

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 勇勲† 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

E-mail: ryo@sensor.mech.chuo-u.ac.jp

1 背景・目的

近年、自動車の運転支援のための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。魚眼カメラは約 180° 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の構築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歪みの低減と対応点探索の簡単化を実現した[1]が、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、既知遠距離の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]。しかし、魚眼画像の歪の非等方性により、対象物の距離によって画像上での見え方が異なる。そのため、視差オフセットマップを作成した遠距離から離れるにつれ、すなわち近距離である程、非等方性の影響が大きくなる。本論文では、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、魚眼ステレオカメラの高精度化を図る。なお、本論文の手法は[3]とほぼ同じであるが、キャリブレーションターゲットのパターンや検出のしきい値の変更による近距離視差オフセットマップの高精度化により、距離計測の結果が高精度化している。

2 提案手法

2.1 近距離視差オフセットマップの作成

視差オフセットマップとは、魚眼ステレオカメラの原点(右カメラのレンズ中心)から一定の距離に対する全画素の視差誤差を求めたマップである。近距離視差オフセットマップを作成するために、Fig. 1 に示すよ

うに、原点を中心にカメラを回転させることで仮想的に半球の模擬撮影が可能な半径 1 m のキャリブレーションターゲットを構築した。撮影された左右画像に対し、まずターゲットにある直径 3 cm の丸パターンの色を検出する。次に、検出されたしきい値内の領域の重心を計算する。最後に、丸パターンの重心のみを特徴点としてマッチングを行う。特徴点マッチングの手順を Fig. 2 に示す。特徴点の視差誤差から近距離視差オフセットマップを作成する。



Fig. 1 キャリブレーションターゲット

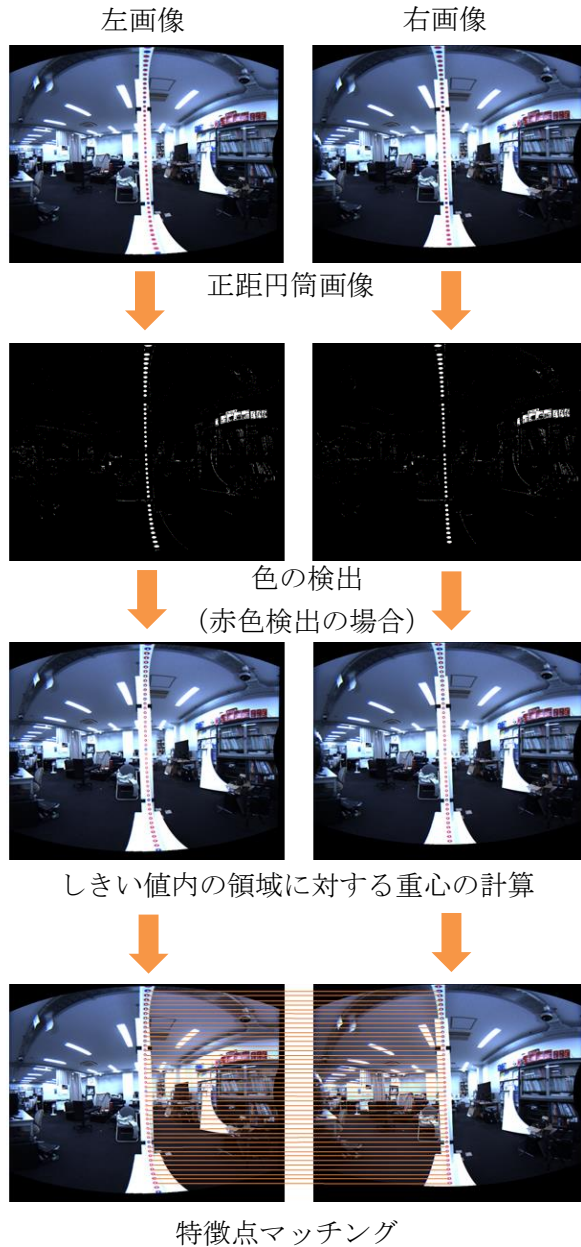


Fig. 2 特徴点マッチングの手順

2.2 視差オフセットマップの組み合わせ

視差オフセットマップを組み合わせることで、左右の画像の対応点間の視差 k を一次式で補正する。補正後の視差 k' を次式で計算する。

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

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) の遠距離ターゲットに対する x 方向, y 方向の視差の真値 k_{Fx}^0 , k_{Fy}^0 , 近距離ターゲットに対する x 方向, y 方向の視差の真値 k_{Nx}^0 ,

k_{Ny}^0 を次式のように計算する。

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

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

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

$$k_x^0 = \tan^{-1} \left(\frac{b \sin \frac{\pi u}{M}}{D_T \cos \phi - b \cos \frac{\pi u}{M}} \right) \times \frac{M}{\pi} \quad (5)$$

