

## 画像のテクスチャ情報および色情報を幾何学的に考慮した 3 眼全天球ステレオカメラによる全方位 3 次元計測の精度向上

### Increasing Accuracy of All-round 3D Measurement from Trinocular 360-degree Stereo Cameras Considering Geometric and Photometric Constraints, and Image Texture

中央大学 ○濱田 拓海, Sarthak Pathak, 梅田 和昇

Chuo University ○Takumi Hamada, Sarthak Pathak, Kazunori Umeda

#### 1. 緒言

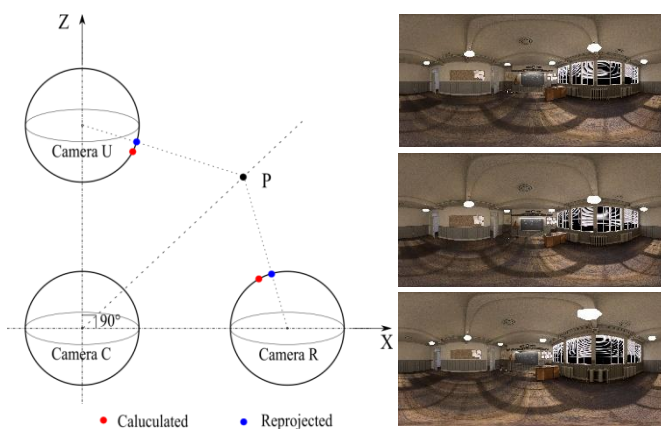
近年, カメラは機械やロボットの目の役割を果たし, 研究や応用の場でよく用いられる. カメラでの三次元計測は, ロボットの自動化や人が立ち入りにくい災害現場での地形把握, インフラ点検などにおいて非常に有用である. また, 環境の三次元モデルを復元する技術は人が立ち入りにくい環境においてもロボットが移動可能な経路生成などを可能にする.

三次元復元手法で最も用いられる 1 つにステレオカメラがある [1]. ステレオカメラは 2 台並んだカメラの視差, いわゆるカメラ位置の違いからなる見え方のずれを利用して距離情報を得る. 一般的なカメラを用いた場合, 視野は限られてしまうため一度に全方向を計測することは難しく, 計測結果をつなぎ合わせることで精度低下を導く. 一方, 全ての方向を撮影可能な全天球カメラは, 360 度撮影可能なため多くの情報量が得られ, 一度の撮影で計測可能である [2].

本研究では, 全天球カメラ 3 台から得られた 3 枚の画像からステレオカメラの原理を利用することで三次元形状の復元を行い [3], 画像の勾配情報および色情報を利用した最適化による精度向上手法を提案する. ステレオカメラの原理を用いた復元にはエピポラ線方向における精度低下が発生する課題があり, 信頼度による重み付けおよび再投影誤差の最適化により精度向上が図られている [4]. しかし, この最適化での誤差軽減には限界があり, さらにオプティカルフロー [5] による視差を計算する際に発生する誤差にも対応していない. よって, 三次元情報に加え画像の勾配情報と色情報を考慮した最適化を用いることで精度向上を行った.

#### 2. 実験環境

本研究での撮影環境の概要図を Fig.1 に示す.



(a) カメラの位置関係

(b) 入力画像

Fig.1 カメラ位置の概要と得られる正距円筒画像

2 眼全天球ステレオではカメラが並ぶ方向であるエピポラ線方向での計測精度が低下するため, カメラを 1 台追加した. そのため, カメラは L 字に 3 台配置し, 基線長を 0.4 m とする.

#### 3. 提案方法

##### 3.1 再投影誤差と最適化

本研究は, ステレオカメラの原理を用いた距離計測, 再投影誤差の計算, 再投影誤差の最適化, 点群による復元の 4 段階で構成される. 再投影とは, 一度求めた 3 次元位置から全天球カメラ上の対応するピクセルを求めることである. しかし, 対応するピクセルは誤差により元の位置に戻らずズレが発生する. その再投影された点と元の点との差が再投影誤差となる.

