10 メートル) と推定したカメラ姿勢間の距離を比較した (表 1)。誤差の平均が 2.2%、標準偏差 0.20 であることから、一定の精度で推定できていると考えられる。

4 まとめと今後の展望

本稿では、地理座標空間における屋内外地図を簡易かつ低コストに構築するために、モバイル全天球カメラの画像に対し、SfM で推定したカメラ姿勢とスマートフォンの GPS の位置情報を利用して、屋内外で計測



図 2: 推定したカメラ軌跡と特徴点のマッピング結果

した 3 次元地図の地理座標を推定する手法を提案した。今後は、メッシュモデルに対し平面抽出により歩行可能領域を検出し、ナビゲーションのための歩行者ネットワークを構築する。

参考文献

- [1] P. Biber, H. Andreasson, T. Duckett, and A. Schilling. "3D Modeling of Indoor Environments by a Mobile Robot with a Laser Scanner and Panoramic Camera". *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2004.
- [2] R. S. Kaminsky, N. Snavely, S. M. Seitz, and R. Szeliski. "Alignment of 3D Point Clouds to Overhead Images". *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) Workshops*, 2009.
- [3] C. Strecha, T. Pylvanainen, and P. Fua. "Dynamic and Scalable Large Scale Image Reconstruction". *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010.
- [4] M. A. Fischler and R. C. Bolles. "Random Sample Consensus: a Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography". *Communications of the ACM*, 1981.
- [5] OpenSfM. <https://github.com/mapillary/OpenSfM>.
- [6] D. G. Lowe. "Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints". *International Journal of Computer Vision*, 2004.
- [7] OpenMVS. <https://github.com/cdcseacave/openMVS>.