

# 顕微鏡動画像からのマイクロ形状再構成 — 観察面の光軸方向への移動推定方法の提案 —

静岡大学 萬立洋次郎 白杵深 三浦憲二郎

Micro shape reconstruction based on a microscopic video sequence  
-Axial displacement estimation of microscopic view-  
Shizuoka University: Yojiro MANDACHI, Shin USUKI, Kenjiro T. MIURA

An optical microscope is available at low cost, and expected to be used for 3D geometric measurement of micro structures. Conventionally, we reconstruct a 3D shape from a focalstack. In this study, we reconstruct it from a microscopic video sequence. For this purpose, it needs to estimate the axial displacement of a microscopic view. A microscopy is an orthographic optical system, and a scale variation doesn't occur under such axial displacement, different from other optical systems. Hence we propose an axial displacement estimation method of microscopic view using intensity variations in a video sequence, and reconstruct a 3D micro structure.

## 1. はじめに

従来、微細な工業製品や精密部品の生産現場においては、寸法や欠陥等を対象とするインラインの外観検査が行われてきた。近年は、計算機性能や CAD/CAM/CAE の発展に伴い、ナノ・マイクロ分野においても三次元形状を高速に計測し、インラインで形状モデルを構築する技術に注目が集まっている[1]。例えば、走査型電子顕微鏡やプローブ顕微鏡、共焦点レーザ走査顕微鏡を用いることで、ナノ・マイクロ三次元形状測定は可能であるが、蒸着、真空環境、三次元スポット走査等が必要とされ、測定時間やコスト等の観点から実用的なインライン検査装置としての導入は困難である。そこで、我々は比較的低コストで導入可能な光学顕微鏡に注目した。光学顕微鏡は、光学結像による二次元並列高速計測、非破壊性など様々な利点を有し、幅広い分野で利用されている。一方で、高倍率化・高解像度化に伴う観察視野の縮小や、被写界深度の浅さといった問題点もある。これにより、三次元構造を有する物体の高解像度での観察が困難であった。

そこで、先行研究として特徴点追跡による移動量推定をもちいたモザイクングと、輝度の局所分散値を利用した合焦位置推定をおこない、観察視野および被写界深度の拡張を試みた[2]。本研究では、それらを三次元形状の高速再構成に利用することを考える。顕微鏡画像からの再構成手法としては、焦点系列画像中で合焦位置推定をおこなう SFF (Shape From Focus [3]) が知られている。ただし、動画像から再構成をおこなうには、観察面の光軸方向への移動量・移動方向を推定する必要がある。通常のカメラ光学系であれば、観察面からの距離に応じてスケールの変化が起こるため、これを検出することで観察面の移動を推定することが可能である。しかし、光学顕微鏡は正投影の光学系であるため、そのようなスケールの変化は生じない。そこで、本研究では動画像中の輝度変化から観察面の光軸方向への移動を推定する方法を提案する。

## 2. 観察面の光軸方向への移動推定方法

観察面が光軸方向に移動する際、各点の焦点ぼけの度合いが変化し、それに応じて輝度の変化が生じる。これを利用し、フレーム間の画素ごとの輝度差から光軸方向の移動量を検出することを考える。また、前のフレームとの輝度差と、さらに前のフレームとの輝度差を比較することで、折り返しの検出をおこない、移動方向を推定する。例えば図1のように、5フレーム前との輝度差よりも10フレーム前との輝度差の方が小さければ折り返しがあったと判別する。

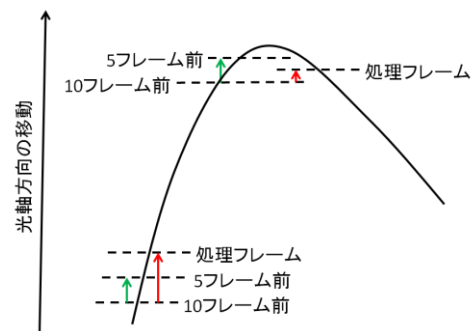


図1 輝度差による折り返しの検出

## 3. サンプル画像をもちいた光軸方向移動推定

図2に示す2次元画像とハイトマップとに対応した3次元構造を想定し、焦点ずれに応じたぼけカーネルを畳み込むことで、図3のように擬似的なりフォーカス画像を作成した。リフォーカス画像をもちいて、観察面が光軸方向に単振動するような動画像を作成し、提案手法のサンプルシミュレーションをおこなった。推定された光軸方向の移動量を示すグラフを図4に示す。光軸方向の移動量とフレーム間の輝度差との間に相関があることが確認できる。また、提案手法をもちいて折り返しの検出が可能であることを確認した。



図2 シミュレーションサンプルの3次元構造に対応した2次元画像(左)とハイトマップ(右)



図3 擬似的に作成したリフォーカス画像

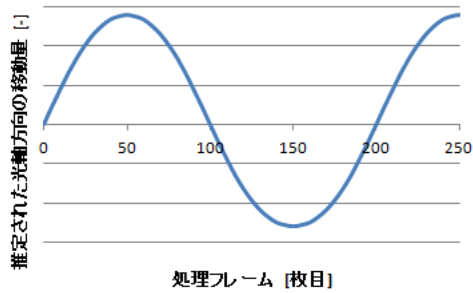


図4 サンプルでの光軸方向移動推定結果

#### 4. 実動画への適用

光学顕微鏡をもちいて得られた実際の動画像に提案手法を適用した。計測対象は回路基板上の電子部品とし、撮影条件は、顕微鏡観察倍率: 2倍, 解像度: 720×480 pixel, 動画フレーム数: 442とした。動画フレームの例を図5に示す。動画中の150フレーム目, 250フレーム目でそれぞれ折り返しを入れている。

