

複数の視差オフセットマップの組み合わせによる 魚眼ステレオカメラの高精度化

凌 佳怡[†], 飯田 浩貴[†], 池 勇勳[†], 梅田 和昇[†],
大橋 明[‡], 福田 大輔[‡], 金子 修造[‡], 村山 純哉[‡], 内田 吉孝[‡]

[†]: 中央大学理工学部精密機械工学科

[‡]: クラリオン株式会社

ryo@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

概要: 本論文では, 半径 1 m の半円面である近距離用のキャリブレーションターゲットを構築し, 色情報を用いてターゲットの特徴点の抽出とマッチングを行い, 近距離視差オフセットマップを作成する手法を提案する. また, 遠距離と近距離の視差オフセットマップの組み合わせにより視差を補正し, 魚眼ステレオカメラ距離計測の高精度化を行う.

1. 序論

近年, 自動車の運転支援のための周囲環境の計測としてカメラや距離センサなどが多く使用されている. 本論文では, 魚眼ステレオカメラに着目する. 魚眼カメラは 180° 前後の広い視野角を持ち, 魚眼カメラを 2 つ用いた魚眼ステレオカメラを構築することによって広範囲で密な距離計測が可能となる. 大橋らは, 正距円筒投影により魚眼画像の仰角と方位角をそれぞれ縦軸と横軸においた直交座標系の画像である正距円筒画像に変換することで, 魚眼画像の歪みの低減と対応点探索の単純化を実現した[1]. しかし, 透視投影画像に比べると歪みが大きいことや, 外部パラメータの誤差などから, 距離計測精度の限界があった. 山野らは, 既知の遠距離に存在するターゲットの視差から画像の補正をする視差オフセットマップを用いることで高精度化を行った[2]. 特徴点の抽出とマッチングには AKAZE[3]を用いた. 本論文では, これに加え, 近距離のターゲットからも視差オフセットマップを作成し, 画像の補正に利用する手法を提案する. そのため, まず近距離用のキャリブレーションターゲットを構築し, それを利用して近距離視差オフセットマップを作成する. また, 遠距離と近距離の視差オフセットマップの組み合わせにより魚眼ステレオカメラにおける計測の高精度化を図る.

2. 提案手法の原理

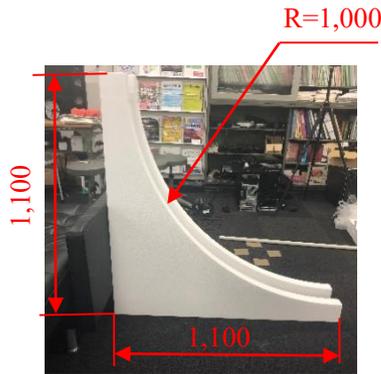
本論文では, 半径 1 m の半円面である近距離用のキャリブレーションターゲットを構築し, 色情報を用いてターゲットの特徴点の抽出とマッチングを行い, 近距離視差オフセットマップを作成する手法を提案する. また, 異なる距離の視差オフセットマップの組み合わせにより視差の補正を行う.

2.1. 近距離視差オフセットマップの作成

2.1.1. 近距離ターゲットの構築

近距離視差オフセットマップを作成するためには, 魚眼ステレオカメラの原点(本論文では右カメラのレンズ中心)から一定距離にあるターゲットが必要である. そこで, 原点を中心に, 魚眼ステレオカメラを鉛直軸回りに 180° 回転させることで, 仮想的に半球の模擬撮影が可能なキャリブレーションターゲットを構築する. 近距離ターゲットは発泡スチロールの厚さ 50 mm の板 2 枚(図 1(a)), 保持加工物(図 1(b)), 天井と床に固定させる土台(図 1(c))から構成され, 組み立てた後の全体図を図 1(d)に示す.

半円面に赤・緑・青の 5 cm × 5 cm の正方形パターンを貼り付け, 魚眼ステレオカメラの原点を近距離ターゲットの半円の中心に置き, 回転させながら撮影することで, ターゲットが画像の様々な位置に存在し, 画像全体に対し特徴点が得られるようにする. 図 2 にキャリブレーションターゲット撮像の様子を示す.



