



А.В. Манухин, О.А. Заякин

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО КРУГЛОМЕРА

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)

Постановка задачи

Основная задача разрабатываемого программного комплекса – исследование основной погрешности экспериментального лазерного кругломера. От существующего прототипа данный комплекс отличается распределенностью вычислений, которые выполняются в «облаке». Это создаст условие для кооперации различных групп ученых и специалистов, что расширит экспериментальную базу и тем самым ускорит ход исследований.

Введение

В настоящее время в данной области техники для контроля поверхности используют в основном устройства на основе интерференционных методов [1, 2]. Контролируемая поверхность сложной формы вносит искажения во входной сигнал. Исправление данных искажений на уровне контролирующей аппаратуры является дорогостоящей задачей. Применяемый в настоящей работе метод триангуляции позволяет обойтись без дорогостоящей оптики и как следствие – сделать оборудование более доступным.

Модель системы

Исследование контролируемой поверхности ведется пучком света, который представлен одним лучом с нулевой поперечной шириной. Физической основой данной системы являются законы геометрической оптики. В оптической однородной среде свет распространяется прямолинейно. Это позволяет использовать прямые линии для анализа распространения света. Учет ширины пучка приводит к искажению формы светового пятна. Влияние этого фактора должно исследоваться экспериментально. На рис. 1 представлена оптико-механическая схема прибора [3]. Падающий на поверхность луч \vec{a} перпендикулярен плоскости YOZ и зеркально отражается относительно вектора нормали \vec{N} . Отраженный луч \vec{b} фиксируется матричным фотоприемником. На основании законов геометрической оптики углы между нормалью и этими лучами света равны между собой, и к тому же все три луча лежат в одной плоскости. Это описывается системой векторных уравнений:

$$\frac{-\vec{a} \times \vec{N}}{|\vec{a}|} = \frac{\vec{N} \times \vec{b}}{|\vec{b}|}, \quad \frac{(-\vec{a} \cdot \vec{N})}{|\vec{a}|} = \frac{(\vec{b} \cdot \vec{N})}{|\vec{b}|}.$$

Информативным параметром положение пятна света на матричном фотоприемнике. Оно измеряется в сферической системе координат с центром на оси OZ , там, где эту ось пересекает горизонтальная плоскость, в которой лежит падающий луч. Горизонтальный угол ψ отсчитывается от оси OX (рис. 1), а вер-



тикальный угол θ - от указанной горизонтальной плоскости. Сканирование поверхности контролируемого объекта производится путем его разворота вдоль оси OZ и дискретного перемещения источника света на величину шага по прямой AB в точках с координатами $Z_k = Z_{k-1} + \Delta Z$. Данные действия позволяют из векторных уравнений получить математическую модель системы:

$$\begin{cases} F_y \cdot b_z - F_z \cdot b_y = 0 \\ \frac{F_x \cdot b_z - F_z \cdot b_x}{\sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}} - F_z = 0 \\ \frac{F_x \cdot b_y - F_y \cdot b_x}{\sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}} - F_y = 0 \\ \frac{F_x \cdot b_x + F_z \cdot b_z + F_y \cdot b_y}{\sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2}} - F_x = 0 \end{cases}$$

При решении системы уравнений необходимо осуществить переход в цилиндрическую систему координат с центром в точке O и осью OZ (рис. 1).

Решение системы может быть получено в форме дифференциального

уравнения (ДУ) вида $\frac{d\rho_c}{d\phi_c} = \rho_c \cdot \phi(\rho_c, \phi_R, Z_R)$.

При линеаризации правой части исходного дифференциального уравнения в области средних значений ее аргументов приходим к ДУ:

$$\frac{1}{R_0} \cdot \left(\frac{dH}{d\varphi} - a \cdot H \right) = b \cdot \varepsilon + c \cdot \gamma.$$

где a, b, c получены из правой части исходного ДУ; H – высота профиля относительно окружности с радиусом R_0 ; $\varepsilon = \psi - \bar{\psi}$; $\gamma = \theta - \bar{\theta}$. Индекс «0», а также черта означают среднее интегральное значение по радиальному профилю. Функции H, ε, γ имеют аргументом φ - азимутальную координату точки на радиальном профиле контролируемой поверхности.

