

УДК 681.786(045)

Л.М. ПОКИДЬКО

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

КЕРУВАННЯ ЛАЗЕРНОЮ ВИМІРЮВАЛЬНОЮ ГОЛОВКОЮ ПРИ КОНТРОЛІ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СКЛАДНОЮ ПРОСТОРОВОЮ ПОВЕРХНЕЮ

У статті розглянуто задачу дослідження точності руху лазерного променя під час контролю геометричних розмірів деталі при роботизованому керуванні лазерною головкою. Задача дослідження точності руху полягає в аналізі динаміки похибки руху вимірювальної системи. Представлена структурна схема системи контурного керування рухом лазерною головкою роботизованої лазерної вимірювальної системи. Обробку даних з метою визначень коефіцієнтів ряду Фур'є зручно виконувати за допомогою програми, що реалізується в системі MATLAB. Показано, що точність вимірювання геометричних розмірів деталей зі складною просторовою поверхнею підвищується на 25 – 35%.

Ключові слова: лазерні вимірювальні системи, матриця перетворення Якобі, координати Френе, оцінка похибки, допустиме відхилення, прецизійні оптичні методи вимірювання.

Вступ

Прецизійні оптичні методи вимірювання широко застосовуються практично в усіх областях науки і техніки.

Це пояснюється тим, що дані методи є неконтактними, дистанційними, високочутливими, вони стійкі до електромагнітних перешкод, забезпечують реєстрацію параметрів швидкоплинних процесів, дозволяють проводити вимірювання широкого діапазону параметрів.

Промислові лазерні вимірювальні системи дозволяють здійснювати безконтактні вимірювання геометричних розмірів і форми сировини, заготовок, деталей та готової продукції в процесі виробництва безпосередньо на конвеєрі або на виробничій лінії з мікронною точністю.

Лазерні вимірювальні прилади можна встановити безпосередньо на устаткування для обробки з метою контролю його положення або активного контролю якості.

Існують моделі для екстремальних навколишніх умов (висока температура, радіоактивність, системи охолодження тощо).

Прецизійність переміщення променя лазера в просторі забезпечується комп'ютерними системами керування і механізмами переміщень, що забезпечують точність позиціонування від мікрона до сотень мікрон.

Основний матеріал

Для забезпечення точності розмірів деталі необхідно забезпечити точність керування рухом ласе-

рної головки роботизованої лазерної вимірювальної системи. Реалізація цієї задачі потребує пошуку раціональних алгоритмів формування керуючих дій на виконавську систему робота, що забезпечують найбільшу продуктивність при необхідній точності рухів.

Найбільш прийнятним методом є метод узгодженого керування [1, 2], що базується на використанні в структурі регулятора диференційно-геометричних параметрів заданої лінії контуру. При цьому в структуру регулятора вводяться ланцюги зворотних зв'язків по відхиленнях лазерного променя від лінії контуру, вимірювані в рухливих координатах відповідно до переміщенням променя уздовж контуру об'єкту.

При організації руху лазерного променя уздовж заданої поверхні поточне відхилення вимірюється по нормалі до цієї поверхні.

Рух лазерної головки роботизованої лазерної вимірювальної системи повинен виконуватися при трьох максимальних швидкостях та одній уповільненій.

Розглянемо динамічну модель, що відповідає повільному руху головки роботизованої лазерної вимірювальної системи:

$$F\dot{q} = u, \quad (1)$$

де $q = \{q_j\}$ – вектор узагальнених координат;

$u = \{u_j\}$ – вектор керування (тут – вхідних сигналів лінійних двигунів з газовим змащенням),

$$j = \overline{1, m};$$

F – обернена матриця.

Вектор декартових координат $y = \{y_j\}$ кінцевої точки датчика визначається відомим рівнянням прямої кінематики

$$y = c(q),$$

поточне відхилення від лінії контуру S об'єкта характеризується виразом

$$e = \varphi(y), \quad (2)$$

а подовжній рух

$$S = \psi(y), \quad (3)$$

де $S = \{S_j\}, j = \overline{1, m-1}$.

Вважаємо, що функції $\varphi(y), \psi(y)$ обрані так, що $e(t)$ є ортогональним відхиленням, $S(t)$ – довжиною шляху координатної лінії поверхні, а матриця перетворення Якобі

$$M = \begin{vmatrix} \partial\psi / \partial y \\ \partial\varphi / \partial y \end{vmatrix}$$

не вироджена, тобто $\det M \neq 0$.

