

プロジェクタ投影画像の補正による三次元計測精度向上

加藤 嗣[†], 田口 亮[†], 保黒 政大[‡], 梅崎 太造[†]

名古屋工業大学工学部[†] 中部大学工学部[‡]

1 まえがき

製造業の生産工程において三次元計測による製品の外観検査が期待されている。現在は人の目視検査が主流であるため、評価の安定性や人件費の負担が課題となる。これらの課題は画像処理技術を利用し、自動かつ安定した検査を行うことで解決が可能である。また、工業製品の多くは三次元構造をしており、立体形状を測定することで検査を行うことは二次元情報を用いた検査に比べて利点が多い。

様々な三次元計測手法が研究されており、その一つである位相シフト法^[1]は生産分野の検査装置にも採用されている。本研究では市販のプロジェクタ、カメラ、計算機を用いることで安価な三次元計測装置を構築し、また高精度な計測の実現を目的とする。

市販のプロジェクタには人の目に快適であるように様々な補正が加えられている。また、カメラ内部のレンズ歪み、周辺環境による外乱などのため、投影した正弦波縞投影パターンは撮影された際に正弦波として再現されない。位相シフト法では位相値を算出する際に、受光時に歪みのない正弦波が再現されることを前提としているため、この歪みは計測精度に影響を与える。そのため上記を考慮した補正が必要となる。

本研究では、図1に示す実験装置を用いて、計



図1 実験装置

Improving measurement accuracy by correcting projecting pattern.

[†] TSUKASA Kato, RYO Taguchi, TAIZO Umezaki; Nagoya Institute of Technology

[‡] MASAHIRO Hoguro; Chubu University

測環境を構築した。実験装置は市販のプロジェクタ、カメラ、撮影画像処理用のコンピュータから構成されている。

2 課題

位相シフト法により距離値を算出するにはプロジェクタから投影される輝度値の変化とカメラで得た撮影画像の輝度値の変化の間に線形性が仮定できなくてはならない。しかしながら、市販のプロジェクタなどでは視認性向上のために輝度値の補正がなされているため、線形性を仮定できない場合がある。そのような場合に三次元形状計測結果は図2(a)のように周期性のある異常な形状となる。図3にプロジェクタに入力した輝度値と撮影画像上での輝度値をともに輝度振幅と背景輝度を0-1に正規化して示す。両者の間に線形性が保たれている場合、両者の輝度値の変化は一致するが図3に示した例では一致していないことは明らかである。このことから撮影画像とプロジェクタ入力輝度値の変化に線形性がないと言える。

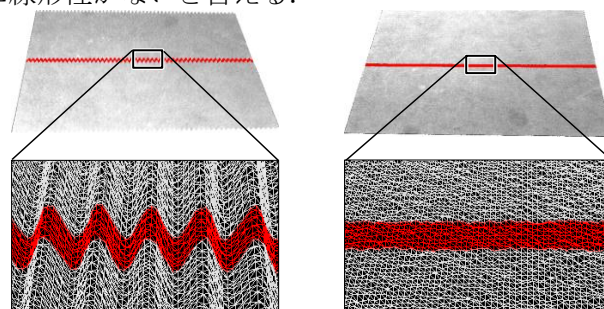


図2 異常な形状例

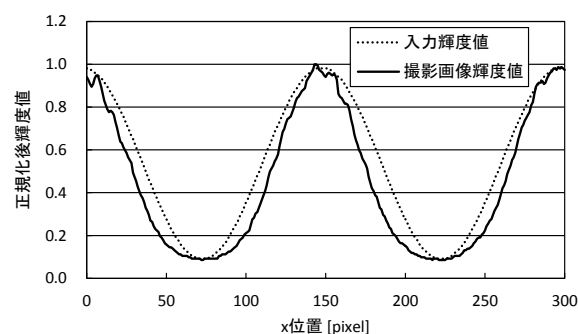


図3 撮影画像とプロジェクタ入力輝度値比較

2 提案手法

2.1 従来研究 線形性が仮定可能な輝度値の範囲のみを使用する手法、投影・撮影画像の輝度値変換テーブルを利用する手法や格子画像の位相解析を行う手法が提案されているが、ダイナミックレンジが狭くなることや後処理として補正するために処理時間が増加するなどの課題がある。本稿ではこれらの問題を生じずに補正できる手法を提案する。

2.2 提案手法概略 グレイコードパターンを利用してプロジェクタ画素とカメラ画素のマッピングを行う。正弦波縞パターンをプロジェクタから投影し、マップ情報から撮影画像の各画素の座標と正弦波縞パターンの同座標における画素の輝度値の誤差を求めて、正弦波縞パターンにフィードバックすることを繰り返し最適化することで補正を行う。