すべてのカメラの対応しているピクセルを 3 次元に投影した際に, ピクセルは同様の位置と色にならないといけない制約がある. また, 対応関係はオプティカルフロー [5] で求めているため, 勾配が強い点の信頼度が高い. これら 3 つの現象を考慮した最適化手法を考えた. 最適化では Levenberg-Marquardt 法により誤差を最小化した. 本手法では 2 ペアのカメラが存在するため, 最適化では得られる二つの距離情報の平均をとり初期値とすることで探索を行う. 最適化を式で表したものが以下となる.

$$d_g = \arg \min (w_{cu} \epsilon_{cu}(d) + w_{cr} \epsilon_{cr}(d)) \quad (1)$$

$$d_c = \arg \min (\epsilon_{cu}(d) + \epsilon_{cr}(d) + \delta_c) \quad (2)$$

ここで,  $d_g, d_c, \epsilon_{cu}(d), \epsilon_{cr}(d)$  および  $w_{cu}, w_{cr}$  はそれぞれ最適化後の距離, 再投影誤差と重み付けである.  $\delta_c$  は色情報である.

##### 3.2 画像の勾配情報に基づく最適化

二つの画像内で対応するピクセルの移動量であるピクセルフローはオプティカルフローを利用し求めている. オプティカルフローは, 画像内の対応する特徴点を抽出しそのピクセルフローを算出しているが, 特徴のない様な領域ではうまく算出することができない. また, 使用する画像はエピポラ線が縦方向に平行に並ぶよう設定しているため, 理論上は横方向のピクセルフローはない. しかし実際の計測では, 誤差により横方向のピクセルフローが発生してしまう. これらの課題を解決するため, 画像の勾配情報を信頼度として利用する.

縦方向のピクセルフローを求めるためには横に並ぶ特徴があることが望ましい. そのため, 本研究では入力画像においてエピポラ線方向の微分を取ることで横に並ぶエッジ抽出を行う. 得られたエッジを重みとして式(1)で最小化することで, 最適な距離を得る. 重みをグレースケールで可視化したものが Fig.2 となる.

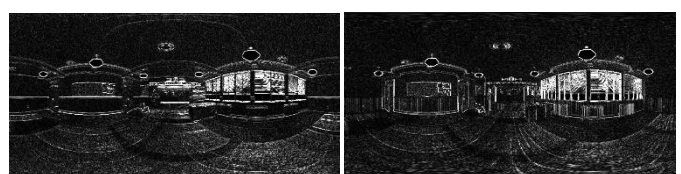


Fig.2 画像の勾配情報のグレースケール表示

### 3.3 色情報に基づく最適化

再投影前後において1ピクセルごとの色情報の差異に着目した。再投影前後では対応する物体の色情報は不変である。このことから、再投影前後のピクセルでの色情報の差を取り、式(2)で最小にするよう最適化を行う。本研究では、グレースケール画像を利用し色情報の整合性をとった。

## 4. 結果と考察

解像度  $1000 \times 500$  pixel の入力画像による復元結果を Fig.3 に示す。3DCG ソフト Blender を利用し、教室を模した仮想環境で正距円筒画像をレンダリングし入力とした。また、このシミュレーション環境ではモデルの真値を得られるため定量的な評価が可能である。

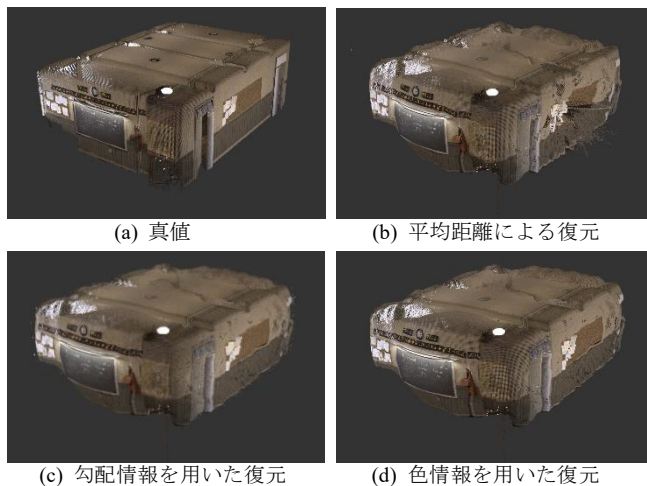


Fig.3 点群による復元結果

計測距離の平均を最適化せず利用した際の復元結果が Fig.3 (b) となる。また、画像の勾配情報を利用し最適化を行った結果と色情報を利用し最適化を行った結果がそれぞれ Fig.3 (c), (d) となる。仮想環境内で取得した距離の真値と、モデルを復元する際に使用した距離の平均絶対誤差を図示したものを Fig.4 に示す。