(a) 発泡スチロールの板(2枚をつなげて1つの半円を構成)



(b) 保持加工物



(c) 土台



(d) 全体図

図 1 近距離ターゲット



図 2 キャリブレーションターゲット撮影の様子

2.1.2. 色情報を用いた特徴点の抽出とマッチング

撮影された画像に対し、色相・彩度・明度の条件を設定し、指定された色を検出する。次に、色が検出された各領域に対し、クロージング処理とオープニング処理を行い、ラベリングによって重心を求める。最後に、左右画像の同じ範囲を選択し、求められた重心を特徴点として、順番でマッチングを行う。図 3 に特徴点の抽出とマッチングの手順を示す。

2.1.3. 近距離視差オフセットマップ

特徴点の視差誤差から画像の全画素に対する視差誤差を求めた視差オフセットマップを作成する。各画素の視差誤差は、その画素の周囲にある特徴点を用い、画素と点の距離に応じて重みを付与した重み付き平均により算出する[2]。

2.2. 複数視差オフセットマップの組み合わせによる視差の補正

2.2.1. 補正係数の計算

テンプレートマッチングにより求まる左右の画像の対応点間の視差 k を、視差オフセットマップを利用して補正する。補正係数を a 、 b として、補正後の視差 k' を、次式で計算する。

$$k' = ak + b \quad (1)$$

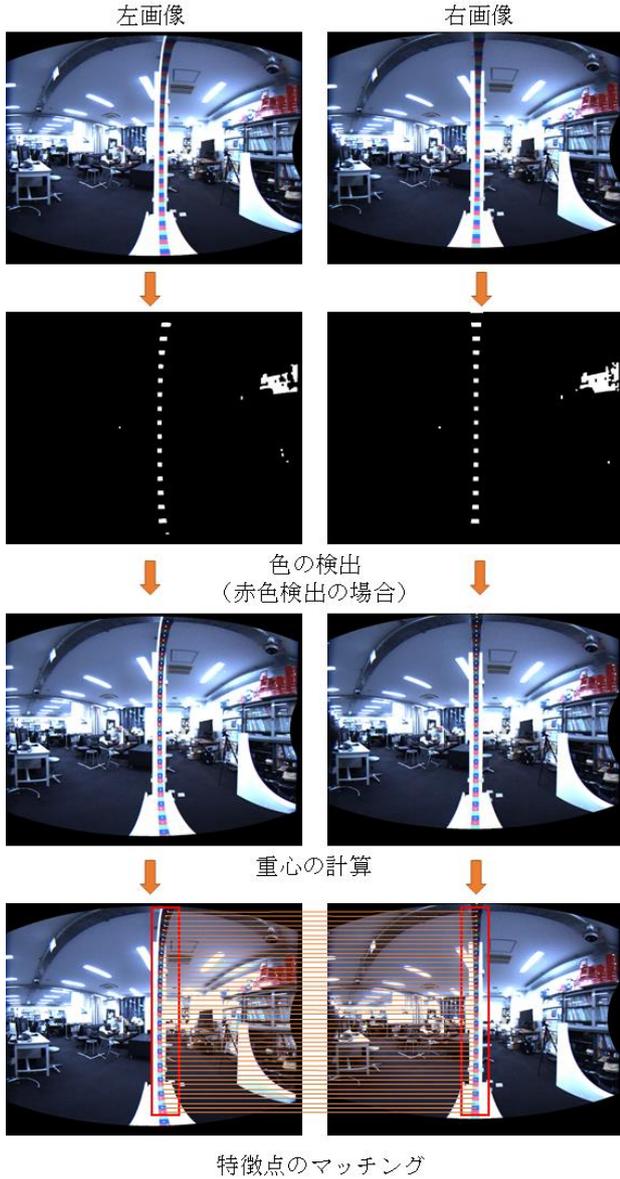


図 3 色情報を用いた特徴点の抽出とマッチングの手順

各画素の補正係数 a , b を以下の手順で求める。

1. 解像度 $M \times N$ の正距円筒画像における画素 (u, v) の 300 m に対する x 方向の視差の真値 k^0_{Fx} と y 方向の視差の真値 k^0_{Fy} , 1 m に対する x 方向視差の真値 k^0_{Nx} と y 方向視差の真値 k^0_{Ny} を次式のように計算する。

$$\lambda = \frac{\pi}{M} \left(u - \frac{M}{2} \right) \quad (2)$$

$$\phi = \frac{\pi}{M} \left(v - \frac{N}{2} \right) \quad (3)$$

$$\tan \phi_0 = \frac{\tan \phi}{\cos \lambda} \quad (4)$$

$$k^0_{Fx} = \frac{b \cos \lambda}{D_F \cos \phi} \times \frac{M}{\pi} \quad (5)$$