Первинна постановка задачі керування просторовим рухом лазерної головки роботизованої лазерної вимірювальної системи передбачає усунення відхилення $e(t)$ (або стабілізацію його заданого значення) і забезпечення бажаного режиму подовж-

нього руху $S(t)$, що задається профілем подовжніх (контурних) швидкостей

$$V_j^* = \dot{S}_j^*(t).$$

Структурна схема системи контурного керування рухом лазерною головкою роботизованої лазерної вимірювальної системи представлена на рис.1 та містить основний регулятор

$$u = FC_q^{-1} M^{-1} \begin{bmatrix} V^* \\ u_e \end{bmatrix},$$

із зворотними зв'язками по відхиленнях

$$u_e = -Ke,$$

де C_q – матриця, обумовлена кінематичною схемою трикоординатної ІВС механічних величин; K – коефіцієнт зворотного зв'язку.

Така система гарантує бажаний режим подовжнього руху зі швидкістю $\dot{S} = V^*$ та високу точність просторового переміщення (0,1 мкм) відповідно до моделі динаміки відхилень

$$\dot{e} + Ke = 0.$$

Відхилення $e(t)$ може бути розраховане на основі зовнішніх вимірів декартових координат y_j , згідно виразу (2), або безпосередньо виміряне за допомогою оптичних датчиків в координатах Френе.

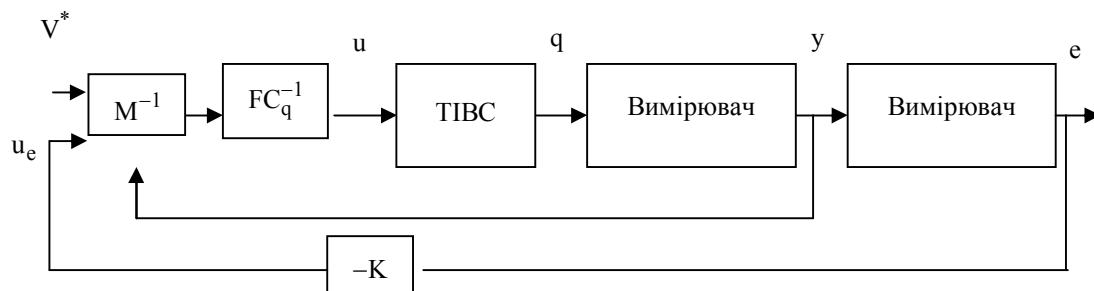


Рис. 1. Структурна схема трикоординатної ІВС контурного керування оптичними датчиками лінійних переміщень

Задача дослідження точності руху лазерного променя під час контролю геометричних розмірів деталі при роботизованому керуванні лазерною головкою полягає в аналізі динаміки похибки δ руху вимірювальної системи. Структура лінеаризованої математичної моделі [3] такої системи має три зовнішні впливи: швидкість повздовжньої подачі ΔV_3 ; відхилення від номінальних значень керуючого впливу поперечної подачі ΔY_3 ; шорсткість деталі $\Delta Y_{\text{дт}}$. Вони впливають на похибку δ руху лазерної вимірювальної системи відносно запрограмованої тра-

екторії y відповідності з рівнянням

$$\delta = W_1(p)\Delta V_3 + W_2(p)\Delta Y_3 + W_3(p)\Delta Y_{\text{дт}},$$

де $W_1(p), W_2(p), W_3(p)$ – передаточні функції каналів зовнішнього впливу.

Як бачимо з рівняння похибка δ має три складові:

$$\delta_1 = W_1(p)\Delta V_3;$$

$$\delta_2 = W_2(p)\Delta Y_3;$$

$$\delta_3 = W_3(p)\Delta Y_{\text{дт}},$$

які можуть мати різні знаки. Тому для забезпечення точності контролю геометричних параметрів деталей доцільно розглядати оцінку $\delta_{\max}$ максимального значення похибки δ , що залежить від максимально можливих значень $\delta_{1\max}$, $\delta_{2\max}$, $\delta_{3\max}$ складових δ_1 , δ_2 , δ_3 :

$$\delta_{\max} = |\delta_{1\max}| + |\delta_{2\max}| + |\delta_{3\max}| \leq \delta_{\text{доп}}, \quad (4)$$

де $\delta_{\text{доп}}$ – допустиме відхилення лазерного променя від запрограмованої траєкторії. Нерівність (4) показує, що дослідження точності руху лазерного променя по поверхні деталі можна здійснити в результаті незалежного впливу на похибку δ кожного із трьох вхідних впливів з подальшим їх сумуванням.

Аналіз впливу кожного із впливів системи на похибку δ базується на використанні частотних методів і передбачає наступні кроки:

- вибір номінального значення контурної швидкості руху головки роботизованої лазерної вимірювальної системи;
- визначення значень параметрів вихідної математичної моделі роботизованої лазерної вимірювальної системи;
- визначення значень параметрів передаточної функції;
- оцінка похибки $\delta_{\max}$.