В свою очередь линеаризованное ДУ решается применением дискретного преобразования Фурье и решением является алгебраическая связь между гармониками Фурье-спектра профиля H одинаковой пространственной частоты и правой части ДУ.

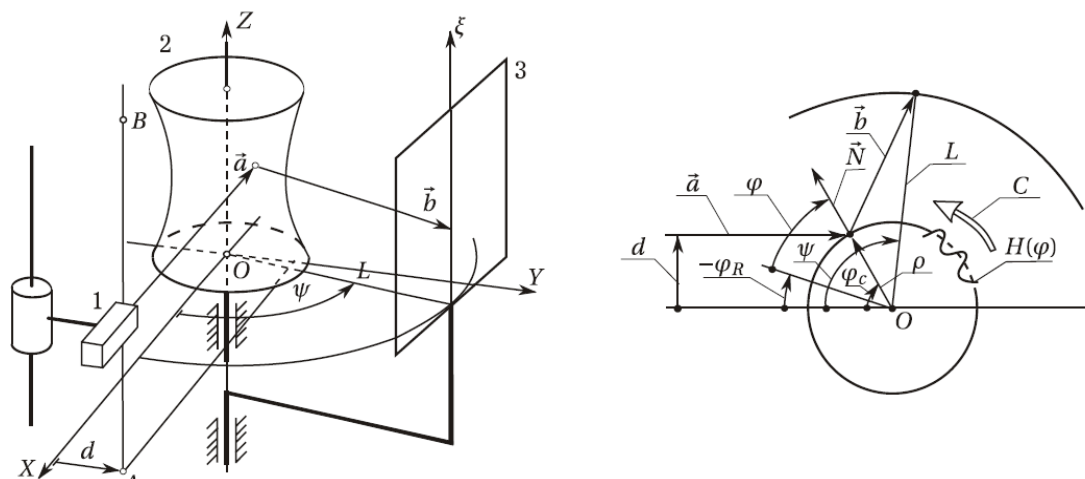
Правая часть уравнения записывается в виде ряда Фурье:

$$W(\varphi_i) = \sum_{j=1}^{\lfloor N/2 \rfloor} \alpha_j \cdot \cos(j \cdot \varphi_i) + \beta_j \cdot \sin(j \cdot \varphi_i).$$

Коэффициенты данного ряда вычисляются по формулам:

$$\alpha_j = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} W(\varphi_i) \cdot \cos(j \cdot \varphi_i), \quad \beta_j = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} W(\varphi_i) \cdot \sin(j \cdot \varphi_i), \quad \alpha_{N/2} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} (-1)^i \cdot W(\varphi_i).$$

Таким образом, нам удалось найти связь между параметрами гармоники Фурье-спектра функций ε и γ и соответствующей гармонике Фурье-спектра высот H .



1 - источник излучения; 2 - контролируемая поверхность; 3 - видеокамера; AB , C - направления сканирования; \vec{a} , - падающий и \vec{b} - отраженный лучи света; ψ , ξ - координаты точки падения отраженного луча на фотоприемник; d - смещение источника излучения; L - радиус поворота каретки с видеокамерой.

Рис. 1 – Оптико-механическая схема прибора

Структура и функционал комплекса

Входной сигнал в программном комплексе – это файл, в котором в символьных кодах записаны зависимости $\varepsilon(\varphi)$ и $\gamma(\varphi)$ для радиального профиля контролируемой поверхности, а также параметры настройки оптической схемы и дискретность сканирования по φ и z . Комплекс обрабатывает сразу целую серию таких файлов, полученных при повторных измерениях, для каждого из файлов рассчитывает $H(\varphi)$ и статистические параметры отклонений от круглости, включая границы доверительного интервала, попутно оценивая вероятность принадлежности выборки к нормальному закону распределения. Кроме того, оценивается и погрешность в каждом отсчете радиального профиля $H(\varphi)$, при условии, если серия измерений выполнена при одинаковом начальном положении контролируемой детали и координате z .

На рис. 2 представлена диаграмма вариантов использования автоматизированной системы.

Автоматизированная система разрабатывается на языке высокого уровня Java с применением Spring Framework и позволяет производить вычисления в многопользовательском режиме.

Заключение

Описана физическая и математическая модель лазерного кругломера, приведена структура и функционал его программного комплекса, который отличается распределенностью вычислений.

