

第11回光学シンポジウム

ヤング縞の位相検出と高感度センシング
への応用

中楯 末三

理化学研究所光学計測研究室

〒351-01 和光市広沢 2-1

ヤング縞は光学ではきわめて基礎的で単純な干渉縞であるが、このヤング縞の方向と間隔を測定することにより種々の計測を行なうことができる。スペックル写真法ではヤング縞の間隔から物体移動量が測定される¹⁾。一方、光ファイバを用いたセンサーは、その特徴を生かした種々のセンサーが提案されている²⁾。Hocker は、単一モード光ファイバを2本束ね、それから出射したレーザー光によりヤング縞を形成しその横移動を検出することにより、物理量の変化量、たとえば温度や圧力を計測するセンサーを検討した³⁾。しかし、ヤング縞の位相の一般的検出方法や測定精度などの提案や議論がなされていなかった。

本報告では、ヤング縞の位相(横移動量)をフーリエ積分の逆正接から求めることを提案し、その誤差解析について述べる。

ヤング縞は縞の空間周波数を f_0 とし、縞の位相を ϕ とすると次のように書ける。

$$I(x) = W(x) \{1 + \cos(2\pi f_0 x - \phi)\} \quad (1)$$

ここで $W(x)$ はヤング縞全体にかかる窓関数であり、この関数によりデータの検出領域や縞の形状が決定される。簡単のために窓関数は位置 x に対して0から1までの範囲に値があり、それ以外の領域では0であるとす。つぎにこのヤング縞に対して次式のようにフーリエ積分を計算する。

$$C = \int_{-\infty}^{\infty} I(x) \cos(2\pi f_0 x) dx \quad (2)$$

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} I(x) \sin(2\pi f_0 x) dx \quad (3)$$

実際には、窓関数により(2)および(3)式の積分領域は0から1である。このフーリエ積分値 C, S を用いて次式の逆正接を計算すると、位相 ϕ' が求められる。

$$\phi' = \tan^{-1}(S/C) \quad (4)$$

しかし、ヤング縞の周波数を求めるときに誤差を含み、また積分領域も制限されているので真の位相 ϕ からの誤差 $|\phi' - \phi|$ が生ずることになる。(2)、(3)式はヤング縞 $I(x)$ のフーリエ積分であるので、周波数が f_0' の

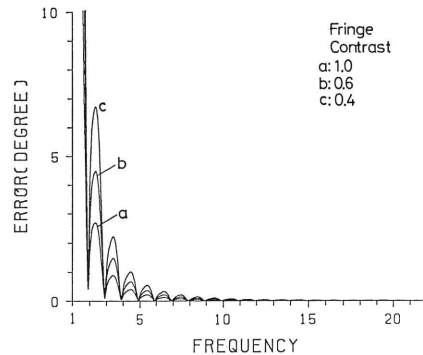


Fig. 1 Maximum phase error for the case of the Hanning window.

ときのフーリエ積分値は、次式のようにフーリエ変換を使って求めることができる。

$$I(f_0') = W(f_0') + (1/2)W(f_0 + f_0') \exp(-i\phi) + (1/2)W(\delta f) \exp(i\phi) \quad (5)$$

ここで、 $I(f)$ は $I(x)$ のフーリエ変換を表す。また、周波数 f_0' はヤング縞の真の周波数 f_0 から δf だけ誤差があることを表す。(5)式の実部と虚部が(2)、(3)式に対応しているため、それらの逆正接から位相 ϕ' が求められる。したがって、真の位相 ϕ との誤差が計算できる。(5)式から明らかなように、ヤング縞の窓関数 W のフーリエ変換の形状が位相誤差に大きく寄与することがわかる。窓関数を Hanning としたときの誤差を Fig. 1 に示した。周波数ずれ δf は 0.1 であり、各曲線 a-c は縞のコントラストがそれぞれ 1.0, 0.6, 0.4 のときの最大誤差を示す。Fig. 1 から縞の周波数が 10 以上では、誤差がきわめて小さくなり 0.1° 以下になることがわかる。これは光の波長 λ に対して、 $\lambda/3,600$ の精度で位相測定ができることを表わしている。

2本のファイバでセンシング用の光路と参照用の光路を作り、2本の光ファイバから出射した光で、ヤング縞をイメージセンサー上に形成し、その位相変化を(2)~(4)式を用いて測定することにより、種々の高感度光センサーを構成することができる。この手法は、高精度干渉法であるヘテロダイナ法や縞走査法にくらべて変調素子や外部回路が不要であり干渉計が簡素化できる。

文 献

- 1) E. Archbold and A. E. Ennos: Opt. Acta, **19** (1972) 253.
- 2) T. G. Giallorenzi, et al.: IEEE J. Quantum Electron., **QE-18** (1982) 626.
- 3) G. B. Hocker: Appl. Opt., **18** (1979) 1445.