Для визначення спектра зовнішнього впливу $\Delta Y_{\text{дт}}$, розкладемо його як функцію часу в ряд Фур'є

$$\Delta Y_{\text{дт}}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} A_k \sin(\omega_k t + \phi_k).$$

Вважатимемо, що функція $\Delta Y_{\text{дт}}$ визначена на проміжку часу від 0 до T , який розбито на N інтервалів довжиною Δt , на межі яких значення $\Delta Y_{\text{дт}}(t_i)$ фіксовані. За межами цього проміжку функція є періодично продовженою.

Для практичного застосування значень коефіцієнтів ряду Фур'є доцільно скористатись алгоритмом, який призначений для реалізації за допомогою комп'ютеризованих систем, що передбачає наближене інтегрування по методу прямокутників і характеризується наступними формулами:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad (5)$$

$$\phi_k = \arctg \frac{a_k}{b_k}; \quad (6)$$

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \Delta Y_{\text{дт}}(t_i) \sin \omega_k t_i; \quad (7)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \Delta Y_{\text{дт}}(t_i) \cos \omega_k t_i; \quad (8)$$

де ω_k – циклічна частота гармоніки з номером k , $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

В умовах експерименту лазерний промінь проходить відомий шлях L зі швидкістю V_0 , тоді

$$T = \frac{L}{V_0} \text{ – час, що затрачається на вимірювання:}$$

$$\omega_k = V_0 \cdot \frac{2\pi k}{L}. \quad (9)$$

Отже, як бачимо, значення частот всіх гармонік пропорційне значенню швидкості V_0 . Із формул (5) – (8) слідує, що амплітуди гармонік не залежать від швидкості V_0 .

Обробку даних з метою визначень коефіцієнтів ряду Фур'є зручно виконувати за допомогою програми, що реалізується в системі MATLAB. Ця програма формує масив амплітуд $\{A_1, A_2, \dots, A_N\}$. Вихідними даними для обчислення масиву є $\{\Delta Y_{\text{дт}}(0), \Delta Y_{\text{дт}}(t_1), \dots, \Delta Y_{\text{дт}}(t_N)\}$. Графічна побудова спектру впливу $\Delta Y_{\text{дт}}$ здійснюється програмою Excel.

Література

1. Квасников В.П. Управление оптическими датчиками при высокоточных измерениях геометрических параметров деталей / В.П. Квасников // Вісник Інженерної академії України. – 2008. – № 2. – С. 92-94.
2. Застрогин Ю.Ф. Прецизионные измерения параметров движения с использованием лазера / Ю.Ф. Застрогин. – М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
3. Броккет Р.У. Алгебры Ли и группы в теории управления. Математические методы в теории систем / Р.У. Броккет. – М.: Мир, 1979. – 320 с.

Надійшла до редакції 25.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри інформаційних технологій В.П. Квасніков, Національний авіаційний університет, Київ.

УПРАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКОЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Л.М. Покидько

В статье рассматривается задача исследования точности движения лазерного луча при контроле геометрических размеров детали при роботизированном управлении лазерной головкой. Задача исследования точности движения состоит в анализе динамики погрешности движения измерительной системы. Представлена структурная схема системы контурного управления движением лазерной головкой роботизированной лазерной измерительной системы. Обработку данных с целью определений коэффициентов ряда Фурье удобно выполнять с помощью программы, которая реализуется в системе MATLAB. Показано, что точность измерения геометрических параметров деталей со сложной пространственной поверхностью повышается на 25 – 35%.

Ключевые слова: лазерные измерительные системы, матрица преобразования Якоби, координаты Френе, оценка погрешности, допустимое отклонение, прецизионные оптические методы измерения.

CONTROL OF LASER MEASURING HEAD FOR THE CONTROL OF PARTS WITH COMPLEX SPATIAL SURFACE

L.M. Pokid'ko

The problem of research precision laser beam movement during the controls helmets rychnyh-sized parts with robotic control of the laser head. The task of research-considered accurate movement is to analyze the dynamics of error motion measurement system. Submitted block diagram of contour motion control laser head robotized laser measurement system. Data processing for Fourier coefficients of the definitions easily perform using that system is implemented in MATLAB. Shown that the accuracy of geometric-Ro zmiriv parts with complicated spatial surface increases by 25-35%

Key words: laser measuring system, the transformation matrix of Jacobi, coordinates Frene, error estimation, the tolerance, precision optical measurement methods.

Покидько Людмила Миколаївна – провідний інженер кафедри інформаційних технологій інституту інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: mila.list@yandex.ua.