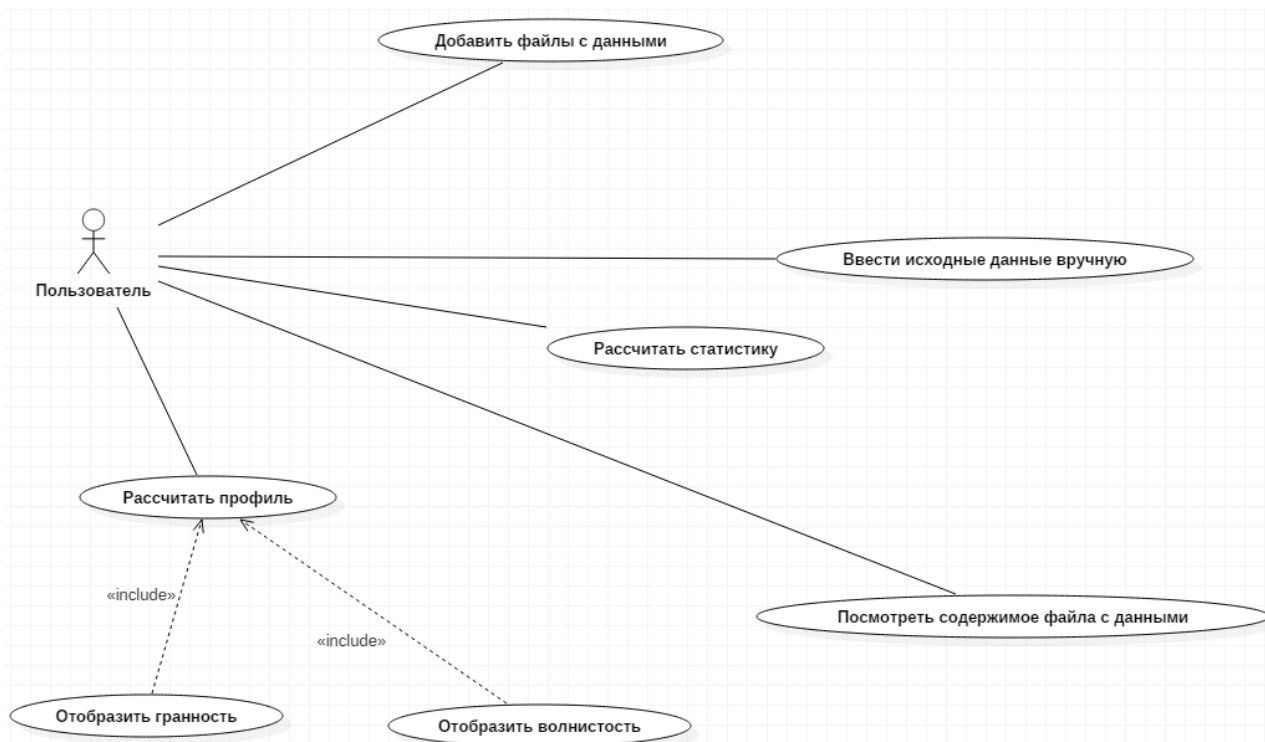


Рис. 2 - Диаграмма вариантов использования автоматизированной системы

Литература

1. *Sato Atsushi* Высокоточный профилометр типа Maxim 3D-5700 [Текст] / Sato Atsuchi // Кэйсоку гидзюцу. = Instruments and Automation. 1991. No. 2. Vol. 19. С. 54 – 58. (Яп.).
2. Осипович, И. Р. Интерферометрический метод контроля формы асферических поверхностей качения прецизионных подшипников [Текст] / И. Р. Осипович, Д. Т. Пуряев // Вестник Московского государственного технического университета. Сер. Приборостроение. 1999. Вып. 3. С. 65 – 75, 128.
3. Заякин, О.А. Получение профилей и контурных картин поверхностей вращения способом триангуляции с использованием зеркально отраженного излучения. [Текст] / О.А.Заякин // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. 2007. №2 (15). С. 95 - 101. ISSN 1991-8615.

В.В. Митюков

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ УНИФИЦИРОВАННОГО ПОДХОДА К ЗАДАЧАМ АППРОКСИМАЦИИ

(Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева)

Многим исследователям и аспирантам не всегда просто разобраться в вычислительной математике и выбрать метод решения стоящей перед ними задачи. Часто больше времени уходит на изучение различных методов вычислений,