

マーキングによるステレオカメラを用いた 3 次元計測の高精度化

○吉村 光顕 (中央大学), Pathak Sarthak (中央大学), 梅田 和昇 (中央大学)

Increasing the Accuracy of 3D Measurement Using a Stereo Camera and Marking

○Mitsuaki YOSHIMURA(Chuo University), Sarthak Pathak (Chuo University),
and Kazunori UMEDA (Chuo University)

Abstract: This paper proposes to improve the accuracy of the 3D measurement of stereo cameras by marking. In general, stereo cameras are excellent for spatial understanding and are used in many situations. However, stereo cameras have the disadvantage that 3D measurement becomes difficult when image textures are insufficient. In the proposed system, marking is performed at the area to be measured and captured using a stereo camera. Consequently, the 3D positions of the marked areas can be triangulated very accurately. Experiments show that this enables highly accurate 3D measurement of up to millimeter order.

1. 緒言

近年では、ステレオカメラは多くの用途で 3 次元計測に利用されている。しかし、ステレオカメラは測定物の表面が鏡面に近いと計測精度が低下する問題やテクスチャが少ない物体の 3 次元計測が困難になるという課題がある。従来の研究では、テクスチャが少ない物体の 3 次元計測を行う例として、スポット光レーザセンサによりビード形状の計測を行う研究がある^[1]、しかし、レーザ光を利用した計測は周囲の光環境の影響を受ける可能性がある。レーザ光を利用しない研究^[2]は、任意の溶接箇所にもマーキングを行うことで、表面が鏡面に近く、テクスチャが少ない測定物でも小型ステレオカメラを用いてマーキング箇所の形状を取得し、溶接箇所の検査を行う研究を行った。

この研究ではマーキングを 1 箇所のみに施して、計測を行う為、複数箇所にもマーキングを施して計測を行っていない。Fig.1 のような物体は、ソフトロボティクス等で使われている^[3]形状に近く、ソフトアクチュエータの様々な形状を計測する必要がある。三次元形状を取得する為に複数箇所にもマーキングを施し、高精度な計測が求められる。

本研究では、計測を行いたい任意の箇所にもマーキングを施し、ステレオカメラを用いてマーキング箇所を撮影し、三角測量を用いてマーキング箇所の三次元情報を取得するという方法論を提案する。提案手法により 3 次元計測を高精度化できることを実験により示す。



Fig.1 マーキングを施した測定物

2. 提案手法

2.1 手法の流れ

本研究での手法の流れを以下に示す。

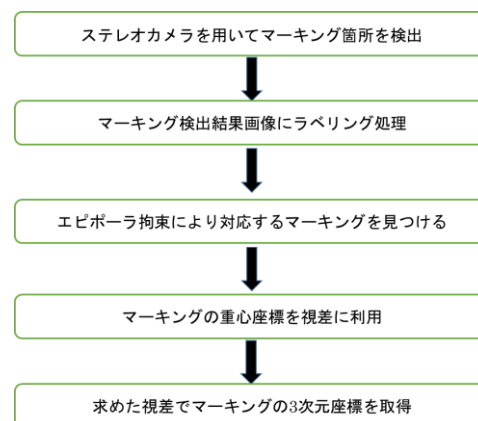


Fig.2 フローチャート

2.1 マーキング箇所の検出

ステレオカメラで撮影したカラー画像の RGB 値にしきい値を設定しマーキング部分を抽出する。マーキングの色は、対象物の色や照明環境に応じて画像から安定して抽出できるものを選べばよい。以下の実験では、蛍光ピンクを使用する。この場合の閾値は以下の

通りである。

$$R \geq 135, \quad G/R \leq 0.91, \quad B/R \leq 0.92 \quad (1)$$

2.2 マーキング箇所の 3 次元情報

球体型のアクチュエータのような物体を計測する為に，点マーキングを複数施していく．マーキング部分の抽出結果に対して，Fig.3,4 に示すようにラベリング処理とエポポーラ拘束により，マーキング同士の mismatches を減らす．取得した結果より，Fig.5 に示すように，マーキングの重心座標を用いて視差を算出する．そして，三角測量の原理を用いて，マーキング部の重心の 3 次元情報を取得する．

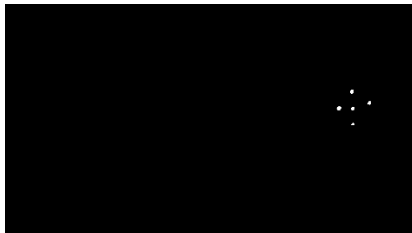


Fig.3 マーキング検出画像

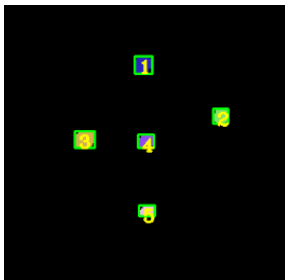


Fig.4 ラベリング処理



Fig.5 マーキングの重心座標

3.実験

3.1 実験条件

提案手法による 3 次元情報の精度評価実験を行った．実験では，点マーキングを施した単色カラーボールを測定対象物として用いた．カラーボールの直径は 75mm であり，色は青と銀を用いた．ステレオカメラ

