

全方位カメラと三次元測域センサの
キャリブレーションによる広域自由視点画像生成

Wide-field free viewpoint image
based on extrinsic calibration of a 3D laser scanner and an omnidirectional camera

宇佐美 大樹[†]
Hiroki Usami

宮田 省吾[†]
Shogo Miyata

斎藤 英雄[†]
Hideo Saito

1. 導入

近年、映像技術開発が進む中で、自由視点映像[1]の研究が注目を集めている。自由視点映像とは、視点の移動を任意に行うことのできる映像であり、臨場感のある映像、視聴者の必要とする視点の映像を提供することができる。従来手法として、デプスカメラとカラーカメラを用いた Depth Image Based Rendering(DIBR)[2]が挙げられる。これは、距離画像とカラー画像の対応から、デプスカメラとカラーカメラの視点を合わせ、自由視点画像を生成する技術であるが、カメラの画角によって画像の取得範囲が制限されてしまう。そこで、広範囲を取得することができる全方位カメラと三次元測域センサを利用した自由視点画像生成手法が提案されている。Pandeyらは、手動での対応点を必要としないキャリブレーション方法を用いて、両デバイス間の位置姿勢推定を行っている[3]。そこで、本研究ではPandeyらの手法に関連した手法を用い、固定された全方位カメラと三次元測域センサの外部キャリブレーションによる位置姿勢推定を行う。この際の三次元測域センサの画素数を、平滑化による補間を行い高解像度化することで補い、広域かつ高解像度の自由視点画像を生成する。

2. 提案システム

本システムでは、全方位カメラに対し、Zhangの手法[4]同様、チェッカーパターンを用いてPnP問題を解くことで複数回平面を検出し、その平面の法線によってキャリブレーションを行う処理と、デプスデータを全方位カメラ視点の画像に投影し、画素に対応するデプスの補間を行い、三次元点群を高解像度化する処理を行っている。

2.1 キャリブレーション手法

2.1.1 法線ベクトル、距離の算出

本手法では、目的平面として寸法が既知のチェッカーボードを使用し、PnP問題を解くことで、目的平面のモデル座標系からカメラ座標系への回転行列 R 、並進ベクトル t を求める。モデル座標系において、目的平面を

$$Z = 0$$

としても一般性を失わないため、定義すると、 $R = [r_1, r_2, r_3]$ における r_3 はZ軸に関する変換として考えられるため、目的平面の単位法線ベクトルとなる。よって、 ${}^c t_{cm}$ の r_3 への正射影がカメラ c の、目的平面までの距離となるため、平面の法線ベクトル N_c は、内積を用いて

$$N_c = (r_3 \cdot {}^c t_{cm}) r_3$$

となり、距離は

$$\|N_c\| = r_3 \cdot {}^c t_{cm}$$

となる。

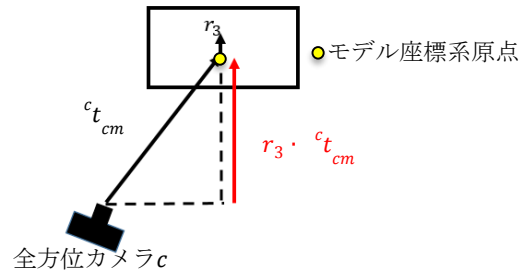


図1 法線ベクトルの取得

2.1.2 三次元測域センサの位置推定

2.1.1で求めた複数平面の法線ベクトルとそのノルム、センサによって取得した各目的平面上の点群を用いて、カメラ座標系への変換 ${}^c R$ 、 ${}^c t_{cl}$ を算出する。目的平面上に存在する、センサ位置を世界座標系原点とし、センサから取得したj番目の点へのベクトルを P_j^i とした時、カメラ座標系に変換した ${}^c R P_j^i + {}^c t_{cl}$ の、目的平面の単位法線ベクトルへの射影と、2.1.1で求めた距離の差が小さくなればよい。よって、目的平面数をiとすると、

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{N_c^i}{\|N_c^i\|} \cdot ({}^c R P_j^i + {}^c t_{cl}) - \|N_c^i\| \right)^2$$

を最小にする ${}^c R$ 、 ${}^c t_{cl}$ を求めればよい。本手法では、Levenberg Marquardt algorithm[5]を用いて算出した。

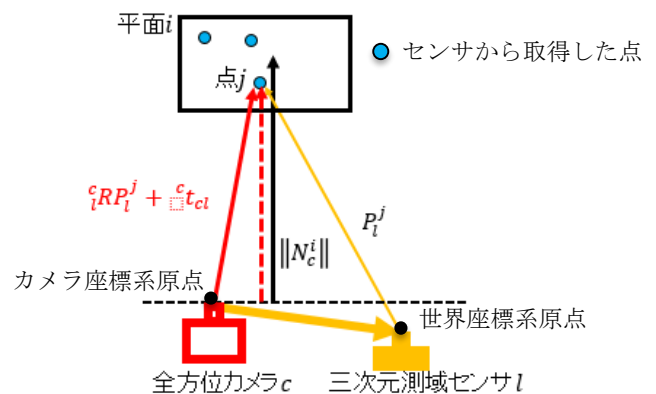


図2 位置推定

2.1.3 平面フィッティング

2.1.2においてセンサによって点群を取得する際、平面を設置した場合としない場合の差分を取ることで、平面周辺のみを抽出し、平面フィッティングを行う。今回は、Ransacのアルゴリズムを使用した。