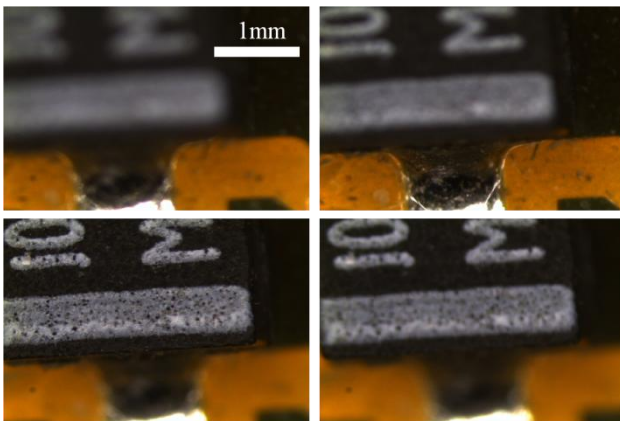


図5 動画フレームの例

推定された光軸方向の移動量を示すグラフを図6に示す。150フレーム目, 250フレーム目で折り返しを検出できていることがわかる。ただし, 推定された移動量は相対値である。そのため, 実際の計測においては, あらかじめ高さが既知な段差スケール等をもちいてキャリブレーションをしておく必要がある。また, 折り返し検出の際に何フレーム前との輝度差をとるかや, データの平滑化の度合いなどのパラメータの調整が必要である。移動量の推定結果から再構成されたハイトマップと三次元点群を図7に示す。なお, ノイズ除去のため, 三次元点群生成前にハイトマップに15×15のメディアンフィルタによる平滑化を施している。

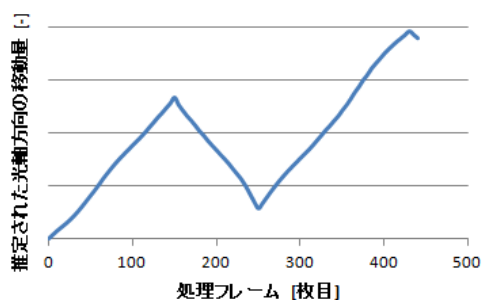


図6 実画像での光軸方向移動推定結果

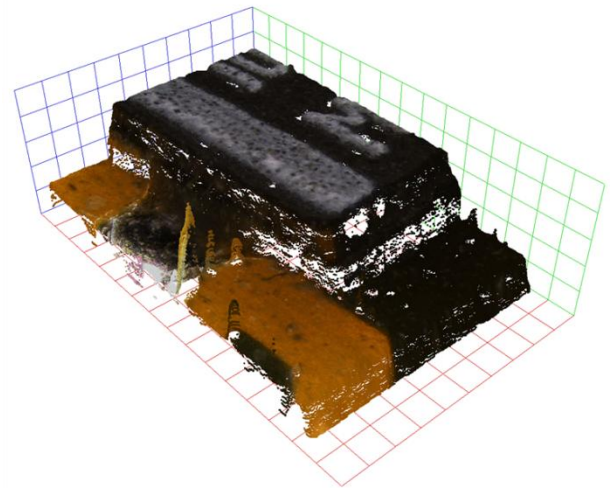
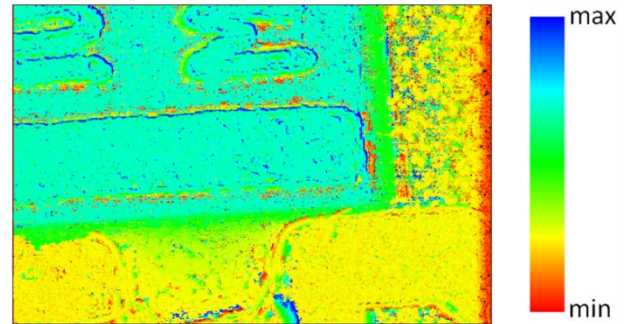


図7 動画像から再構成された電子部品のハイトマップ (上) と三次元点群 (下)

#### 5. まとめ

光学顕微鏡から得られた動画像に対して, フレーム間の輝度差から観察面の光軸方向への移動量・移動方向を推定する方法を提案した。シミュレーションサンプルと実際の顕微鏡動画像に提案手法を適用し, 折り返しの検出と相対的な移動量の推定が可能であることを確認した。さらに, 得られた推定結果をもちいてマイクロ形状の三次元再構成をおこなった。展望として, モーションブラーによる誤差への対応や, 4節で述べたパラメータの自動決定, 水平面内の移動も含んだ動画像からの再構成, 精度の定量評価などが挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 三浦憲二郎, 河内陽介, 臼杵深, 3D 顕微鏡計測データを用いたナノ・マイクロ形状モデリング: *ModelingNano*, 2011年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp. 113-134, 2011.
- [2] 臼杵深, 萬立洋次郎, 三浦憲二郎, 顕微鏡動画像の広域合焦位置推定による三次元形状再構成, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp. 287-288, 2012.
- [3] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, Shape from Focus: An Effective Approach for Rough Surfaces, *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp 218-225, 1990.