

デジタルホログラフィと回転変換による物体面の角度と位置の同時計測

Simultaneous measurement of angle and depth of object surfaces by using digital holography and rotational transformation

○岩村俊哉, 梅原英明, 松島恭治

○Shunya Iwamura, Hideaki Umehara and Kyoji Matsushima

関西大学 電気電子情報学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

E-mail: iwamura@laser.ee.kansai-u.ac.jp

The reconstruction plane, in which reconstructed images are obtained, can be moved by numerical propagating the captured wave fields in digital holography. Therefore, the depth of the object can be measured by detecting the focus of the reconstructed image. The angles of object surfaces are also measured by the focus detection and rotational transformation of wave field, which can rotate the reconstruction plane.

1. はじめに

デジタルホログラフィで得られる再生像は、振幅と位相の情報を含んでおり、視点移動¹⁾や合焦深さの変更などの様々なデジタル信号処理が可能である。また、合焦検出の手法を用いることにより、一つの画像内の様々な位置で物体の奥行き深さを計測することも可能である²⁾。回転変換を用いると、傾いた平面の再生像であっても隅々まで合焦した像を得ることもできる³⁾。そのため、回転変換に合焦検出の手法を用いることにより未知の角度の物体の傾き角を計測することができる。そこで本稿では、振幅値の分散を用いた合焦検出により、奥行き深さと傾き角を同時に計測した結果について報告する。

2. 原理と実験方法

本実験では、Fig.1 に示すように球面波を参照光とする位相シフトレンズレスフーリエ光学系を用いて干渉縞の記録を行った。フーリエ変換で得た再生像において、まずはじめに位置・角度の計測を行う $m \times n$ [pixel] の範囲を決定し、その範囲の物体面の奥行き位置を求める。これは記録した光波を z 軸方向に数値伝播させることにより、再生像が得られる再生面を移動し、上述の測定範囲内でその振幅再生像の分散値を求めることにより行った。再生面が物体面と重なるとき、最も鮮明な再生像となり、分散値が最大となるため、伝播距離から物体面とセンサ面との距離が得られる。次に、求めた物体面位置上の光波について Fig.2 に示すように回転変換を行う。回転変換により再生面が回転し、物体面と一致した時に最も鮮明な再生像が得られる。そのため、奥行き位置計測時と同様に測定範囲内の分散を計算することにより、分散値が最大となる回転角 θ がセンサ面に対する物体面の角度となる。なお、回転変換の方向は、各軸に対し右ネジの方向を+方向とし、以下の実験を行った。なお、本実験では 1[deg]刻みの回転角 θ で回転変換を行った。

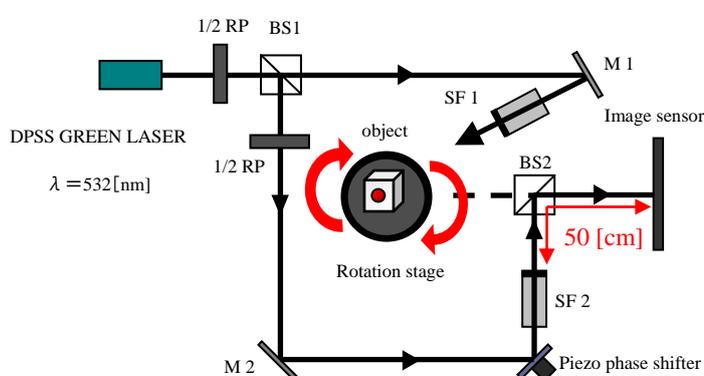


Fig.1 Experimental setup.

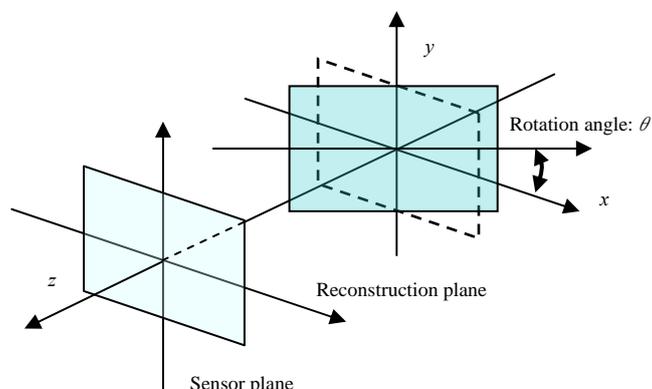


Fig.2 Rotational transformation.

