214 球面モータを用いたレーザ追尾式干渉計装置の開発

The development of using a spherical surface motor

○ 准 梅津 健太 (東京電機大学) 正 高辻 利之 (産業技術総合研究所)

正 鈴木 健生 (安川電機) 正 矢野 智昭 (産業技術総合研究所)

Kenta UMETSU, Tokyo Denki University

Tosiyuki TAKATSUJI, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Tomoaki YANO, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Takeo SUZUKI, Yaskawa Electric Corporation

Coordinate measuring machines (CMM) and robots in industry require accurate and easy calibration over a wide measuring-range. The new calibration instrument (laser tracking interferometer) we produced makes use of a spherical surface motor for laser tracking mechanism. This enabled wide-range measurement for middle size CMM because the movable angle of the spherical surface motor is so wide. In this paper, we refer to the accuracy of the new laser tracking interferometer based on our experiment.

Key words: Laser tracking interferometer, Spherical surface motor

1. 緒言

産業用ロボットや三次元測定機 (以下 CMM) の位置決め精度の校正には幾何学的なゲージやレーザ干渉計が広く利用されている。幾何学的なゲージはその操作性から支持されている一方で、測定点配置の自由度が低く、高精度な測定が困難であるといった問題がある。

レーザ干渉計を用いた校正では高精度な測定が期待できるものの、光軸のアライメントが困難であるためロボット、CMM の使用者自らが校正作業をするには不向きである。

これらの問題に対し高い操作性と高精度な校正が期待できるレーザ追尾式干渉計装置が開発されている¹⁾。開発されたレーザ追尾式干渉計装置は大型の CMM やロボットなど、レーザ追尾式干渉計装置の配置に自由度がある場合には適用が可能であるものの、汎用 CMM においては測定領域が小さくなるため改善の必要性がある。そこで本研究ではレーザ追尾機構に球面モータを採用し、広域の測定領域を高精度に測定することを目指した。今回、開発した装置の測定精度の評価を行ったためその結果を報告する。

2. レーザ追尾式干渉計装置

開発したレーザ追尾式干渉計システムの概略図を図 1 に示す。このシステムでは測定空間内で自由に移動するレトロリフレクターをレーザ追尾する。これより測定開始点を基準に、レーザ追尾式干渉計装置からレトロリフレクターまでの相対的な移動量をリアルタイムで計測することができる。

レーザ追尾用の半球ミラーの駆動には二軸方向の回転機構が要求されるが、これに対し本研究では球面モータを採用した

Fig.1 A laser tracking interferometer using a spherical surface motor

球面モータは二台のステッピングモータが入れ子になっており、内側のモータ可動子が外側の固定子に固定され、外側の可動子がモータベースに固定されている。各ステッピングモータの回転軸は一点で交差し、出力軸を任意方向に向けることができる²⁾。球面モータの動作範囲は外側、内側ともに 90 度であり、広域にわたりレーザ追尾が可能である。

3. 測定精度評価

開発したレーザ追尾式干渉計システムの測定精度を評価するため、測定精度 $0.6+L/600$ (L : 測定長 [m]) [μm] を有する三次元測定機 (Brown & sharp 社 PMM12106) を用いた。

図 2 に示すとおり CMM の Z 軸に取り付けられたレトロリフレクターを CMM の測定空間のうち $120 \times 120 \times 80 \text{ mm}^3$ を用い移動させた。このとき CMM が指示する三次元座標値を基準値とし、レーザ追尾式干渉計の半球ミラーからレトロリフレ

Fig.2 A schematic diagram of experimental instruments

Fig.3 The measurement points to evaluate the new laser tracking interferometer

クターまでの測長値と比較した。このとき CMM の直交座標系 $x-y-z$ において半球ミラーの座標値 (p, q, r) と座標 (p, q, r) から測定開始点までの初期長 l_0 は未知なシステムパラメータである。よって立体的に配した複数の点でのレーザ干渉計の指示値 d_i より、式(1)の目的関数 R を最小化するよう Gauss-Newton 法で算出するものとする。表 1 にはシステムパラメータ算出に用いた CMM の三次元座標 8 点と算出結果を示す。

$$R = \sum_{i=1}^8 [\sqrt{(x_i - p)^2 + (y_i - q)^2 + (z_i - r)^2} - (l_0 + d_i)]^2 \quad (1)$$

レーザ追尾式干渉計の精度評価には算出したシステムパラメータを用い、式(2)のとおりある座標におけるレーザ追尾式干渉計の指示値と CMM の指示値を比較する。

このとき測定点はレーザ追尾式干渉計の動作特性が発生しないよう図 3 に示すとおり、三次座標 $(300, 410, 460)$ 、 $(420, 530, 540)$ を対角とした $120 \times 120 \times 80 \text{ mm}^3$ 内をランダムに 20 点選択した。またこれらの測定点はシステムパラメータ算出に用いた 8 点の三次元座標とも区別される。

$$err_i = \sqrt{(x_i - p)^2 + (y_i - q)^2 + (z_i - r)^2} - (l_0 + d_i) \quad i = 1..20 \quad (2)$$

Table1. The selected measurement points to estimate system parameter

No.	x[mm]	Y[mm]	z[mm]	d _i [mm]
1	300	410	540	13.8353
2	300	530	540	45.3766
3	420	530	540	-52.3031
4	420	410	540	-88.5715
5	300	410	460	-18.25397
6	300	530	460	14.633848
7	420	530	460	-87.64617
8	420	410	460	-126.0052
System parameter	p[mm]	q[mm]	r[mm]	l ₀ [mm]
	957.979	268.2143	204.8341	738.0792

Table2. Experiment result

The reference value (CMM) [mm]				LT[mm]	Deviation[mm]
x	y	z	Li	li	err _i
350	489	482	-34.3709	-34.3707	0.0002
390	506	498	-56.1056	-56.1055	0
382	462	488	-67.6411	-67.6408	0.0003
364	498	507	-33.1563	-33.1566	-0.0003
366	508	517	-27.1759	-27.1767	-0.0007

4. 結果

表 1 で示したシステムパラメータから、図 3 の 20 点の測定点において得られた長さ測定偏差の一部を表 2 に示す。

最大偏差 err_{max} は $0.7 \mu\text{m}$ であり 20 点の長さ測定全体の標準偏差は $0.5 \mu\text{m}$ となった。つまりレーザ追尾式干渉計装置は $0.5 \mu\text{m}$ 程度の測定精度と推測されるため、汎用の CMM や産業用ロボットに対しては十分適用可能である。

今後は本装置の評価範囲を拡大し測定精度の検証を行う必要がある。

参考文献

- [1]H.Jiang et al :High-performance laser tracker using an articulating mirror for the calibration of coordinate measuring machine, Opt. Eng. Vol41(3) ,(2002)p632-637
- [2]矢野智昭：使いやすい球面ステッピングモータ,Aist Today (2002)p16