には，Stereo Labs ZED を用いた．基線長は 120mm である．ステレオカメラとカラーボールとの距離を 0.5mm ずつ変え，150mm～160mm の範囲で画像を撮影した．距離を変化させるには，中央精機株式会社の VCR 超精密 X・Y 軸ステージを用いた．

Fig.6 に実際に撮影を行ったときの状態を示す。



Fig.6 撮影風景

3.2 実験結果

3.2.1 ZED Stereo Camera の機能のみの撮影

提案した手法を使わず ZED Stereo Camera の機能のみを用いて撮影した 3 次元計測結果を Fig.7,8 に示す．

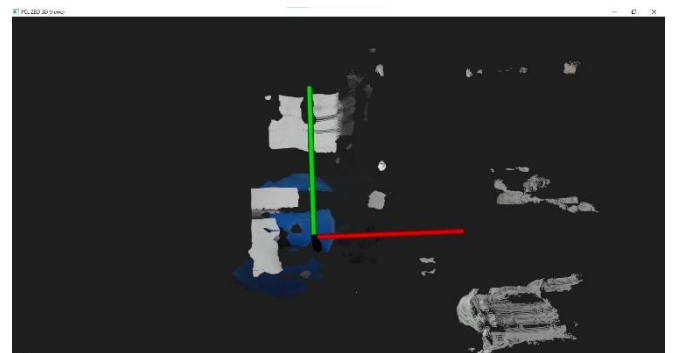


Fig.7 3 次元計測結果

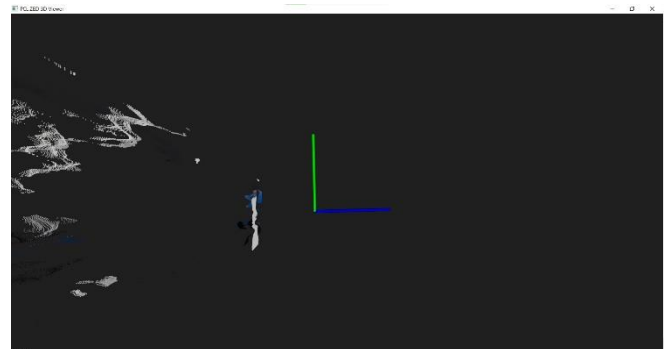


Fig.8 3 次元計測結果（横方向）

ZED Stereo Camera の機能のみを用いて撮影した場合、Fig.7,8 より 3 次元計測が上手く行えていないことが分かる。

3.2.2 多点マーキングを施した際の計測結果

提案した手法を用いて、多点のマーキングを施した測定物の 3 次元計測を行った。マーキングは全部で 20 点施している。Fig.9, 10 はそれぞれステレオカメラで得られたカラー画像とマーキングの抽出結果、Fig.11,12 は計測した 3 次元座標を PCL^[4]で表示している。

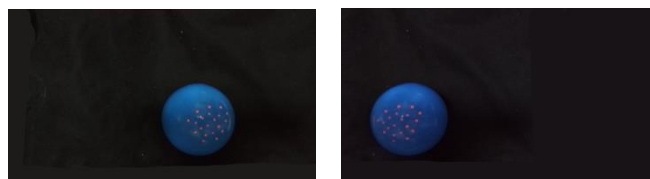


Fig.9 カラー画像 (左:左カメラ, 右:右カメラ)



Fig.10 マーキング抽出結果

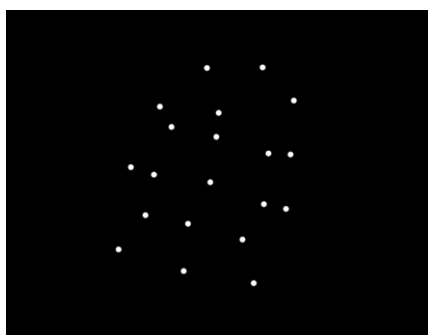


Fig.11 PCL 表示結果

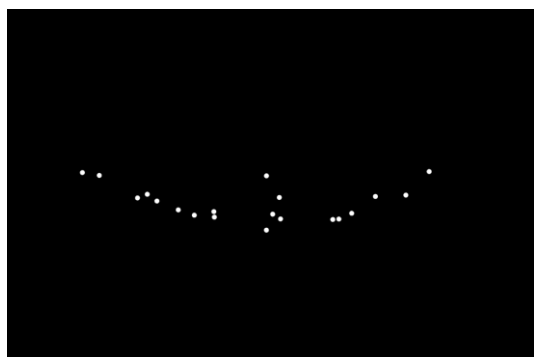


Fig.12 PCL 表示結果 (横方向)

