ラインレーザを用いたステレオカメラによる高精度３次元計測

Improving the Accuracy of 3D Measurement Using a Stereo Camera by Marking with a Line Laser

〇学　野中　隼矢（中央大学）　　正　梅田　和昇（中央大学）
Pathak Sarthak（中央大学）

Shunya NONAKA, Chuo University, nonaka@sensor.mech.chuo-u.ac.jp
Kazunori UMEDA, Chuo University
Sarthak PATHAK, Chuo University

In this paper, we propose a method to improve the accuracy of 3D measurement using a stereo camera by marking objects with a line laser. Stereo cameras are often used for 3D measurement. However, stereo cameras have a problem that the accuracy of 3D measurement is affected by the amount of texture. Therefore, we develop a new measurement system that combines a stereo camera and a line laser. By using a line laser to mark arbitrary points on the object and measuring the marked points, we improve the accuracy of 3D measurement with a stereo camera regardless of the amount of texture on the object.

Key Words: 3D Measurement, Stereo Camera, Marking

1. 序論

近年，画像処理による３次元計測技術は医療や自動車，建築など非常に多岐にわたる分野で利用されており，盛んに研究が行われている．これらの研究には，しばしばステレオカメラが利用される．

ステレオカメラは，パッシブステレオ法によって 3 次元計測を行う．パッシブステレオ法を用いた研究は多く行われているが，ステレオ画像上での正確な対応点探索が難しいことや，テクスチャの多少によって計測精度が影響されるという課題がある．

ステレオカメラにおける一方のカメラを光を投影する装置に置き換えたアクティブステレオ法もある．最も代表的な手法は，光切断法（スリット光投影法）である[1]．その他に，スポット光投影法，パターン光投影法など投影する光の種類によって手法が分類される[2]．これらの手法は，前述のステレオ法における対応点探索の精度が低いといった課題を，光を投影することで解決することができる．藤本らは，単眼カメラとライン型レーザを用いてアクティブステレオ法による 3 次元計測を行い，3 次元モデルを生成している[3]．これは，簡単な処理でありながらほとんど正確な物体の形状計測を行えるが，カメラとレーザを同時に動かす必要があり，それによって回転角を考慮した 3 次元座標を計算しなければならない．

ステレオカメラ自体の精度をあげる手法として，Yoshimura ら[4]は，任意の溶接箇所に手書きのマーキングを施すことで，テクスチャの少ない測定物であっても小型のステレオカメラを用いてマーキング箇所の 3 次元形状を取得し，溶接箇所の検査の研究を行なった．また，吉村ら[5]は，測定物に手書きの点マーキングを施し，ステレオカメラを用いた 3 次元計測を高精度化する手法を提案した．しかし，これらの研究では，測定物の形状や大きさによってマーキングをすることが困難になることや，マーキングに手間がかかるといった課題がある．

そこで，本研究では，計測を行いたい測定物の任意の箇所にラインレーザを用いてマーキングを施し，小型のステレオカメラによってマーキング箇所を撮影することで，三角測量の原理を用いて高精度にマーキング箇所の 3 次元情報を取得するという手法を提案する．

2. 提案手法

2.1 提案手法の概要

提案手法のフローチャートを図 1 に示す．

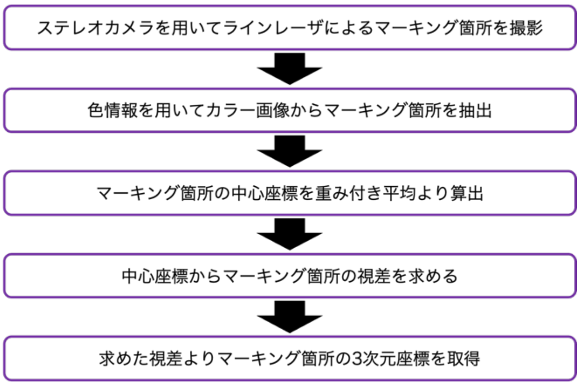


Fig. 1 Flowchart of proposed framework.