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

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_T : 既知距離

k_x^0 : x 方向の視差の真値

k_y^0 : y 方向の視差の真値

ここで、遠距離の視差の真値を求めるには、 $D_T = 300$ m とする。近距離の視差の真値を求めるには、 $D_T = 1$ m とする。

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

$$k_{Fx} = k_{Fx}^0 + e_{Fx} \quad (7)$$

$$k_{Fy} = k_{Fy}^0 + e_{Fy} \quad (8)$$

$$k_{Nx} = k_{Nx}^0 + e_{Nx} \quad (9)$$

$$k_{Ny} = k_{Ny}^0 + e_{Ny} \quad (10)$$

3. 補正係数 a , b を次式のように計算する。

$$a_x = \frac{k_{Fx}^0 - k_{Nx}^0}{k_{Fx} - k_{Nx}} \quad (11)$$

$$b_x = k_{Nx}^0 - a_x \times k_{Nx} \quad (12)$$

$$a_y = \frac{k_{Fy}^0 - k_{Ny}^0}{k_{Fy} - k_{Ny}} \quad (13)$$

$$b_y = k_{Ny}^0 - a_y \times k_{Ny} \quad (14)$$

ただし、いずれかの視差誤差が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。

上記の計算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 からエピソード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。

$$k'_x = a_x k_x + b_x \quad (15)$$

$$k'_y = a_y k_y + b_y \quad (16)$$

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の作成実験を行った。本研究で使用した魚眼ステレオカメラを Fig. 3 に示す。カメラは Point Grey Research 社の Flea3、魚眼レンズは SPACE 社の TV1634M を用いた。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 1328×1048 pixel、基線長は 52 mm、画角は水平方向 165° 、垂直方向 132° であった。キャリブレーションターゲットの半径 1 m の半円面に対して 175 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あるようにした。OpenCV での赤・青のパターンの検出条件を Table 1 に示す。重心計算領域の条件を Table 2 に示す。ここで、半円面に貼り付けられた青パターンが合計 5 個あった。Fig. 4 に示すように、重心計算領域のしきい値は、中心近くの 3 個を条件①、上下の 2 個を条件②にした。視差オフセットマップ作成の際に、 $def_m=50$ pixel、 $\sigma=25$ pixel とした[2]。Fig. 5 に作成した近距離視差オフセットマップを示す。

山野ら[2]の提案手法により作成した遠距離視差オフセットマップを Fig. 6 に示す。Fig. 5 の近距離視差オフセットマップとの組み合わせを行い、作成した補正係数のマップを Fig. 7 に示す。

上記の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。実験環境を Fig. 8、計測箇所を Fig. 9 に

示す。計測距離は 1 m、3 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。近距離視差オフセットマップは Fig. 5、遠距離視差オフセットマップは Fig. 6、組み合わせの補正係数マップは Fig. 7 を用いた。生成した距離画像を Fig. 10、計測距離の誤差を Fig. 11—13 に示す。ここで、棒グラフの色は Fig. 9 の計測箇所に対応している。

Fig. 11 より、距離 1 m では、4 つの結果のいずれも高精度であったが、その中でも近距離視差オフセットマップのみによる補正の結果が最も良いと考えられる。Fig. 12 より、距離 3 m では、 $(-60^\circ, -45^\circ)$ の誤差は補正しても悪かった。組み合わせによる補正と遠距離視差オフセットマップのみによる補正の精度が高いと思われる。Fig. 13 より、距離 5 m では、 $(-60^\circ, -45^\circ)$ の誤差は補正しても悪かった。組み合わせには遠距離視差オフセットマップからの影響が大きかった。組み合わせによる補正と遠距離視差オフセットマップのみによる補正の精度が高いと考えられる。提案手法より、魚眼ステレオカメラの高精度化ができたが、距離計測誤差が大きい箇所もあった。原因として、遠距離視差オフセットマップの特徴点に疎な箇所があったこと、色の検出条件により近距離視差オフセットマップの特徴点(重心)に推定誤差があることが考えられる。