$$k^0_{Fy} = \tan^{-1} \left(\tan \phi_0 \cos \left(\lambda + \frac{\pi k^0_{Fx}}{M} \right) \right) \times \frac{M}{\pi} + \frac{N}{2} - v \quad (6)$$

$$k^0_{Nx} = \tan^{-1} \left(\frac{b \sin \frac{\pi u}{M}}{D_N \cos \phi - b \cos \frac{\pi u}{M}} \right) \times \frac{M}{\pi} \quad (7)$$

$$k^0_{Ny} = \tan^{-1} \left(\tan \phi_0 \cos \left(\lambda + \frac{\pi k^0_{Nx}}{M} \right) \right) \times \frac{M}{\pi} + \frac{N}{2} - v \quad (8)$$

λ : 対象物までの方位角

ϕ : 対象物までの仰角

ϕ_0 : 方位角が 0 のときの仰角

b : 基線長

D_F : 既知遠距離 (300 m)

D_N : 既知近距離 (1 m)

2. 画素 (u, v) の遠距離視差オフセットマップにおける x 方向の視差誤差 e_{Fx} と y 方向の視差誤差 e_{Fy} , 近距離視差オフセットマップにおける x 方向の視差誤差 e_{Nx} と y 方向の視差誤差 e_{Ny} をもとに, 遠距離の x 方向の実際の視差 k_{Fx} と y 方向の実際の視差 k_{Fy} , 近距離の x 方向の実際の視差 k_{Nx} と y 方向の実際の視差 k_{Ny} を計算する。

$$k_{Fx} = k^0_{Fx} + e_{Fx} \quad (9)$$

$$k_{Fy} = k^0_{Fy} + e_{Fy} \quad (10)$$

$$k_{Nx} = k^0_{Nx} + e_{Nx} \quad (11)$$

$$k_{Ny} = k^0_{Ny} + e_{Ny} \quad (12)$$

3. 補正係数 a , b を次式のように計算する。

$$a_x = \frac{k^0_{Fx} - k^0_{Nx}}{k_{Fx} - k_{Nx}} \quad (13)$$

$$b_x = k^0_{Nx} - a_x \times k_{Nx} \quad (14)$$

$$a_y = \frac{k^0_{Fy} - k^0_{Ny}}{k_{Fy} - k_{Ny}} \quad (15)$$

$$b_y = k^0_{Ny} - a_y \times k_{Ny} \quad (16)$$

以上の処理をすべての画素に対して行い, 補正係数を求める。ただし, いずれかの視差誤差が存在しない画素に対しては, 補正係数は算出せず, $a = 1$, $b = 0$ とする。

2.2.2. 視差の補正

2.2.1 で述べた方法により求めた補正係数を用いて視差を補正する. x 方向の視差 k_x はテンプレートマッチングによる左右の画像の対応点間の視差である. y 方向の視差 k_y は x 方向の視差 k_x からエピポーラ線を利用して求める. x 方向の補正後の視差 k'_x , y 方向の補正後の視差 k'_y は次式のように計算できる.

$$k'_x = a_x k_x + b_x \quad (17)$$

$$k'_y = a_y k_y + b_y \quad (18)$$

3. 実験結果

提案手法により近距離視差オフセットマップを作成した後, 遠距離と近距離の視差オフセットマップの組み合わせによる魚眼ステレオカメラの距離計測精度の評価実験を行った.

3.1. 近距離視差オフセットマップの作成実験

図 4 に実験で使用した魚眼ステレオカメラを示す. カメラは Point Grey Research 社の Flea3, 魚眼レンズは SPACE 社の TV1634M を用いている. 魚眼レンズの内部パラメータは MATLAB の OcamCalib Toolbox[4]を利用して推定した. カメラの解像度は $1,328 \times 1,048$ pixel, 基線長は 52 mm, 画角は水平方向 165° , 垂直方向 132° である.

半径 1 m の半円面に対して 155 枚の画像を撮影し, ターゲットが画像全体の様々な位置に存在するようにした. OpenCV での赤・緑・青のパターンの検出条件を表 1 に示す. 視差オフセットマップ作成の際の画素からの距離のしきい値は 50 pixel, 標準偏差 $\sigma = 25$ pixel とした[2].