2.2 マーキング箇所の検出

ステレオカメラで撮影したマーキング箇所のカラー画像から，RGB 値あるいはそれらの割合を用いてしきい値を設定しマーキング箇所を抽出する．使用するラインレーザは赤色であり，測定物に応じてしきい値を設定する．以下の精度評価実験と物体の形状計測実験においては，カラー画像の R=255 の点をレーザでマーキングされた箇所として抽出し，計測を行った．

2.3 マーキング箇所の 3 次元情報

計測したい測定物の任意の箇所にラインレーザでマーキングを施す．2.2 節において設定したしきい値でマーキング部分をグレースケールで抽出し，抽出したマーキング画像の横軸上の中心座標を画素値を重みとして算出する．左右画像の算出したマーキング部分の中心座標より視差を求め，3 次元情報を取得する．

3. 精度評価実験

提案手法により，平面を対象として提案手法の精度評価実験を行った．平面にチェッカーボードを用い，チェッカーパターンの交点を検出して平面当てはめを行うことで，平面の式を得た．平面の式と提案手法によって取得した 3 次元情報との誤差を計算することで精度評価を行った．

3.1 実験条件

チェッカーボードは，図 2 に示す 1 マス 30mm×30mm 四方で，横 10 マス×縦 8 マスのものを使用した．平面推定は，チェッカーボードの交点の 3 次元情報を MATLAB の Curve

Fitting Toolbox によって行い，最小二乗平面を取得する．平面の式は以下の形で得る．

$$ax + by + cz + d = 0 \tag{1}$$

ステレオカメラは，Stereo Labs 社の ZED2 を使用した．基線長は 120mm である．ラインレーザは STS 社の赤色のマーキングラインレーザを用いた．また，提案手法によって計測する際は，レーザを手動で走査して平面の計測を行い，得られた平面の 3 次元点群を PCL[7]で表示する．計測距離は 300mm, 400mm, 500mm と変えて実験を行なった．誤差は，各点と平面との距離により算出した．

図 3 に実際に撮影を行ったときの様子を示す．

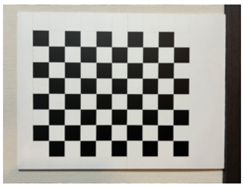
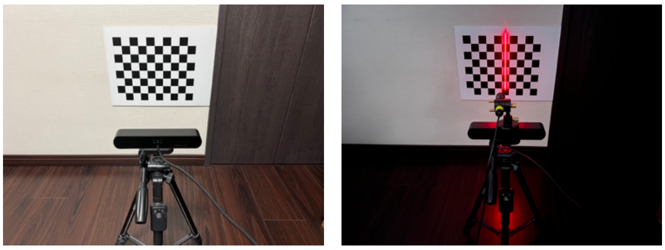


Fig. 2 Checker board

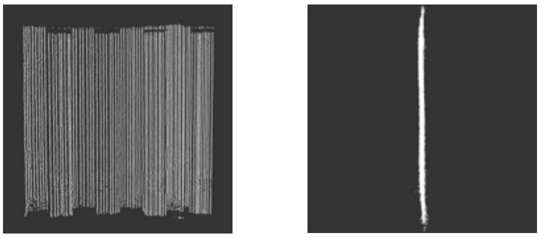


(a) Corner detection　　(b) Plane measurement

Fig. 3 Experiment conditions

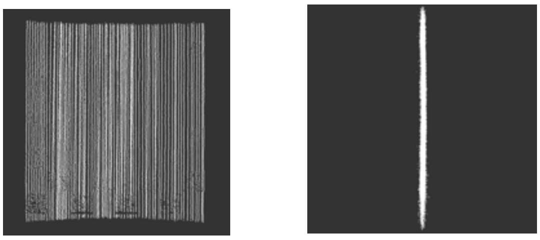
3.3 実験結果

提案手法による結果を図 4～6 に示す． また，計算結果をまとめたものを表 1 に示す．なお，表 1 の括弧内の値は視差における誤差をピクセル単位で表したものである．



