

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420195

研究課題名(和文) 変形可能な複眼カメラシステムによる三次元形状計測の深化

研究課題名(英文) Deepening of 3D shape measurement by deformable compound eye camera system

研究代表者

清水 毅 (SHIMIZU, Tsuyoshi)

山梨大学・総合研究部・准教授

研究者番号：40293443

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、超小型カメラを薄板に取り付けることによりマルチカメラを構築し、三次元形状計測の深化をねらう研究である。まず、超小型カメラの薄板への設置による変形可能な複眼カメラシステムの構築し、その後、幾何学的モデルの構築と校正を行った。空間探索型三次元形状測定による形状計測と評価では、測定点周りに点群をリサンプリングする手法について検討した。リサンプリングは、測定点1点を重心とした8面体の頂点となるように配置した。その後、リサンプリング点に対して2年目までに開発した空間尤度を設定し、空間的に三次元点を探索した。その結果、測定点のばらつきが減少することを確認した。

研究成果の概要(英文)：Three-dimensional shape measurements by a multi-camera system and the correction of the measured points are achieved in this study. First, a geometrical model is constructed using the positional relationship of the calibrated multi-camera. Because the cameras are located linearly on a thin plate whose curvature is changed by an actuator. Second, a three-dimensional object is measured on an epipolar plane, and DP (Dynamic Programming) matching is used to determine the corresponding points and SSD is used as the local area windows. Third, the correlation coefficient is employed to determine the likelihood of the three-dimensional points, which are then set to correct and modify the measured points. Consequently, the measurement results more closely resemble the shape of the measured object.

Finally, re-sampling points are set around measured points as spatially three-dimensional points searching method. The likelihood is set in the three dimensional space around measured points.

研究分野：画像応用計測

キーワード：マルチカメラ 三次元計測 空間探索法 空間尤度 ステレオカメラ

1. 研究開始当初の背景

本研究開始当初の背景は、(1)昆虫のもつ機能を模倣することによる新しい技術の展開、(2)ビジョンの中心的課題の1つである複数カメラ利用研究、(3)近年の機器の小型化と計算機性能の向上による大容量データの取扱可能性の向上である。

現在、機器の小型化と計算機の性能向上により10年前には難しいことが実現可能となってきた。カメラの小型化は、内視鏡に見られるような直径数mmの超小型のものも十分実用化されている。また、計算機性能の向上により大量データを容易に扱うことができるようになり、2Dでは、大量の画像からのデータ抽出や3Dにおいても大規模環境3次元レーザ計測データ処理など実用に向けた研究が盛んである。

2. 研究の目的

本研究は、超小型カメラを薄板に多数配置することで複眼カメラシステムを構築し、三次元形状計測の深化をねらう研究である。本申請では、研究代表者のこれまでの研究成果を発展させ、「課題1」超小型カメラの薄板への設置による変形可能な複眼カメラシステムの構築、「課題2」複眼カメラシステムの幾何モデルの構築と校正、「課題3」空間探索型三次元形状測定による形状計測と評価に取り組んだ。

3. 研究の方法

(1) 多眼カメラの幾何学

本研究における多眼カメラモデルを図1に示す。各カメラ座標系と世界座標系との関係は、回転行列 R_i と並進ベクトル t_i (i はカメラ番号) により記述される。また、各カメラの焦点距離および画像中心は、内部変数 A_i とする。

いま、三次元空間上の点 M_k ($k = 1, 2, \dots, K$) を各カメラで観察しているものとする。このとき、 M_k が各カメラのデジタル座標系上へ $m_k = [u_k, v_k]^T$ と射影されるとすれば、

$$s_i \tilde{m}_k = A_i [R_i, t_i] \tilde{M}_k \quad (1)$$

となる。ただし、添え字 i は、各カメラの番号、 s はスカラーである。また、 \sim (チルダ) は同次座標をあらわす。

(2) 画像間の局所窓相関

三次元空間上の点 M_k が i 番目のカメラと j 番目のカメラで撮影されている様子を図XXに示す。 M_k は、式(1)により、それぞれ、 m_{ki} 、 m_{kj} に投影されている。このとき、 m_{ki} 、 m_{kj} の周りに $n \times n$ 窓を設定することで、局所窓間の相関 γ_{ij} が計算できる。

