

3D-shape measurement technique using a wavelength-changing interferometer which is not affected by hard hot-air blowing

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/45471

激しい空気擾乱にも影響されない波長変更干渉計による3次元形状計測法

金沢大学 理工研究域 安達正明

3D-shape measurement technique using wavelength-changed many speckle interferograms
which is not affected by hard hot-air blowing

Kanazawa University, Institute of Science and Engineering, Masaaki ADACHI

We are studying a 3D-shape measurement technique using wavelength-changed many speckle interferograms captured under hard air disturbance. In our technique, phase-shifts are extracted using twice normalizations of interference-light intensity changes, and a Least-squares algorithm has been used to extract phase distribution in each wavelength. But hard hot-air blowing makes air disturbance different between local parts in a measured area and makes our old algorithm not work. Then, the measurement area is divided to many local parts in virtual. The phase-shifts are extracted at each part and are used to calculate phase distribution. Finally, height distributions in all parts are calculated from phase distributions at 7 different light wavelengths.

Keyword: 3D shape, speckle, phase extraction, wavelength change

I. 研究目的

カメラと同じ方向から光を出す3次元形状計測法として波長可変レーザを用いる手法を取り上げ¹⁾, 工場環境下で用いる場合を想定し, 激しい空気擾乱下でも使える手法へと改良している。

基礎にするのは, ランダムな位相シフト下で取り込む多数枚のスペックルグラムから画面内の位相分布を最小二乗法²⁾で抽出する方法である。しかし空気擾乱が激しくなると, 測定面内の局所域間で位相シフト変化が異なり, 全体を同一のシフト変化と見なせないことが分かった。そのような擾乱下でも形状を精度良く計測できる手法の開発を研究目的とした。

II. 3次元形状計測の原理

波長変更を用いた反射面までの距離計測では, 線形的波長走査時の光強度変化周波数を抽出する方法³⁾や, その正の周波数スペクトル成分の逆フーリエ変換で得られる位相をアンラップする方法⁴⁾などが知られる。しかし, 空気擾乱下では, 光強度は擾乱にあまりに敏感なので, それらは使えなくなる。

我々は図1に示す光学系を用いて, 一般的な空気擾乱を想定してPZTミラーで光路差をランダムに変調し, 干渉位相が画像取込毎に 2π 以上も含むように変動させる状況下で干渉画像を多数枚取込んだ。そして画像内の位相の異なる2画素での光強度変化に関して2回規格化⁵⁾を用いて, 取り込み順のランダム位相シフト量を抽出し(ランダム位相シフト変化を図2(a)に示す), この位相シフト量変化と光強度変化から, 最小二乗法²⁾で最初の1枚目の干渉像に対する画素毎の位相を求めた。

レーザ波長を778.19, 778.21, 778.25, 778.36, 778.61, 779.14, 780.28nmと7段階変え, 各波長で位相シフト変化から位相を計算して, その後6種の等価波長別の位相差マップ(図3)を得る。最も長い等価波長のマップから次に長い等価波長のマップをアンラップし, より短い等価波長へとマップのアンラップを繰り返して形状計算する。この方法で百円硬貨と5mm高さの三角柱に関して図2(b)に示すような3次元形状をこれまで計算してきた。

III. 激しい空気擾乱下での形状計測の実験

しかし, 工場等の作業環境下では各種の振動に加えてさらに激しい空気擾乱が存在すると言われる。光軸と垂直方向の振動に関しては次の発表機会に譲り, ここでは極めて大きな空気擾乱のみを想定し, 干渉計近くにホットドライヤーを持ち込み測定対象から20cm離れた位置から高温空気を一様な傾斜を持つアルミ合金の粗面上に吹きながら, 3次元形状計測を試みた。試みる中で, シャッター時間は短い方が良く0.117ms, 光量が落ちるので1眼レフレンズの絞りは3.5, 画像は12bitで512×512画素, 7種の波長毎に36枚の計252枚を10枚/秒で取り込むことになった。

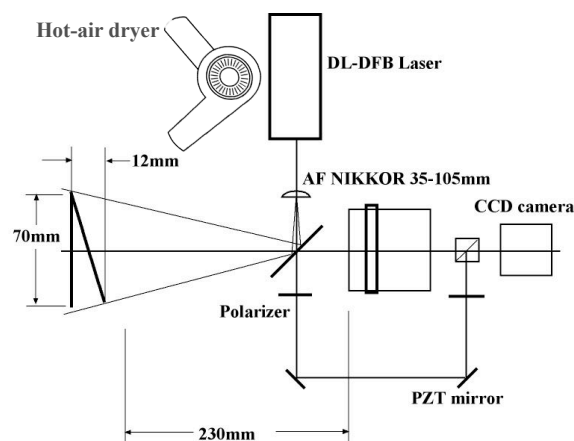


図1 実験に用いたスペックル干渉計。対物レンズは1眼レフ用ズームカメラレンズ, Laserは778~780nmで波長可変, 測定対象はアルミ合金の粗面板。干渉像取得中の空気擾乱を模す不規則振動はPCで発生させた乱数をPZTミラーにアナログ出力したり, 高温ドライヤー風で発生させた

