C 2 1 8 デジタルホログラフィによる飛行物体の姿勢計測

森川 敏英[○](京工繊大院), 村田 滋(京工繊大)

Orientation measurement of flying objects
based on digital holography
Toshihide MORIKAWA and Shigeru MURATA

ABSTRACT

This paper presents the measurement method of detecting orientation of flying objects based on digital holography. Using the in-line observation system with an electronic camera in this paper, the 3D volume of light intensity is numerically reconstructed from the digital hologram captured on this system. The orientation is measured from the object positions detected using the information of the gray level gradient higher than a certain threshold, and then the translation and rotation of flying object are detected from a time-series of digital holograms. In numerical simulation, representing the object of rod as discrete and small parts linked in line, it is found from the simulation results that the RMS error is evaluated to be 0.1mm. The accuracy of the present method is visually demonstrated by comparing true position with detected one.

Keywords: Digital holography, Orientation measurement, Gray level gradient

1. はじめに

近年、レーザ光の可干渉性を利用したホログラフィ法の一つであるデジタルホログラフィを用いた測定法が注目されている。これは3次元空間に広く分布する粒子群の個々の粒子を対象にする場合には極めて有利であり、一般の画像処理計測と同様、像として対象物が再生されるため、様々な形状のものにも適用出来る。

本報では噴流中における繊維の飛行姿勢や切削油中の金属切り屑の挙動等、微小な非球形物体の3次元空間における飛行物体の姿勢計測をデジタルホログラフィで行う為のアルゴリズムを検討し、数値シミュレーションによる飛行姿勢の精度評価について報告する。

2. 計測法

観測系として、物体光と参照光が同方向から入射する点で設置が比較的簡単なインライン型を用いる。ホログラム面に対し平行ではない物体があり、そのホログラムパターンから数値像再生を行う模式図を図1に示す。また、 $z=z_1 \sim z_3$ で物体が結像している部分を $a \sim c$ で示す。観測したデジタルホログラムから再生像を求める際、再生光強度を Fresnel の回折式⁽¹⁾を用いて数値的に計算する。物体が存在する位置では像は影となるので光強度が低くなり局部的に結像する。物体像の結像する各部分の奥行き位置が分かれば、その物体の3次元空間位置を捉える事ができる。本手法では Sobel オペレータ⁽²⁾による画像濃度勾配値を利用した奥行き位置測定を行う。

Fig.1 Image reconstruction in digital holography.

Fig.2 Reconstructed and processed images at two different z-coordinates.

まず、再生像である画像総ての画素位置において濃度勾配値を奥行き方向に調べる。その際、背景雑音の影響を小さくし、また奥行き位置候補領域を限定するためにある光強度の閾値以上の部分を背景と同じ光強度とし、物体の一部が結像している付近の光強度の低い部分の光強度はそのまま用いる。例として図1の $z=z_1$ 及び z_3 での再生像を図2上段に示し、処理した像を図2下段(a), (b)に示す。

次に、a,b,c点での奥行き方向の濃度勾配変化を求める。と図3のように示される。

Fig.3 Gray level gradient along z-coordinate.

図3より、物体の各部は真の奥行き位置で結像するため、その付近で光強度勾配値が高くなる。更に、物体の奥行き位置候補域を限定するために、ある閾値 G_t 以下の濃度勾配値で検出された奥行き位置は無視し、 G_t 以上の部分で平均をとることにより各部の奥行き位置が求まる。平均をとる際、物体面内位置は精度良く求まるので、求めたそれぞれの面内位置について奥行き位置を検出する。数値処理上、対象物体は離散的な微小部分の集まりとして表現しているため、微小部分それぞれの中心位置と検出した位置を比較することにより平均自乗誤差を算出した。

3. 数値シミュレーション

数値シミュレーションでは直径および飛行姿勢の異なる棒状物体のシミュレーションモデルを用いて飛行姿勢の測定精度を評価した。基本モデルを図4に示す。長さ r の棒状物体を $\xi-d$ 面内に ϕ 傾け、 $\xi-\eta$ 面内に θ たてたものの中心位置を $O'(\xi', \eta', d')$ とすることで棒状物体の姿勢を定義することができる。ホログラムの中心 $(\xi, \eta) = (256, 256)$ pixel に $r = 1.48$ mm の棒を $\theta = 0$ に固定し、 ϕ を $0 \sim 180^\circ$ まで 20° 毎大きくしたものをモデル1、 r は同じで $\phi = 60^\circ$ に固定し、 θ を $0 \sim 100^\circ$ まで 20° 毎大きくしたものをモデル2とし、それぞれの検出結果を図5および図6に示す。ここで $1\text{pixel} = 0.0074\text{mm}$ とし、ホログラムの構成画素数を 512×512 pixel とする。図5、図6の色彩変化は奥行き位置の変化に相当するので、検出値と真値との飛行姿勢に大きな差は見られない。数値的にもモデル1およびモデル2の奥行きRMS誤差平均

はそれぞれ 0.14mm 、 0.098mm であり、再生像の z 方向再生間隔と同等である。

Fig.4 Model of a straight rod.

(a) Measured (b) True

Fig.5 Orientation of flying object 1.

(a) Measured (b) True

Fig.6 Orientation of flying object 2.

4. おわりに

本研究では、デジタルホログラフィを用いて飛行物体の姿勢を検出するアルゴリズムを開発した。その結果、奥行き位置 RMS 誤差が 0.1mm 程度で検出できることを示した。本研究は財団法人三豊科学技術振興協会研究助成により実施された。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Murata, S. et al., Proc. Of International Conference on Multiphase Flow 2004 (CD-ROM), Paper No. 136 (2004)
- 2) Murata, S. et al., Optics & Laser Tech., Vol. 32 (2000), 567.