3.2.3 ステレオカメラと測定物の距離

1 つのマーキングを施し計測を行い、取得した 3 次元情報の奥行きで精度評価を行った。Fig.13,14 はカラー画像とマーキングの抽出結果、Fig.15 は計測結果を示す。真値はカメラと測定物の撮影距離とする。



Fig.13 カラー画像 (左:左カメラ, 右:右カメラ)



Fig.14 マーキング抽出結果

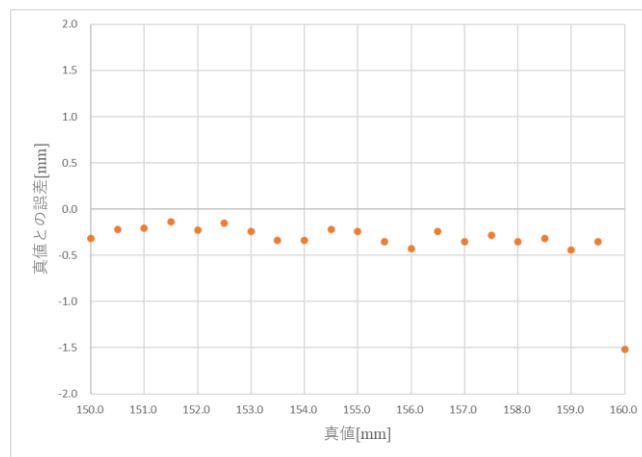


Fig.15. 計測結果 (奥行き)

計測結果より、誤差の平均が-0.35mm, 標準偏差が0.27mmであった。偏り、ばらつきとも小さく、高精度に計測を行うことが出来ていることが分かる。

3.2.4 マーキング間の距離

Fig.16 のように 2 点のマーキングを施し、その 2 点間の距離を算出し計測精度評価を行った。マーキング間の距離は 15mm であり、この値はマーキングの 2 点間を紐で繋ぎ、その紐の長さを計測して求めた値であり、この値を真値とする。



Fig.16 マーキング間の距離比較

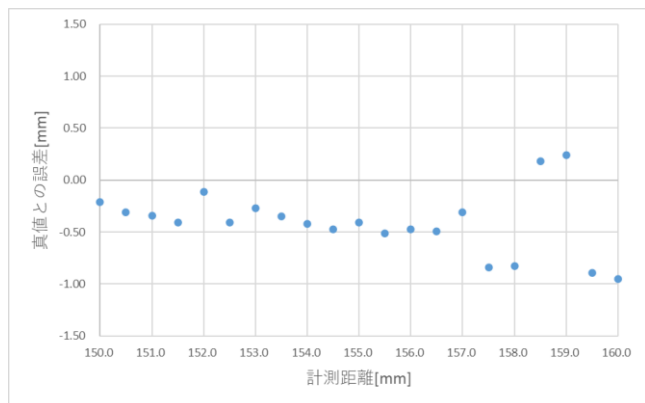


Fig17. マーキング間距離の計測結果

計測結果より，誤差の平均が -0.41mm ，標準偏差が 0.30mm であった．偏り，ばらつきとも小さく，高精度に計測を行うことが出来ていることが分かる．

しかし，計測結果に偏りが生じている理由としては，カメラキャリブレーションの誤差によるものと考えている．

4.結言

本論文では，マーキングによりステレオカメラを用いた3次元計測を高精度化するという方法論を提案した．実験により，マーキングを施すことで高精度な計測が可能であることを示した．今後は，動物体でのマーキング点群の高精度な計測を実現することを行いたい．

参考文献

- [1] 高野 悠敬, 山本 光, 高谷 透, 早川 泰夫: “スポット光レーザセンサによる開先およびビード形状の計測”, 溶接学会論文集, 2000.第1号, pp.51-58
- [2] Mitsuaki Yoshimura , Yonghoon Ji and Kazunori Umeda : “Stereo Measurement of Cross-Sectional Shape of

Weld Beads by Marking”, 2020 ICPE 18th International Conference on Precision Engineering, pp.D-4-5(2020)

[3] 中野 駿, 小池 夏実, 早川 健: “三次元構造を有するソフトアクチュエータの作製”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2020 巻, p. 2P1-I09(2020)

[4] Radu Bogdan Rusu and Steve Cousins: “3D is here: Point Cloud Library (PCL)”, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) , 2011