3. 実験結果

まず4x4 [cm]の平面パターンを撮影物体とし、それを回転ステージを用いてy軸周りに角度 φ だけ回転させて干渉縞を取得した。ここで φ の範囲は $-85 \leq \varphi \leq 85$ [deg]とした。このときの回転変換前の再生像を図3 (a)に示す。これらは記録光波の中心に分散値の測定範囲を設定し、奥行き方向に数値伝播計算を行い、最も分散値が高かったときの再生像である。このとき得られた伝播距離から求まる奥行き位置は物体の実際の位置とほぼ一致していた。次にこれらの光波に回転変換を行い、分散値が最も高くなったときの再生像をFig.3 (b)に示す。またこの時、回転変換の回転角 θ に対する分散値の変化をFig.4に示す。これらの結果から、傾いた面であっても回転変換により正面から記録したような再生像が得られることがわかる。次に、様々な物体の物体回転角 φ に対して分散値が最大となる回転変換の回転角 θ を求めた結果をFig.5に示す。この結果から、 $-50 \leq \theta \leq 85$ [deg]の範囲ではほぼ正確な結果であった。 $\theta \leq -50$ [deg]では大きな誤差が生じているが、これは光学系の配置上、物体に照明光が当たりにくかったためと思われる。

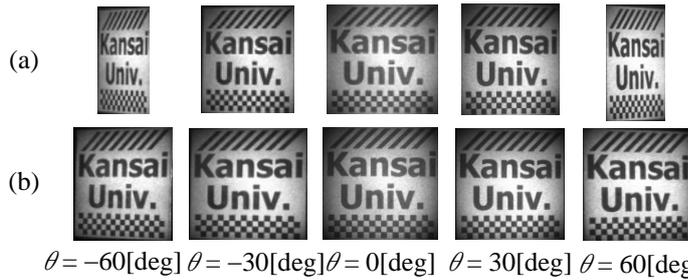


Fig. 3 Numerical reconstruction of captured field before (a) and after (b) rotational transformation.

次に分散値の測定範囲の影響についての実験結果を示す。ここでは白い枠を描いた黒色の平面物体(4x4 [cm])を60[deg]傾けて設置し、測定範囲を変えて位置・角度計測を行った。測定範囲として $n \times n$ [pixel] ($10 \leq n \leq 500$ [pixel])の正方領域を用い、その中心を白枠の中心とした。この結果をFig.7に示す。 $n = 60$ [pixel]までは角度の計測ができていないことがわかる。また $n = 60 \sim 150$ [pixel]辺りまでは計測結果が安定しないため、この実験では150 [pixel]以上のサイズが必要であった。

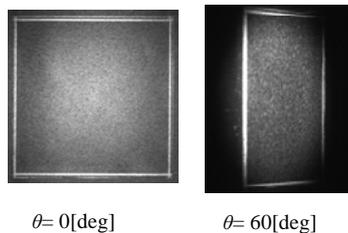


Fig. 6 Numerical reconstruction of open square object .

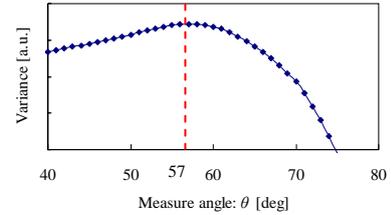


Fig.4 Variance curve for angle θ .

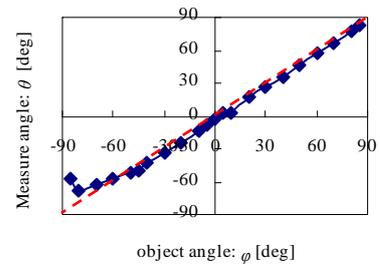


Fig. 5 Measured angle of object surface.

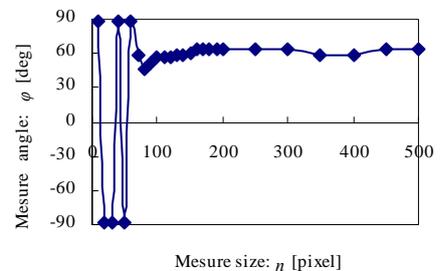


Fig.7 Dependences of measurement size.

4. まとめ

以上の結果から、回転変換を用いることで、物体面の傾き角を測定できることが確認できたが、そのためには分散値の測定範囲はある程度の大きさが必要であった。よって現段階では曲面や複雑な形状の物体面の位置・角度計測は困難であると考えられる。今後の課題として、振幅分散値以外の合焦検出法を用い、より小さな面積での位置・角度計測の実現を目指す。

参考文献

- 1) Tatsuya Nakatsuji, "Free-viewpoint images of occluded objects captured using phase-shifting synthetic aperture digital holography." Appl. Opt. **47**, D136-D143(2008).
- 2) C. P. McElhinney and J. B. McDnald, "Depth-independent segmentation of macroscopic three-dimensional objects encoded in single perspectives of digital holograms," Opt. Lett. **32**, pp.1229-1230 (2007).
- 3) K. Matsushima, "Formulation of the rotational transformation of wave fields and their application to digital holography," Apple. Opt. **47**, D110-D116 (2008).