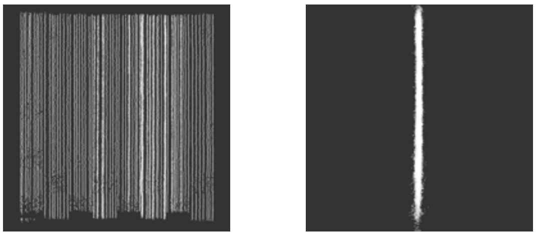
(a) Front　　(b) Side

Fig. 7 3D Point Cloud (300mm)



(a) Front　　(b) Side

Fig. 8 3D Point Cloud (400mm)



(a) Front　　(b) Side

Fig. 9 3D Point Cloud (500mm)

Table 1 Calculation results

計測距離[mm]	誤差平均[mm]	標準偏差[mm]
300	0.32(0.45)	1.24(1.75)
400	0.56(0.44)	1.77(1.40)
500	1.00(0.51)	1.97(0.99)

3.4 考察

本実験で使用したステレオカメラ ZED2 において，計測距離が 300mm のとき，視差の 1 ピクセルの誤差が距離にして 0.71mm，計測距離 400mm のとき 1.26mm，計測距離 500mm のとき 1.98mm に対応する．Table 1 より，計測距離が増加していくにつれて，誤差平均，標準偏差が共に増加している．しかし，どの計測距離においても誤差平均は 1 ピクセル以内の誤差に収まっており，標準偏差は 2 ピクセル以内の誤差に収まっているため，提案手法によって高精度な 3 次元計測が行うことができた．

図 7～9 に示した提案手法によって得られた 3 次元点群には，多少のノイズが見られる．これは，使用したラインレーザの輝度が均一でないことによって，計測した平面上でのマーキング箇所の抽出が適切にできていないからだと考えられる．

4. 物体の形状計測実験

提案手法により，様々な形状の物体の 3 次元計測を行い，ステレオカメラ自体の機能で 3 次元計測を行った結果と比較する．

4.1 実験条件

図 10～12 に示す 3 種類の物体について計測を行った．それぞれの物体は，直径約 85mm，高さ約 45mm の円筒，高さ約 50mm，横幅約 60mm の凹凸な形状を持つ消しゴム，高さ約 50mm，横幅約 30mm の複雑な形状のフィギュアである．

提案した手法で計測する際は，外乱光の影響を除去するために照明を落とした．また，レーザを物体に対して横方向に手動で走査し，処理を繰り返すことで物体表面全体の形状を取得して PCL で表示する．ZED2 自体の機能で 3 次元計測を行った結果も同様に PCL で表示し，比較する．計測距離は物体 1 は約 300mm，物体 2 と物体 3 は約 150mm で実験を行なった．

Fig.10 Object1

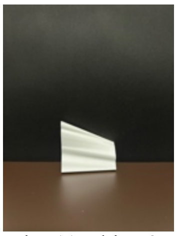


Fig. 11 Object2

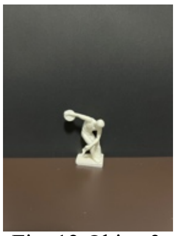


Fig. 12 Object3

4.2 実験結果

ステレオカメラ自体の機能で行なったそれぞれの物体における 3 次元計測の結果を図 12〜14 に，提案手法によって得られたそれぞれの物体の 3 次元計測の結果を図 15〜17 に示す．

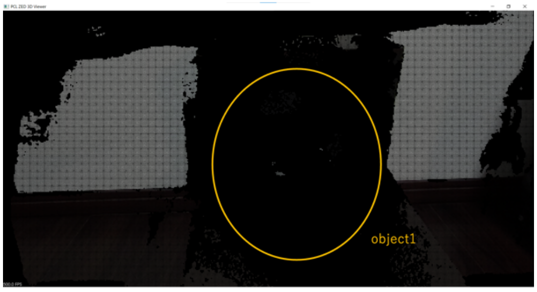


Fig. 12 3D Measurement by Stereo Camera (Object1)