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{(n+1)^2} \frac{\sum (I_i(m_{ki}) - \bar{I}_i(m_{ki})) (I_j(m_{kj}) - \bar{I}_j(m_{kj}))}{\sqrt{\sigma_{ki}^2 \sigma_{kj}^2}} \quad (2)$$

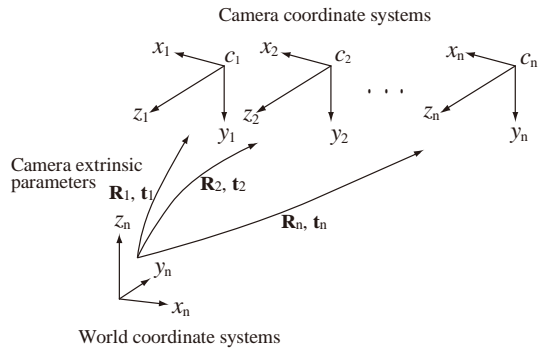


図1 マルチカメラモデル

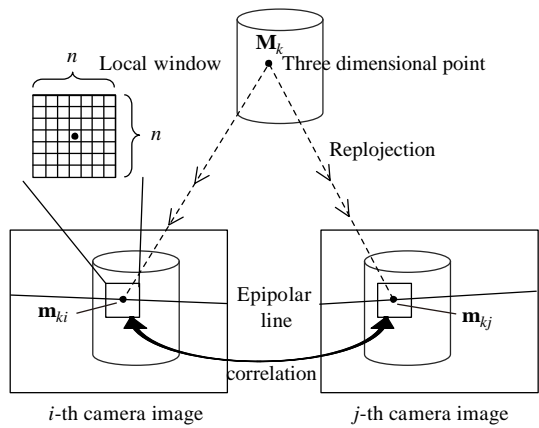


図2 局所窓の対応

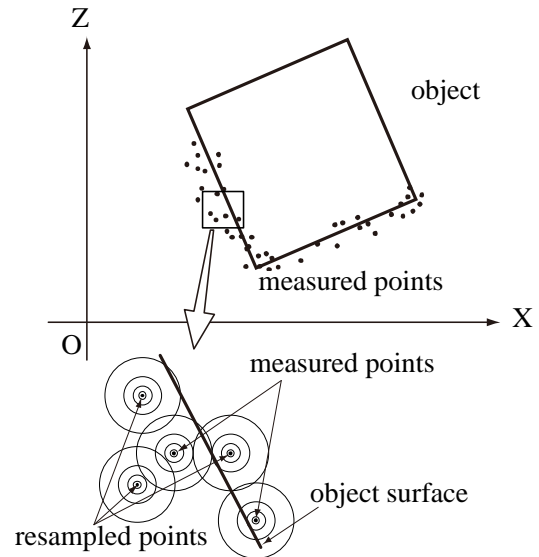


図3 三次元空間上の尤度設定

ただし、 $I_i(\cdot)$ は局所窓の平均値、 s_{ki} 、 s_{kj} は局

所窓の分散をあらわす。式(2)は局所窓間の類似性をあらわし、値が高いほど似ている、すなわち、 M_k を観察できていることになる。

(3) 空間尤度の設定

本研究では、測定点のまわりにさらに擬似的な点を配置した。図3に測定対象と測定点群のモデルを示す。図3に示すように各測定点に確率を与え、扱う点群内で最も確率が高

くなる位置に測定対象があると考える．本研究ではガウス分布を仮定する．三次元のガウス分布は，

$$\mathcal{N}(\mathbf{x}|\mu, \Sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \frac{1}{|\Sigma|^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mu)^T \Sigma^{-1} (\mathbf{x} - \mu) \right] \quad (3)$$

とあらわせる．ここで， μ は，平均値であり， Σ は共分散行列である．また，本研究では，扱いを簡単にするため，等方共分散行列を仮定し， $\Sigma = \sigma^2 \mathbf{I}$ とする．

