

位相変調信号との強度相関による実時間レーザ変位測定

—位相符号情報を用いた測定レンジ拡大

Real-time laser displacement measurement based on intensity correlation with phase-modulated signal
—measurement range extension using phase sign information

農工大工, °新保 寛人, 柏倉 直輝, 田中 洋介

Tokyo Univ. of Agri. & Tech., °Hiroto Shimpō, Naoki Kashiwagura, Yosuke Tanaka

E-mail: tyosuke@cc.tuat.ac.jp

測定対象から反射したプローブ光信号と基準信号との位相差から対象までの距離やその変位を測定するレーザ測距法は、製造現場での製品検査から移動物体の計測まで、様々な場面で利用される。これらの測距法では、より広いレンジにわたり高分解能、高精度、高速な測定が求められる。我々はできるだけ簡素な構成でこれらの要求を満たせるよう、受信部に光変調器を使用して位相変調信号との強度相関をとり、実時間でレーザ変位測定を行う手法を検討してきた。前回の研究では、サンプリング間隔 1 ms で速度 < 5 m/s の対象の変位測定がレンジ 20 mm 以内で可能なことを示した[1]。一方、本手法では測定レンジと測定誤差の間にはトレードオフの関係がある。今回、受信信号の位相符号を利用することで測定精度を維持したままレンジを拡大する手法を考案し、原理確認実験に成功したので報告する。

Fig. 1 に実験系を示す。波長 1550 nm のレーザ光を強度変調器(IM1)により周波数 $f_0 = 910$ MHz で変調し、プローブ光とする。プローブ光は空間に出射後、測定対象のキューブミラーで反射されたのち、偏光ビームスプリッタを介して受信側のファイバ系に結合する。受信側には強度変調器(IM2)があり、基本周波数 $f_0 = 910$ MHz かつ、 $f_m = 100$ kHz で位相変調された信号により、プローブ光が変調される。この光信号を高域遮断周波数 f_c が $f_m < f_c < f_0$ のフォトダイオード(PD)で受信し、信号の f_m 成分と $2f_m$ 成分を同期検波する。これらの大きさは、それぞれ

$$I_1 = \left| \alpha J_1(\Phi_m) \sin \left[4\pi f_0 \frac{n\Delta L}{c} \right] \right|, \quad (1)$$

$$I_2 = \left| \alpha J_2(\Phi_m) \cos \left[4\pi f_0 \frac{n\Delta L}{c} \right] \right|, \quad (2)$$

(α : 比例係数、 Φ_m : 変調度、 n : 屈折率、 c : 光速) と表され、 $R = I_2/I_1 = |J_2/J_1| \tan[4\pi f_0 n \Delta L / c]$ とすると、測定対象までの距離 ΔL が

$$\Delta L = (c/4\pi n f_0) \tan^{-1}[R|J_2(\Phi_m)/J_1(\Phi_m)|] \quad (3)$$

からパソコン等を使い実時間で求められる。測定レンジは、 R における \tan の引数 $< \pi/2$ の条件から $c/4\pi n f_0$ で与えられる。この基本レンジを超えると、測定値が折り返して戻るため、実際に対象物体が戻ってきた場合との区別がつかなくなる。今回の提案手法では、同期検波において各周波数成分の振幅の式が \sin 波および \cos 波であることに着目し、その符号の組み合わせから変位が基本レンジを超えたかどうかを判断する。原理確認実験ではロックインアンプ(LIA)により位相測定を行ったが、実際には符号だけわかればよいので、位相測定に対して高い精度は要求されない。Fig. 2 に変調周波数 910 MHz、基本測定レンジ約 40 mm の条件下で、微動台を 2 mm ずつ 80 mm 移動させて得られた変位測定値と位相情報を示す。基本測定レンジの前後で、 f_m 成分と $2f_m$ 成分の位相符号の組み合わせが変化しており、変位測定におけるレンジ拡大が可能なが確認できる。本手法は、基本測定レンジが変化していないため、原理的には測定精度は劣化していないと考えられる。今後、測定精度の検証を進める。

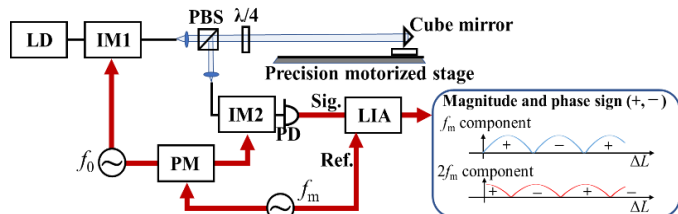


Fig.1 Schematic of proposed laser displacement measurement system.

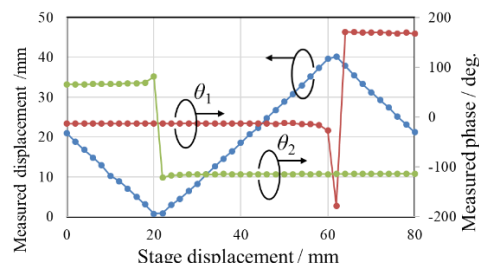


Fig.2 Measured displacement and signal phase over the displacement of 80 mm.

参考文献

[1] 新保、柏倉、田中、「強度相関型実時間レーザ変位測定 —サンプリング間隔 1 ms での測定」、2020 年第 67 回応用物理学会春季学術講演会、12p-B406-3、2020 年 3 月。