Fig. 3 魚眼ステレオカメラ

Table 1 OpenCV での色の検出条件

	色相(H)	彩度(S)	明度(V)
赤	120-180	80-185	80 以上
青	80-140	140-255	120 以上

Table 2 重心計算領域の条件

		円形度	面積
赤	—	0.3 以上	50-320
青	①	0.5 以上	50-150
	②	0.4-0.6	180-300

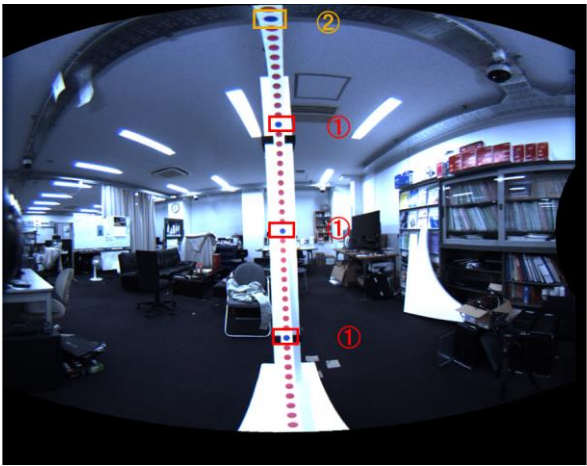


Fig. 4 青パターンの重心計算領域の条件

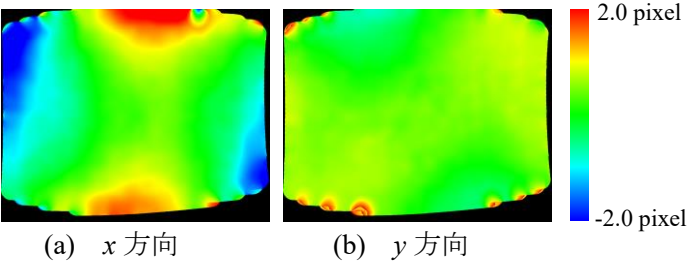


Fig. 5 近距離視差オフセットマップ

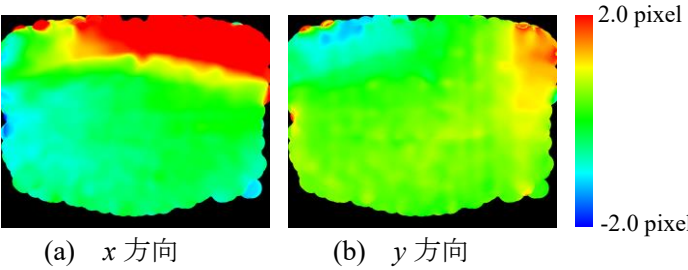


Fig. 6 遠距離視差オフセットマップ

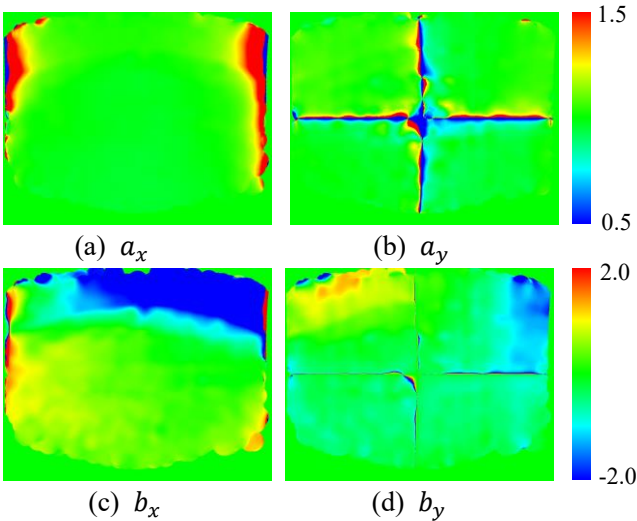


Fig. 7 補正係数のマップ



Fig. 8 実験環境

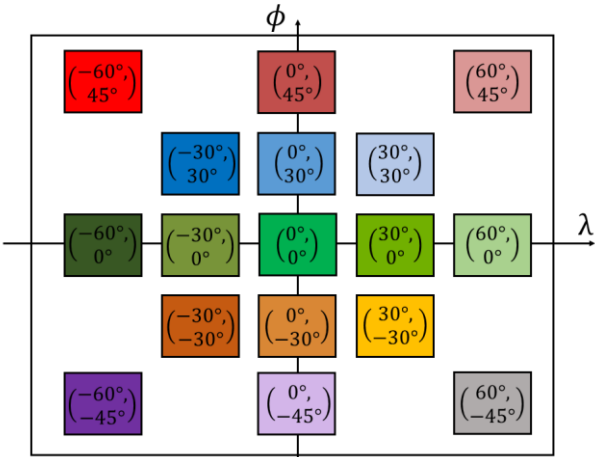
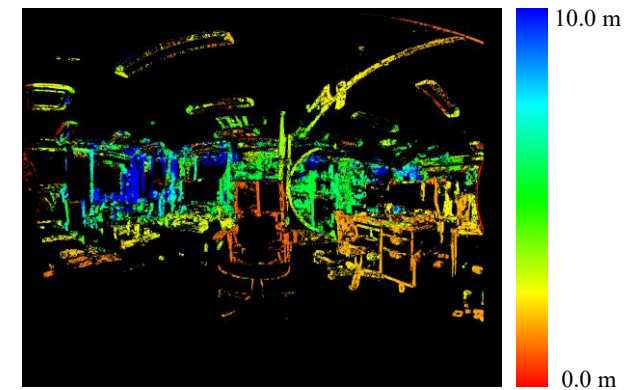
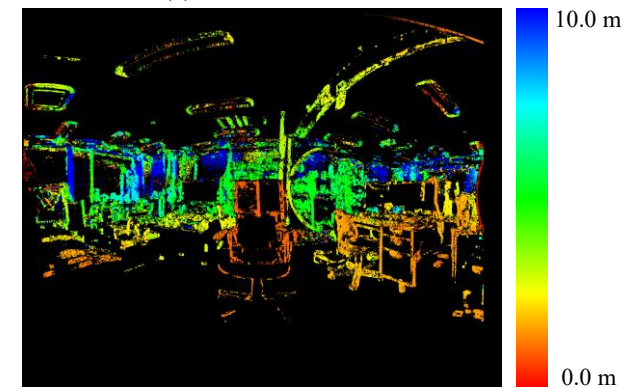


