位相変調信号との強度相関によるレーザ変位計測

Laser displacement measurement using intensity correlation with phase-modulated signal

農工大工 [1], 国立天文台 [2], °山田 祥規 [1], 根本 昌弥 [1], 田中 洋介 [1], 黒川 隆志 [2,1]

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., NAOJ, °Yoshiki Yamada[1], Masaya Nemoto[1], Yosuke Tanaka[1], Takashi Kurokawa[2,1]
E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

1. はじめに

レーザ光を利用した距離測定、変位測定には、光波の干渉を利用した干渉方式と、パルスや正弦波で強度変調された光の相関信号を利用した非干渉方式がある。干渉方式は、一般に高精度で、波長程度の測定レンジがあるが、外乱の影響も受けやすい。一方、非干渉方式は、外乱による干渉揺らぎの影響はなく、比較的大きな距離範囲の測定に適している。干渉方式の原理を非干渉方式に適用するには、適切な信号送受信系の構築が必要となる。今回、我々が報告する手法は、強度変調された光信号をプローブ光として用い、受信系でも変調器を用いる。その上で、位相変調された信号との強度相関をとり、数 mm～数 cm までの変位を簡素な光学系で、高精度かつ高速に測定する手法を新たに実現したので報告する。

2. 原理と実験

Fig.1 に実験系を示す. 1.5μm 帯の LD からの出射光を $LiNbO_3$ 強度変調器(IM1)により周波数 f_0(910MHz)で強度変調する. 強度変調された光はレンズから出射後、測定対象で反射され、サーキュレータを通って、2 台目の強度変調器(IM2)で更に変調される。ここで IM2 に対しては基本周波数に加えて変調周波数f_mで位相変調を行う。その後、帯域が f_0 よりも狭く f_m よりは広い周波数範囲で光信号を検出することで、光信号と位相変調された信号との強度相関に比例した電流

$$i \propto \mathrm{const} + \cos\left[2\pi f_0 \frac{n\Delta L}{c} + \Phi_m \cos(2\pi f_m t)\right] \tag{1}$$

が得られる. ただし, n:屈折率, Φ_m:変調度, c:真空中の光速である. 式(1)は光源の位相変調を用いる干渉方式の SPM 法[1]と数学的には同じ形をとる。ロックイン検波により、変調周波数f_mおよび 3 倍波成分から変調度Φ_mが求まる。その上で, f_m および 2 倍波成分の比$R_{\Delta L}$から距離差 ΔL が

$$\Delta L = \frac{c}{2\pi n f_0} \tan^{-1}\left[\frac{J_2(\Phi_m)}{J_1(\Phi_m)} R_{\Delta L}\right] \tag{2}$$

と求まる. ただし, J_nは第 1 種ベッセル関数である. 本実験では, コリメータレンズとミラー間の距離 ΔL を 1 mm~10 mm の範囲で変化させ, 各長さについて 100 回ずつ距離測定を行った. Fig.2 に測定結果をまとめる. 標準偏差は10^{-5}~10^{-4}m, 誤差率は最大で 3.5%, データの取得時間は測定 1 回あたりに 400 ms となった. 今後は空間光学系の安定性向上やデータ処理の検討によって更なる高速化を検討する.

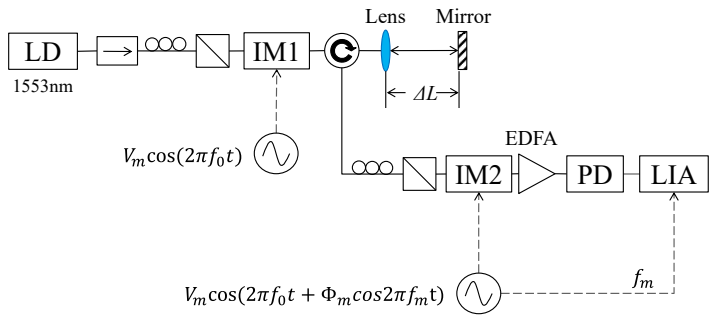

Fig.1 提案する非干渉式変位計測系

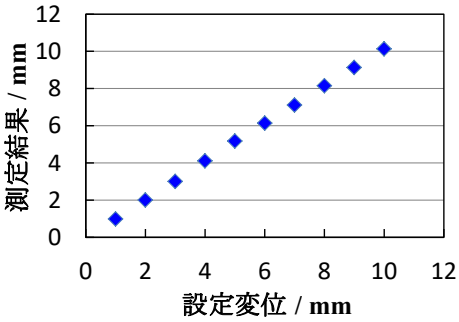

Fig. 2 測定結果

参考文献

[1] O. Sasaki, H. Okazaki,(1986)" Sinusoidal phase modulating interferometry for surface profile measurement" Appl.Opt, vol25, no. 18: 3137 - 3140