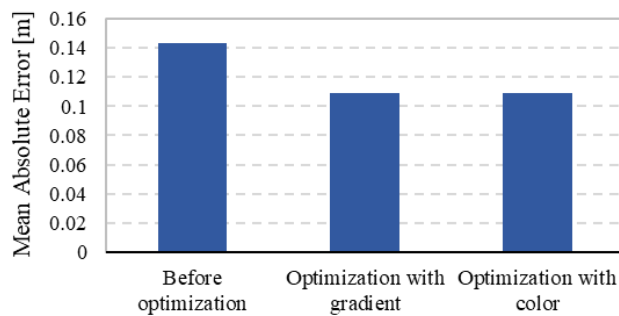


Fig.4 復元結果の平均絶対誤差

Fig.3 (b) の最適化前での復元において、ステレオカメラの性質であるエピポーラ線方向での測定精度低下の兆候として外れ点が発生していることが見て取れる。しかし、Fig.3 (c), (d) よりこの外れ点を画像の勾配情報及び色情報復元を利用した最適化を行うことで減少させることができた。また Fig.4 で示すように、平均絶対誤差は最適化前、画像の勾配情報を利用した最適化後および色情報を利用した最適化後においてそれぞれ、 $0.14337$  m,  $0.10906$  m,  $0.10902$  m となった。減少した割合は、画像の勾配情報を利用した最適化と色情報を利用した最適化でそれぞれ、 $23.93\%$  と  $23.95\%$

であった。最適化を行うことで最適化前よりも平均絶対誤差を大きく減少させることができた。

しかし、復元結果の教室内部で撮影した Fig.5 に示されるように、精度が低い部分を完全に修正することはできなかった。また本研究では、入力画像に解像度  $1000 \times 500$  pixel と低解像度の画像を利用したため、高精度なピクセルフローが得られず全体的に丸みを帯びた復元となっている。これらを改善するためには、より高解像度の入力画像を用いた復元や、色情報をグレースケールから RGB へと拡張し、ピクセルの対応を1ピクセルごとから周囲の情報も考慮した最適化を行うことが必要であると考えられる。



Fig.5 復元した教室内部の画像

## 5. 結言

本研究は、全天球ステレオカメラによる復元精度向上のための画像の勾配情報と色情報を考慮した計測手法を提案した。本手法では画像の勾配情報と色情報を利用した再投影誤差の最小化を行うことで、外れ点を減少させ平均絶対誤差を小さくすることに成功し本手法の有用性を示した。今後は、画像の高解像度化や RGB 値の利用、複数ピクセルを考慮した最適化、実環境での計測を目標とする。

## 参考文献

- [1] S. Sakai, T. Takahashi, K. Ito, T. Aoki and H. Unten, "3D Reconstruction from Two Views Using Consumer Digital Camera," Information Processing Society of Japan (JPSJ), vol.2011-CVIM-176 No.4 pp. 1-8, 2011.
- [2] Li, Shigang. "Trinocular spherical stereo." In 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4786-4791. IEEE, 2006.
- [3] S. Pathak, A. Moro, H. Fujii, A. Yamashita and H. Asama, "3D reconstruction of structures using spherical cameras with small motion," 2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), October 2016.
- [4] W. Yin, S. Pathak, A. Moro, A. Yamashita and H. Asama, "Accurate All-round 3D Measurement Using Trinocular Spherical Stereovision Weighted Reprojection Error Minimization," 2019 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM), December 20 19.
- [5] Philippe Weinzaepfel, Jerome Revaud, Zaid Harchaoui, and Cordelia Schmid. DeepFlow, "Large displacement optical flow with deep matching," In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, pages 1385 – 1392, December 2013.