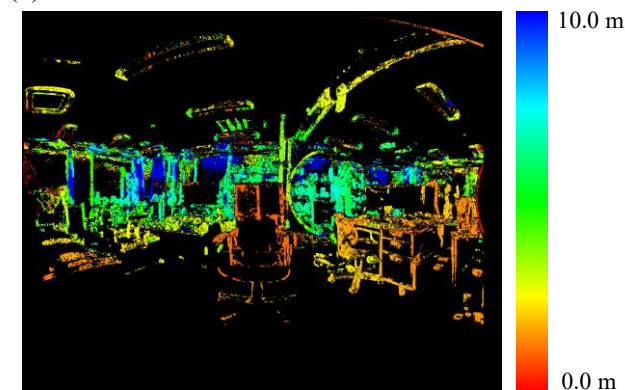
Fig. 9 計測箇所



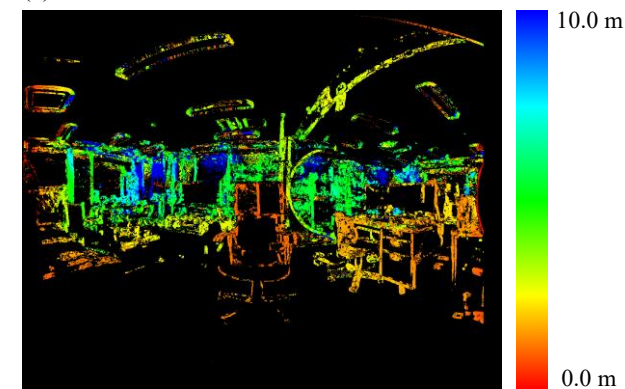
(a) 補正なし



(b) 遠距離視差オフセットマップのみによる補正

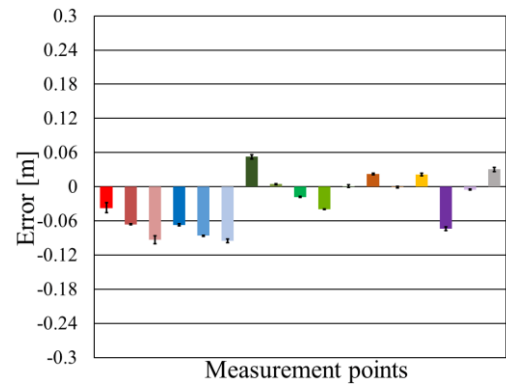


(c) 近距離視差オフセットマップのみによる補正

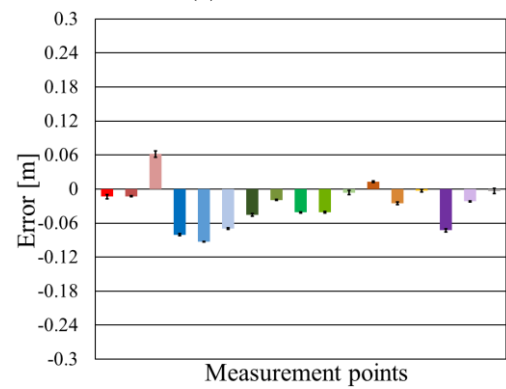


(d) 視差オフセットマップの組み合わせによる補正

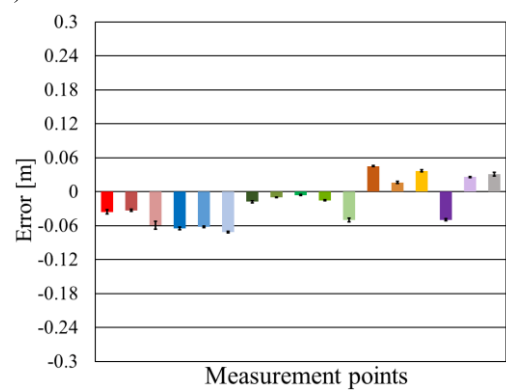
Fig. 10 距離画像



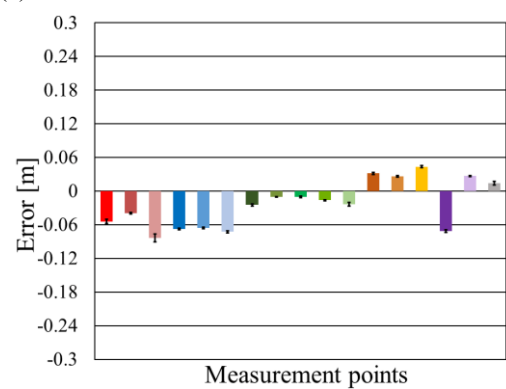
(a) 補正なし



(b) 遠距離視差オフセットマップのみによる補正

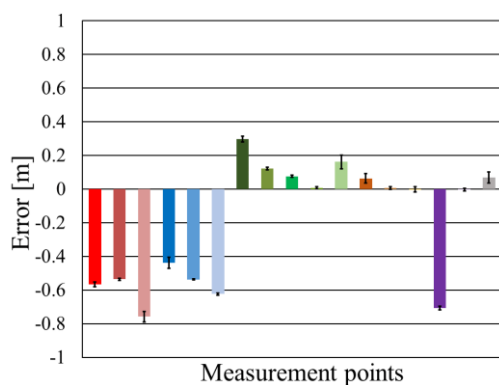


(c) 近距離視差オフセットマップのみによる補正

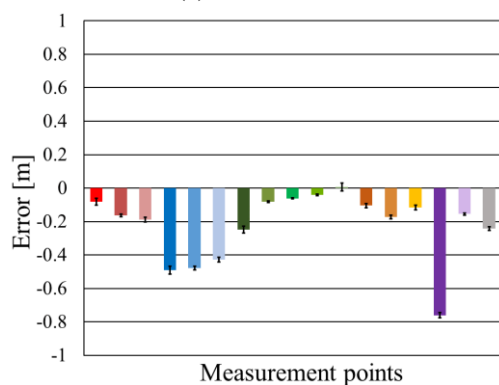


(d) 視差オフセットマップの組み合わせによる補正