図 5 に特徴点の視差誤差を示す. 図 6 に図 5 から得られた近距離視差オフセットマップを示す. ここで, 周囲に点がなく視差誤差が求まらない箇所は黒色とした.



図 4 魚眼ステレオカメラ

表 1 各色の検出条件

	赤	緑	青
色相 (H)	150-180	85-105	105-120
彩度 (S)	115-185	85-155	170-220
明度 (V)	40 以上	40 以上	40 以上

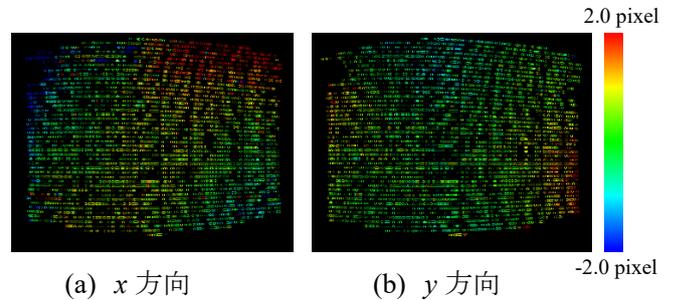


図 5 特徴点の視差誤差

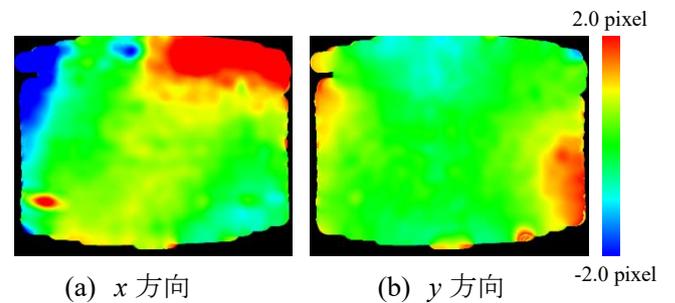


図 6 近距離視差オフセットマップ

3.2. 距離計測精度の評価実験

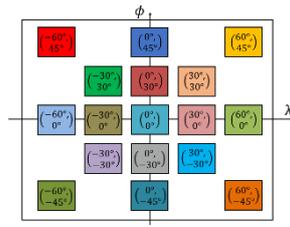
3.1 節で述べた魚眼ステレオカメラを使用し, 距離計測精度の評価実験を行った. テンプレートマッチングにおけるテンプレートサイズは 7×7 , 視差探索範囲は 48 pixel とした. 実験環境と計測箇所は図 7 に示す. 計測距離は 1 m, 5 m とし, 計測対象は白黒の紙の境とした. 距離計測結果は注目点と上下 2 点ずつ計 5 点の計測値を 1 回の計測とし, 5 回計測を行って計 25 点の平均と標準偏差を求めた.

複数の視差オフセットマップの組み合わせをする際に, 近距離視差オフセットマップには図 6 を用いた. また, 遠距離オフセットマップには図 8 を用いた. 2.2 節の手法によって計算された補正係数のマップを図 9 に示す.

複数の視差オフセットマップの組み合わせによる魚眼ステレオカメラの距離計測の定量的評価を行うために, 補正なし, 遠距離視差オフセットマップのみによる補正, 近距離視差オフセットマップのみによる補正の距離計測精度と比較した.



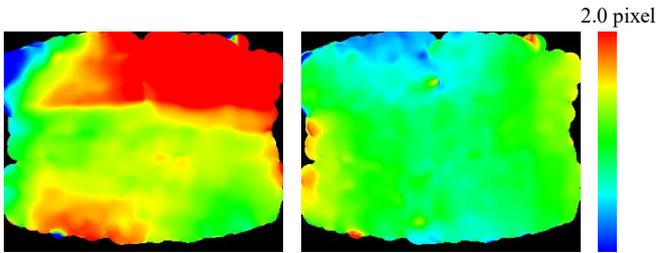
(a) 実験環境



(b) 計測箇所

図 7 実験環境と計測箇所

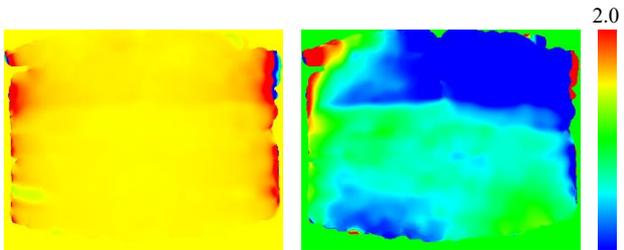
正の効果が発揮されていると考えられる。しかし、遠距離視差オフセットマップのみによる補正の結果より誤差が大きくなる箇所が存在する。その原因として、近距離視差オフセットマップを作成する際に、照明・色検出条件によって色を検出できない箇所とパターンの重心をうまく求められない箇所が存在するため、近距離視差オフセットマップの精度が不十分であるとされる。