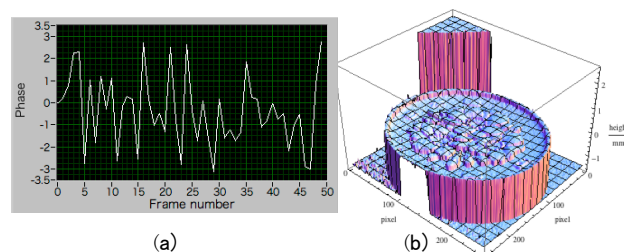


図2(a)ランダム位相シフト量の抽出結果 高さの異なる大きな光強度変動を持つ2点の画素を選び, それらの光強度の最大値と最小値探索と2回規格化を用いて位相シフト量を抽出した結果。(b) 7種の波長で位相分布を抽出し, 波長変更に伴う位相差変化から高さを計算した。百円硬貨と5mmの三角柱を同時測定した結果

IV. 測定結果

これまでの穏やかな空気擾乱(位相シフトが測定視野内で一定となる状態)で波長を変えながら干渉画像を取込み, 6種の等価波長別の位相差マップを計算(5x5画素で平均)した結果を図3に示す。次にホットドライヤー(800W)をONにして同様に取込み位相差マップを計算した結果を図4に示す。図4では位相シフトが測定面の場所によって違うことを無視して計算したため位相が正しく抽出できていない。これにかまわずに繰り返しアンラップで3次元形状計算したところ, 傾斜面らしい特徴は一部に出るが全域の測定は不可能だった。しかし, 測定範囲を局所に絞ると位相シフト変化を正しく抽出できた。空気擾乱が一様さを保つ横方向範囲内に局所サイズを採れば良いらしい。測定面を60×60画素の局所域に分けその中では位相シフトは一定として, 各波長で取込

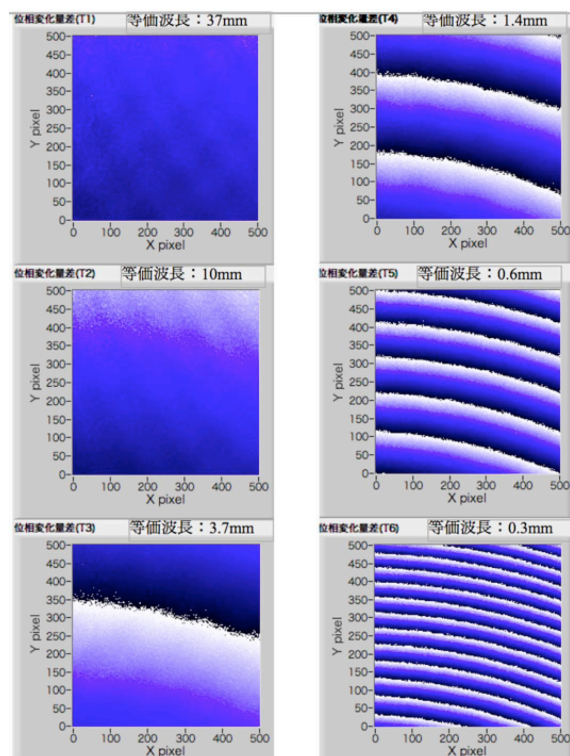


図3 傾斜したアルミ粗面を3次元測定する時の等価波長別の位相差マップ。外部からの擾乱として最大振幅 $5\mu\text{m}$ のPZT振動で光路差を変化させた。視野は $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ で等価波長を各図の右上に示す

む1枚目の位相を計算し、それから3次元形状を計算してみた。その結果を図5に示す。新たな問題は局所域での位相シフトの符号の不一致であった。位相シフトの符号は2回規格化で使われる2画素の高さの差の正負に依存する。擾乱下では、ピエゾを瞬間的に伸ばしてもピエゾによる光強度変化が擾乱でかき消され、高さの方向は判別できない。故に局所域間で高さの符号が異なった。図5の結果を改善する方法として、隣り合う局所域間でのみ位相シフト変化の符号を合わせた。位相シフトは空気擾乱で発生するため、隣り合う領域の位相シフト変化は絶対値の変化がほぼ同じで合わせやすかった。このようにして全体の符号を統一した結果を図6に示す。局所内の明暗差は高低差で 0.2mm に相当する。