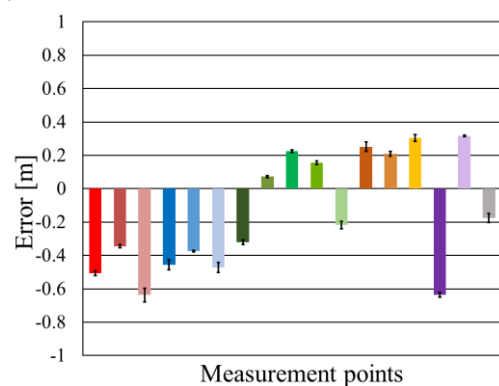
Fig. 11 1 m の距離計測誤差と標準偏差



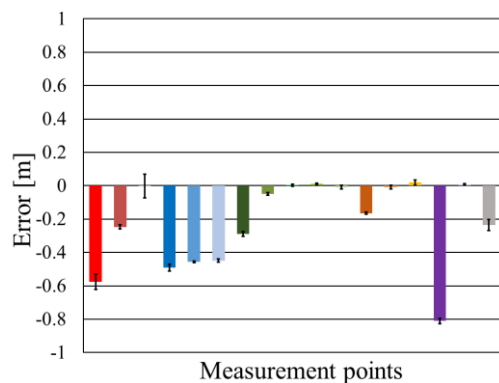
(a) 補正なし



(b) 遠距離視差オフセットマップのみによる補正

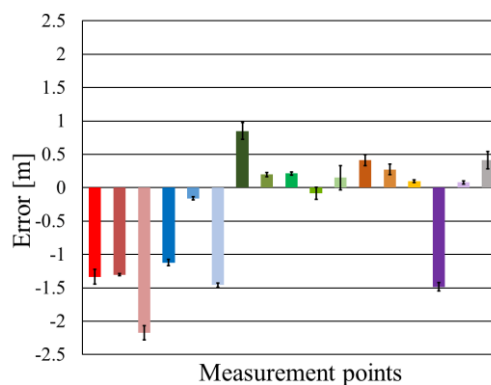


(c) 近距離視差オフセットマップのみによる補正

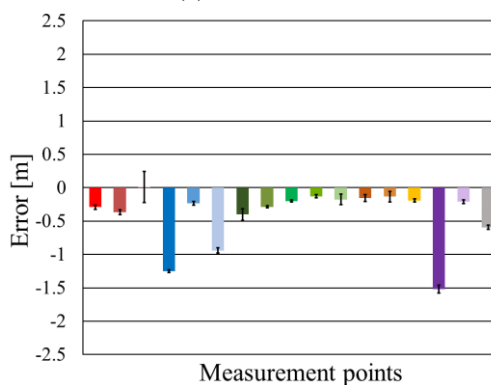


(d) 視差オフセットマップの組み合わせによる補正

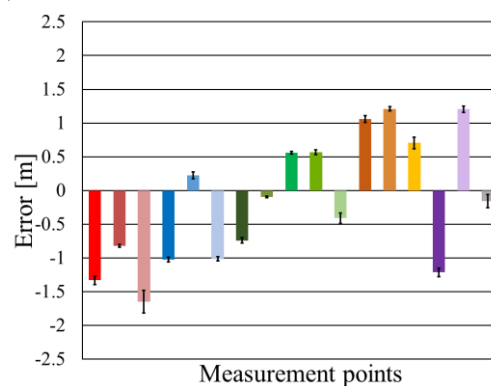
Fig. 12 3 m の距離計測誤差と標準偏差



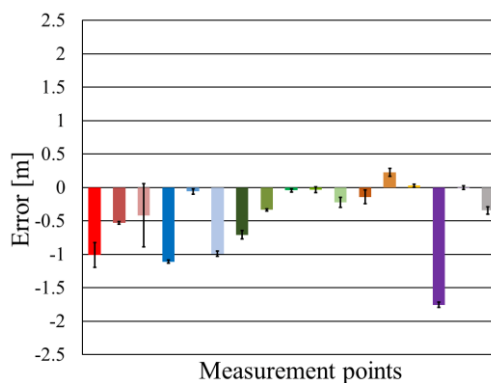
(a) 補正なし



(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) 視差オフセットマップの組み合わせによる補正

Fig. 13 5 m の距離計測誤差と標準偏差

4 結論

本論文では、魚眼ステレオカメラの距離計測を高精度化するために、構築された近距離キャリブレーションターゲットに対し、色情報を用いて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、複数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の高精度化を行った。しかし、誤差が大きい箇所もあった。今後の展望として、遠距離ターゲットの特徴点が多く抽出できる方法を検討し、近距離ターゲットにあるパターンの色検出を自動化して重心の計測精度を高めるなど、特徴点の取得方法を改善する。

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] 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: “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”, ビジョン技術の実利用ワークショップ ViEW2018, IS1-D1, 2018.12.
- [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 System (IROS 2006), pp.5695-5701, 2006.