ガウス分布の性質として， $|\Sigma|$ が大きいほど中心の確率は低くなる．そこで， $|\Sigma|$ を局所画像間の相関係数(式(2))を用いてあらわすことにすると，

$$\sigma_k = \sum_{i,j} \exp(-\gamma_{ij}) \quad (4)$$

とすることにより，各画像間の類似度が高いほどガウス関数の中心密度は高くなる．また，式(3)の μ を測定点 M_k とすると，尤度は，

$$L_k = \frac{1}{2\pi^{2/3} \sigma_k} \exp \left[-\frac{(\mathbf{x} - M_k)^T (\mathbf{x} - M_k)}{2\sigma_k^2} \right] \quad (5)$$

とあらわすことができる．よって，これら点群の尤度は，

$$L_{total} = \prod L_k \quad (6)$$

となる．点群の尤度を求めた後には，尤度が最大となる位置を測定点とする．

上記の手続きにより，点群から空間的に尤度が計算できる．

4. 研究成果

図4に試作したマルチカメラを示す．使用したカメラは1/13inch CMOSカメラであり，リニアアクチュエータにて薄板を変形可能である．図5に試作装置を校正し，薄板を変形させたときの各カメラレンズ中心を示す．曲率を得られていることがわかる．

本装置を用いて1辺58mmの立方体を測定した結果を図6に示す．(a)が横幅方向の誤差を示し，(b)が奥行き方向の誤差を示す． d は，リニアアクチュエータの移動距離を示す．リニアアクチュエータにより板にたわみを与えることにより，輻輳角が生まれ，測定点の不確かさが減っている．また，尤度により補正すると誤差が減ることを確認した．

次に図7に円柱形状物体の測定結果を示す．(a)が対象物体であり，(b)が測定結果である．(b)から対象物体が測定されていることが確認できる．

最後に，図8に示す試作装置を並列に接続した結果を示す．カメラは合計12個となる．これを使用して90mmの立方体を測定した．結果を結果を表1にまとめる．カメラ6台と12台についてそれぞれ尤度推定する場合としない場合について表1にまとめた．ただし，