(a) x 方向

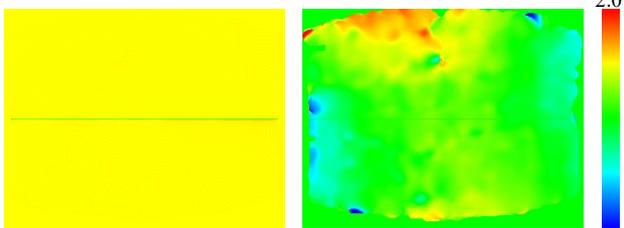
(b) y 方向

図 8 遠距離視差オフセットマップ



(a) a_x

(b) b_x



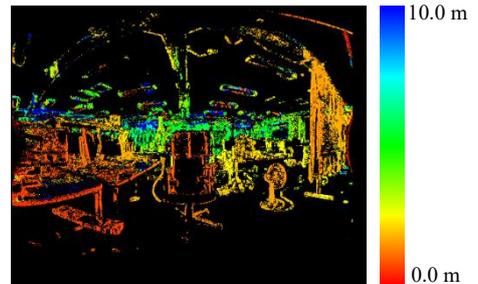
(c) a_y

(d) b_y

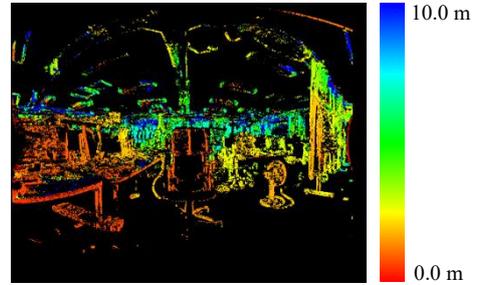
図 9 補正係数のマップ

それぞれの手法で求めた距離画像を図 10、計測距離の誤差と標準偏差を図 11と図 12に示す。ここで、棒グラフの色は図 7(b)の計測箇所に対応している。

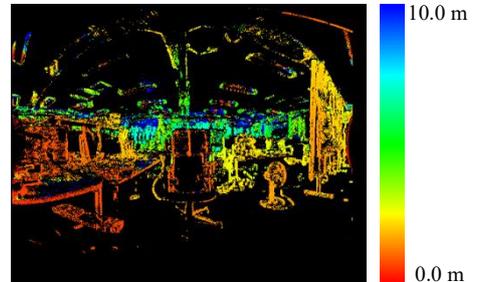
図 11 より、距離 1 m では視差オフセットマップを用いた補正を行っても補正なしの結果と比較して、距離計測誤差に大きな変化はなかった。図 12 より、距離 5 m では、視差オフセットマップの組み合わせによる補正の距離計測誤差は、補正なし、近距離視差オフセットマップのみによる補正の結果より小さくなった。これは、視差オフセットマップの組み合わせによる補