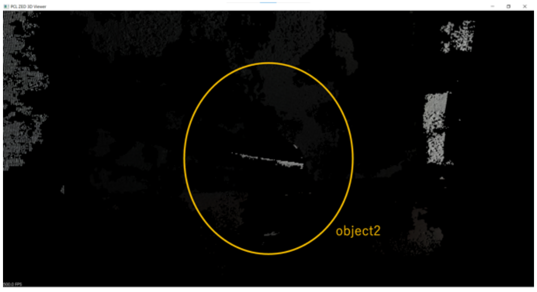


Fig. 13 3D Measurement by Stereo Camera (Object2)

Fig. 14 3D Measurement by Stereo Camera (Object3)

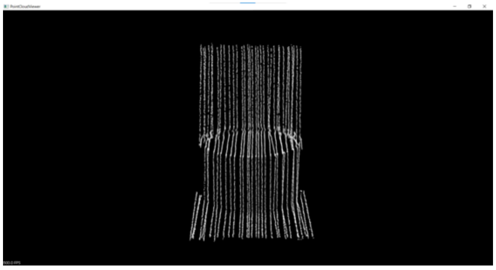


Fig. 15 3D Measurement by Proposed Method (Object1)

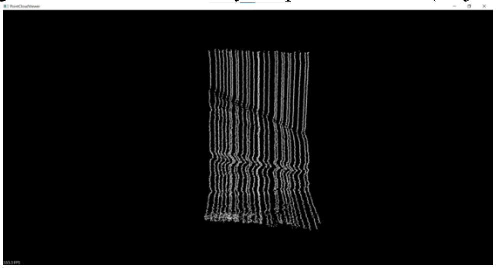


Fig. 16 3D Measurement by Proposed Method (Object2)

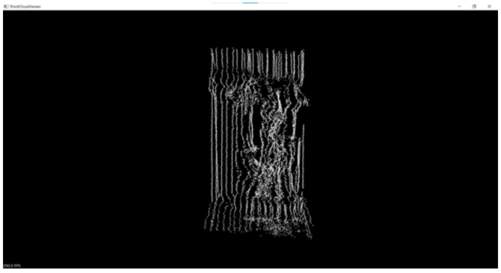


Fig. 17 3D Measurement by Proposed Method (Object3)

4.3 考察

図 12〜14 より，物体のテクスチャが少ないことからステレオカメラ自体の機能ではほとんど 3 次元計測が行えていない．

図 15〜17 に示した提案手法の結果より，物体 1 と物体 2 は正確に 3 次元形状計測が行うことができた．しかし，物体 3 に関しては，細かい部分を適切に計測するができなかった．これは，ラインレーザの光が物体に当たった際に，レーザが太いことで中心座標の算出がうまくいかなかったことが原因だと考えられる．

それぞれの結果を比較すると，どの物体においても，提案手法によってステレオカメラ自体の機能よりも精度良く 3 次元計測を行うことができた．

5. 結論

本論文では，ステレオカメラとラインレーザによるマーキングによって 3 次元計測の精度を向上させる手法を提案した．

今後の展望としては，物体を回転させるなどして全体の 3 次元計測を高精度に行いたい．

参考文献

[1] Y. Shirai: “Recognition of polyhedrons with a range finder,”Pattern Recognit., 4(1972)243-244.

[2] 井口 征士，佐藤宏介，“三次元画像計測”，昭晃堂，東京，1990, pp.29-53.

[3] 藤本 敬介，紅山 史子，守屋 俊夫，中山 泰一:”ライン型アクティブステレオ計測による簡易かつロバストな 3 次元形状モデル生成方法”，情報処理学会第 67 回全国大会講演論文集，53-54, 2005.1.

[4] 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, D-4-5, 2020.11.

[5] 吉村 光顕, Sarthak Pathak, 梅田 和昇, “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”，第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2021), 2B1-05,2021.12.

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