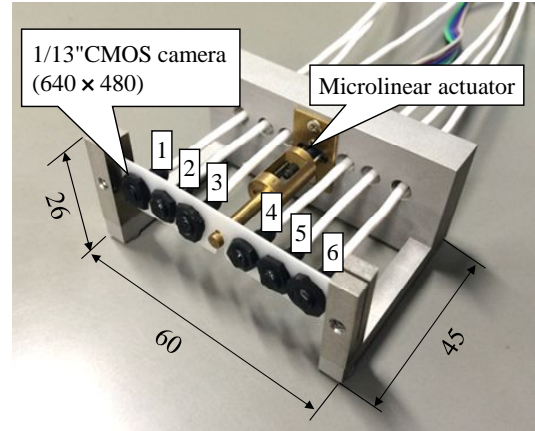


図4 試作したプロトタイプ

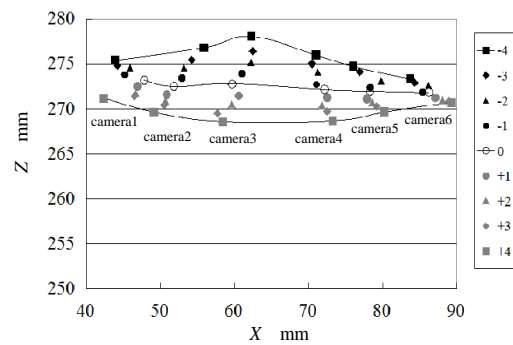


図5 マルチカメラのレンズ中心軌跡

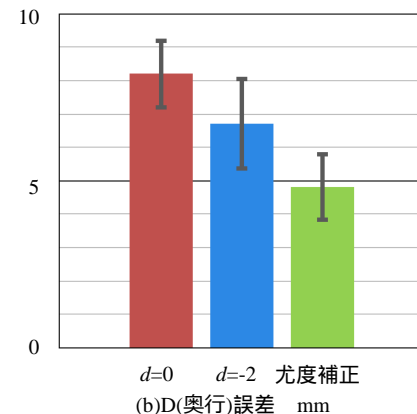
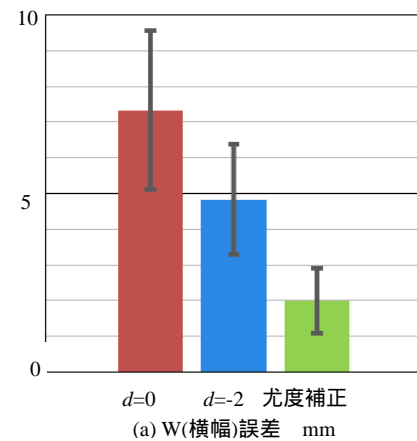
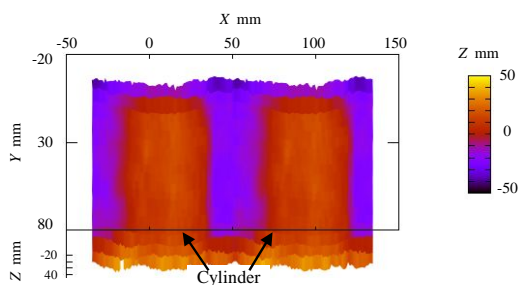


図6 測定結果

M は平均を意味し, SD は標準偏差を意味する. この結果からカメラ 12 台使用した場合に標準偏差 4.0mm 以内で測定が可能であった.



(a) 円柱形状物体



(b) 測定結果

図 7 円柱形状物体の測定

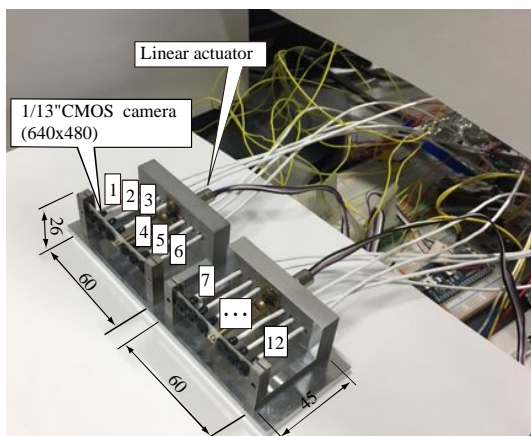


図 8 並列にした状態

表 1 リサンプリング結果

	カメラ 6 台		カメラ 12 台	
	無	有	無	有
リサンプリング				
M[mm]	104.0	95.6	90.3	99.7
SD[mm]	29.0	22.4	4.0	3.9

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) T.MOMIYAMA and T. SHIMIZU, Multi-Camera Measurements of A Three-Dimensional Shape Using the Likelihood Set to the Three-Dimensional Space, INTERNATIONAL JOURNAL OF CONTROL, AUTOMATION AND SYSTEMS, Vol. 5, No.1, pp.7-13, 2016(査読有).

〔学会発表〕(計 5 件)

(1) Tsuyoshi SHIMIZU, Three dimensional measurement using likelihood function by multi-camera, Thirteenth International Conference on Quality Control by Artificial Vision 2017, Proc. of SPIE Vol. 10338 103380T-1, 2017, Tokyo(査読有).

(2) 清水 毅, 山本 好晃, マルチカメラを用いた空間尤度設定による三次元測定, 2017 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 65-70, 2017(査読無).

(3) 清水 毅, 初山拓三, マルチカメラによる三次元形状取得-空間への尤度設定-, 動的画像処理実利用化ワークショップ 2016, IS2-B2, 2016(査読有).

(4) 初山拓三, 清水 毅, 変形可能な小型複眼カメラシステムの開発, 第 20 回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集, pp.189-192, 2015(査読無).

(5) 初山拓三・清水 毅, 変形可能な複眼カメラシステムの校正, 2015 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 255-256, 2015 (査読無).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 毅 (SHIMIZU, Tsuyoshi)
山梨大学・大学院総合研究部・准教授
研究者番号: 40293443

(2) 研究分担者

古屋 信幸 (NOBUYUKI, Furuya)
山梨大学・大学院総合研究部・教授
研究者番号: 50126653

小谷 信司 (SHINJI, Kotani)

山梨大学・大学院総合研究部・教授
研究者番号: 80242618