3 補正実験

提案手法を用いた補正実験を行う。フィードバックを 150[回]繰り返して補正した。図 4 に繰り返し回数が 0, 30, 150[回]における撮影画像輝度値と理想値の周波数特性を示す。平板を 0.1[mm]ピッチで移動しつつ計測を行い、近似平面からの平均二乗誤差で評価した。距離値の算出には計測開始と終了位置での位相値を基準とした。結果を図 5 に示す。

図 4 の理想値の周波数特性では赤線で示した空間周波数においてはピークが観察できないが、誤差が収束していない繰り返し回数の周波数特性では同じ空間周波数でピークが存在している。このスペクトルは正弦波の歪みを示していると考えられる。このピークは補正前に比べて補正

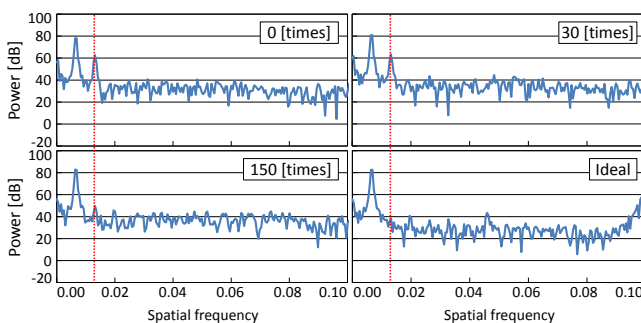


図 4 各繰り返し回数における周波数特性

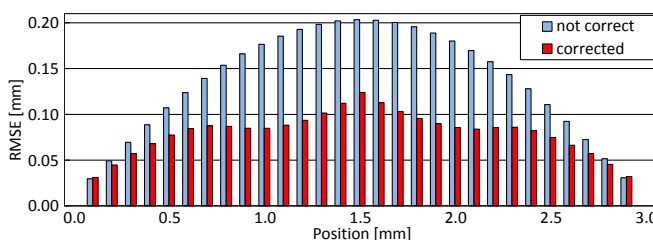


図 5 補正による精度向上

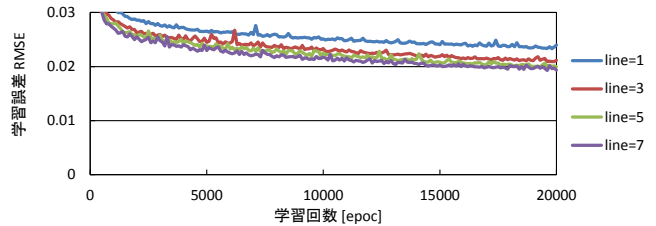


図 6 学習誤差曲線

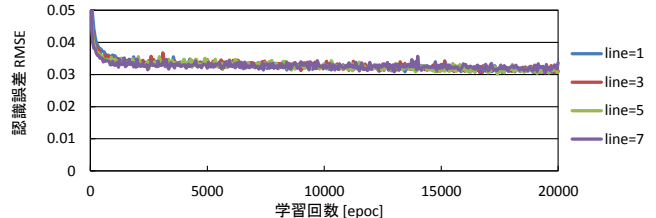


図 7 認識誤差曲線

後(150[回])では大きく減退しており本手法により正弦波縞パターンが補正されている。また、図 5 から計測誤差は最大 47[%], 平均 30[%]低下しており、本手法で計測精度の向上が可能である。

3.1 ニューラルネットワークによるモデル化 150[回]ものフィードバックが必要であるため、補正パターンを得るまでに長時間が必要となる。そこで三層型ニューラルネットワークを用いて未補正パターン投影時の撮影画像から補正パターンを取得する実験を実施した。学習データには未補正パターン投影時の撮影画像を入力画像として、補正パターンを教師画像として用いた。ニューラルネットワークは入力層 $73 \times n$, 出力層 73, 中間層 256 ユニット, シグモイド係数 7.0 として構築した。入力信号として撮影画像のある y 座標において x 軸方向に輝度値を抽出した値を利用した。また、抽出する y 座標を中心にして上下 $(n-1)/2$ [pixel] 分の画素値を同時に抽出して学習に利用した。

学習および認識結果を図 6 および図 7 に示す。 $n=7$ において最も収束している。しかしながら、早い学習回数から収束しているため、効率的な学習ができていないと考えられ、学習データの多様性が少ないためであると考察できる。

4 まとめ

位相シフト法で用いる正弦波縞パターンの輝度補正手法について提案した。本手法により正弦波縞パターンの歪み補正、計測誤差の減少が確認できた。また、ニューラルネットワークを用いたモデル化の検討をした。学習・認識実験ともに誤差は収束することを示せた。しかし、認識誤差は学習回数 1000[epoc]程度で収束しているため、今後は周辺環境変動などを学習することで、より効果的なモデル化手法を検討したい。

文献

(1) 森本. 他: 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.SIG5 (2006)