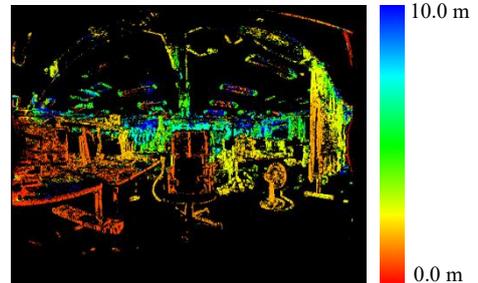
(a) 補正なし



(b) 遠距離視差オフセットマップのみによる補正

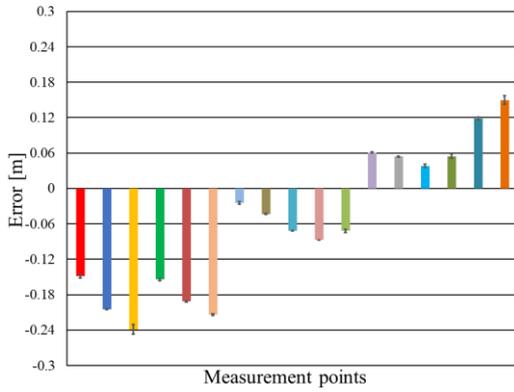


(c) 近距離視差オフセットマップのみによる補正

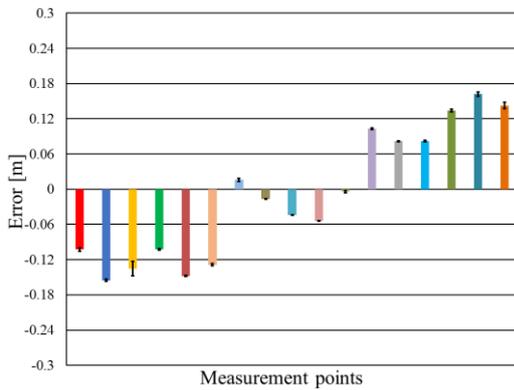


(d) 複数の視差オフセットマップの組み合わせによる補正

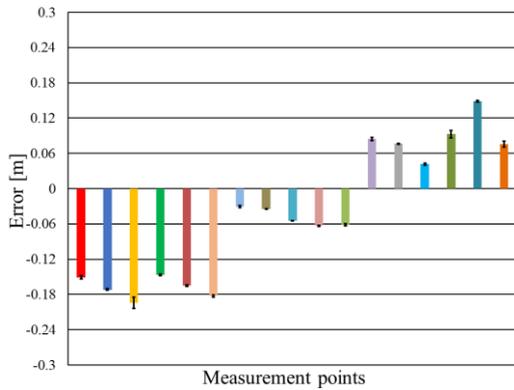
図 10 距離画像



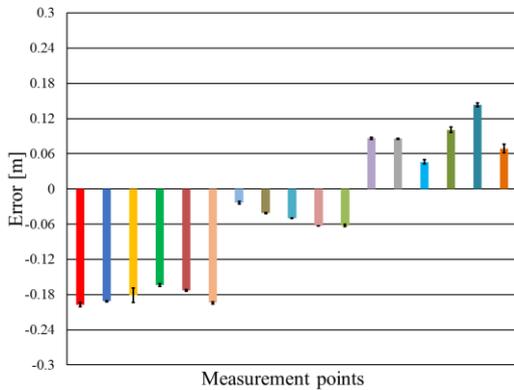
(a) 補正なし



(b) 遠距離視差オフセットマップのみによる補正

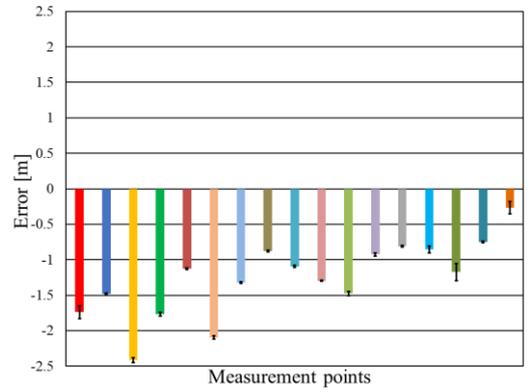


(c) 近距離視差オフセットマップのみによる補正

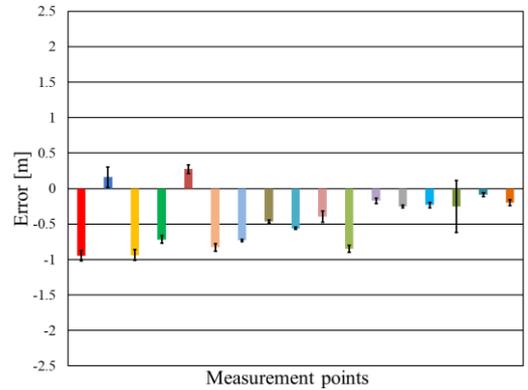


(d) 複数の視差オフセットマップの組み合わせによる補正

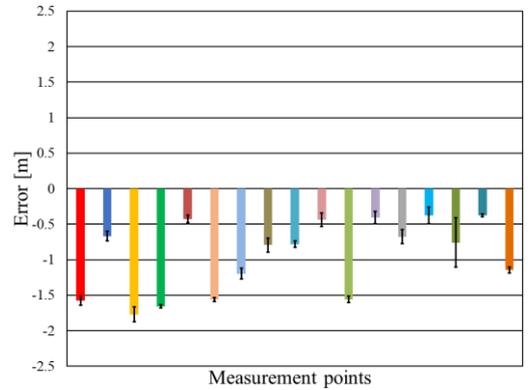
図 11 1 m の距離計測誤差と標準偏差



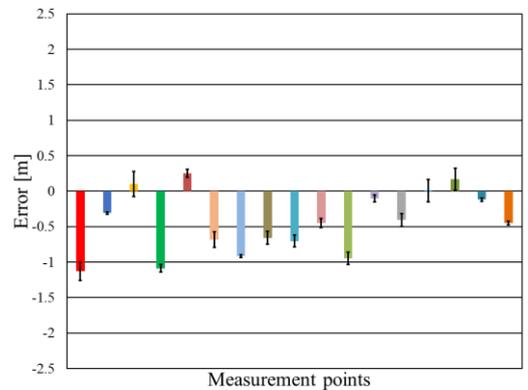
(a) 補正なし



(b) 遠距離視差オフセットマップのみによる補正



(c) 近距離視差オフセットマップのみによる補正



(d) 複数の視差オフセットマップの組み合わせによる補正

図 12 5 m の距離計測誤差と標準偏差

4. 結論

本論文では、半径 1 m の半円面である近距離用のキャリブレーションターゲットを構築し、色情報を用いてターゲットの特徴点の抽出とマッチングを行い、近距離視差オフセットマップを作成する手法を提案した。また、遠距離と近距離の視差オフセットマップの組み合わせにより視差を補正し、魚眼ステレオカメラ距離計測の高精度化を行った。今後の展望としては、近距離視差オフセットマップの精度を高めると共に、複数の視差オフセットマップによる距離計測の更なる精度向上を目指す。

参考文献

- [1] 大橋明, 山野史登, 増山岳人, 梅田和昇, 福田大輔, 入江耕太, 金子修造, 村山純哉, 内田吉孝:“正距円筒画像への変換を用いた魚眼ステレオカメラの構築”, 精密工学会誌, Vol.83, No.12, pp.1095-1100, 2017.