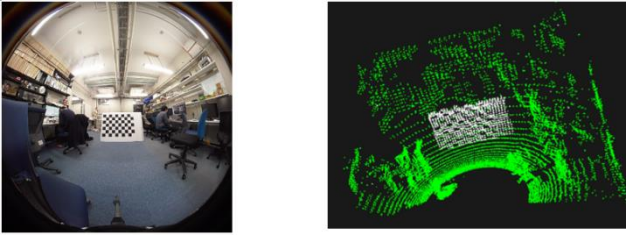


図3 チェッカーボード平面取得

2.1.4 平面必要数

2.1.2における目的平面の必要数について述べる. 本手法は平面の法線ベクトルとノルムからキャリブレーションを行っているので, 1平面で行う場合は平面上において収束せず, 2平面で行う場合は平面の交線上において収束しない. よって, 同一平面上にない3平面以上を必要とする.

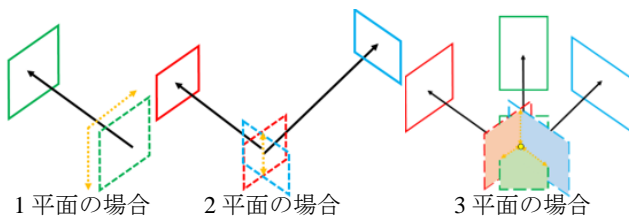


図4 平面必要数

2.2 高解像度化

センサから得られる点群は, 全方位カラー画像に比べ少ない. そこで, 本手法では, カラー画像上にセンサからの三次元情報を付加し, 三次元情報が得られていない画素に関して, 付加した情報をもとに補間することで高解像度化を行う. 三次元情報については, 三次元点の原点からの距離を重みとして扱う. カラー画像の注目画素において, 注目画素から一定範囲のウィンドウ内の画素の重みを調べ, 重み付き平均を算出することで, 三次元情報を求める.

3. 実験

3.1 実験環境

全方位カメラはコダック社のSP360 4Kを用い, 三次元測域センサは北陽電機のYVT-X002を用いた. 本実験では, チェッカーボード平面の姿勢を変えながら計3回取得することで提案手法によるキャリブレーションを行い, 自由視点画像を生成した. 取得したカラー画像は1440×1440pixelで, 点群は10562点であった.



カメラ, センサの配置

撮影環境

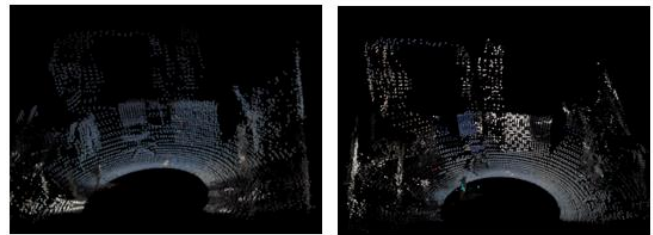
図5 実験環境

† 慶應義塾大学 大学院理工学研究科

‡ 慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

3.2 キャリブレーション結果

図6に提案手法のキャリブレーションをせずに, カメラとセンサの原点を合わせた場合と, 提案手法により視点を合わせた場合で生成した自由視点画像の比較を表示する. 提案手法では入力における椅子, チェッカーボード等の色が点群に正しく対応付けられた. これは, 提案手法を用いてないときはカメラの位置のほかに, 回転方向が考慮されておらず, 提案手法を用いることにより, 正しい回転が求められたためである.



キャリブレーション無し

提案手法

図6 キャリブレーション比較

3.3 高解像度化結果

提案手法によって高解像度化した自由視点画像を図7に示す. しきい値によりセグメンテーションをすることで, エッジを保存した. 点群は306386点であった.

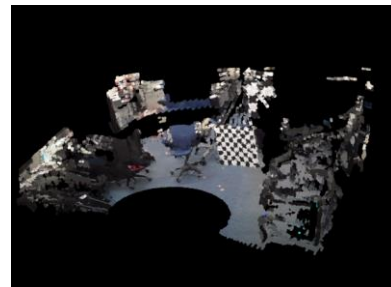


図7 高解像度化

4. 結論

本稿では, 全方位カメラと三次元測域センサのキャリブレーションを行うことで, 位置姿勢を推定し, これを用いて, 三次元座標とカラーの正しい対応のとれた自由視点画像を生成した. また, 三次元情報の補間によって, 自由視点画像の高解像度化を行った.

参考文献

- [1] J.Carranza, C.Theobalt, M.A.Magnor, and H.P.Seidel. "Free-viewpoint video of human actors." *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, pp. 569-567, 2003
- [2] C.Fehn. "Depth-image-based rendering (DIBR), compression, and transmission for a new approach on 3D-TV." *Electronic Imaging 2004*. International Society for Optics and Photonics, pp. 93-104, 2004
- [3] G.Pandey, J.McBride, S.Savarese, R.Eustice. Extrinsic calibration of a 3D laser scanner and an omnidirectional camera. *7th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles*, pp. 336-341, 2010
- [4] Z.Zhang. "A flexible new technique for camera calibration." *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, pp. 1330-1334, 2000
- [5] K.Levenberg. "A method for the solution of certain problems in least squares." *The Quarterly of Applied Mathematics* 2, pp. 164-168, 1944