V. 結論

激しい空気擾乱下でのカメラ方向からの3次元形状計測法に関して実験を行った。空気擾乱としてドライヤーを持ち込み測定対象から 20cm 離して測定面に高温風を吹き付け、この状態で得られる干渉像をこれまでに開発してきた方法を改良して適用し、各局所域で形状計算する方法にたどり着いた。今後は、この局所高さを横方向につなぎ合わせる事や、つなぎ合わせる時に時間平均情報から瞬間的な高さ違いを補正することも考えている。

本研究は科学研究費補助金(24560289)による成果である。

参考文献

- 1) 安達, 佐々木, 振動環境下での波長走査を用いた電子基板の3次元形状測定法, 2014年度精密工学会春季大会講演論文集111(2014)
- 2) G.Lai, T.Yatagai, Generalized phase-shifting interferometry, J.Opt.Soc.Am.A, **8**, 822 (1991).
- 3) S.Kuwamura, I.Yamaguchi, Wavelength scanning profilometry for real-time surface shape measurement, Appl.Opt., **36**,4473 (1997)
- 4) M.Takeda, H.Yamamoto, Fourier-transform speckle profilometry: three-dimensional shape measurement of diffuse objects with large height steps and/or spatially isolated surfaces, Appl.Opt., **33**,7829 (1994)
- 5) M.Adachi, S.Sunada, Phase-shift extraction from twice-normalized light intensity changes recorded with random phase shifts, Optical Review, **21**,522(2014)

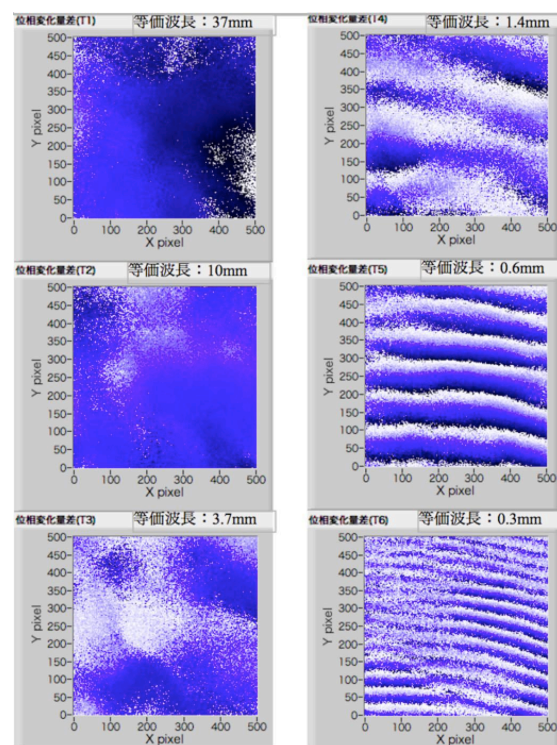


図4 ホットドライヤーを持ち込み、極めて激しい空気擾乱を発生させて、撮影したアルミ粗面の等価波長別の位相差マップ。視野は $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ で等価波長を各図の右上に示す。正しく抽出できていない

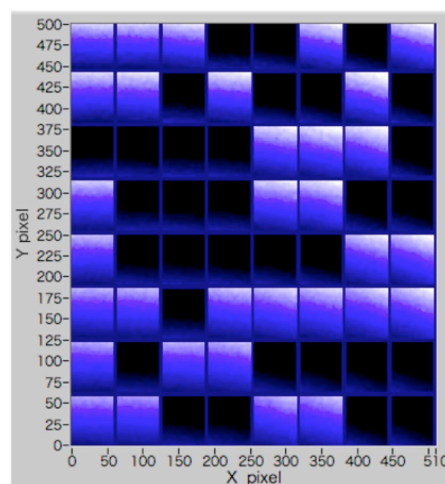


図5 60×60 画素の局所域に分けてデータを処理して計算した3次元形状。局所域内での高低差は 0.2mm 。局所での高さの符号がバラバラである

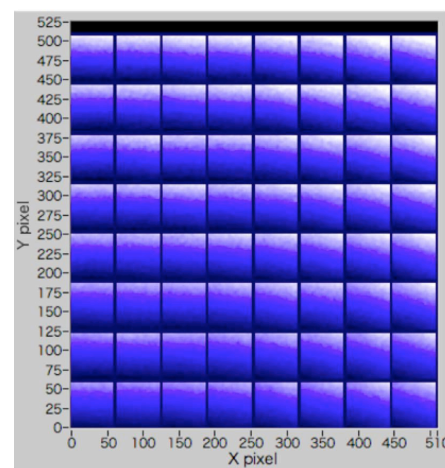


図6 60×60 画素の局所域に分けてデータを処理し高さの符号を隣同士の局所域間で合わせて得た3次元形状。局所域内での高低差は 0.2mm 。視野は $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 。局所域内での形状は擾乱下での位相乱れの影響を受けている