- [2] 山野史登, 飯田浩貴, 梅田和昇, 大橋明, 福田大輔, 金子修造, 村山純哉, 内田吉孝:“視差オフセットマップによる魚眼ステレオカメラの高精度化”, 精密工学会誌, Vol.84, No.12, 2018.12.
- [3] Pablo F. Alcantarilla, Jess Nuevo and Adrien Bartoli:“Fast Explicit Diffusion for Accelerated Features in Nonlinear Scale Spaces”, Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC2013), 2013.
- [4] Davide Scaramuzza, Agostino Martinelli and Roland Siegwart:“A Toolbox for Easy Calibrating Omnidirectional Cameras”, Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006), pp.5695-5701, 2006.

凌佳怡: 中央大学理工学部精密機械工学科在学中, 魚眼ステレオカメラを用いた画像処理の研究に従事。

飯田浩貴: 2018 年中央大学理工学部精密機械工学科卒業, 現在同大学大学院精密工学専攻博士前期課程在学中, 魚眼ステレオカメラを用いた画像処理の研究に従事。

池勇勲: 2010 年韓国慶熙大学機械工学科・コンピュータ工学科卒業, 2012 年韓国高麗大学大学院メカトロニクス専攻修士課程修了, 2016 年東京大学大学院精密工学専攻博士課程修了。同年東京大学日本学術振興会特別研究員, 2018 年中央大学理工学部精密機械工学科助教, 現在に至る。移動ロボットによる環境センシングに関する研究に従事。博士(工学)。日本ロボット学会, 日本機械学会, 計測自動制御学会, IEEE 等の会員。

梅田和昇: 1989 年東京大学工学部精密機械工学科卒, 1994 年同博士課程修了。同年中央大学理工学部精密機械工学科専任講師, 2006 年同教授, 現在に至る。ロボットビジョン,

画像処理の研究に従事。博士(工学)。日本ロボット学会, 精密工学会, 日本機械学会, 電子情報通信学会, IEEE 等の会員。

大橋明: 2015 年中央大学理工学部精密機械工学科卒業, 2017 年同博士前期課程修了, 同年クラリオン(株)に入社。

福田大輔: クラリオン(株)に所属

金子修造: クラリオン(株)に所属

村山純哉: クラリオン(株)に所属

内田吉孝: クラリオン(株)に所属