

И. МОКРОШ
(Братислава, ЧССР)

УГЛОМЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

В Чехословацком метрологическом институте (Братислава) разработан интерферометр для измерения углов до $\pm 5^\circ$ с погрешностью $\sim 0,01''$. Схема прибора представлена на рисунке. Призма Кестерса 1 и зеркала 2 образуют неподвижную часть интерферометра. Полые двугранные отражатели 3 закреплены на стержне из суперинвара. Они составляют подвижную часть прибора. Зеркала отражателей 40×40 мм выполнены из плавленого кварца. Отклонение от плоскости их отражающих поверхностей колеблется от 12,5 до 21 нм на площади 30×30 мм. Лазер 4 и отсчетное устройство 5 размещаются на самостоятельных держателях.

Процесс измерения углов при помощи угломерного интерферометра заключается в регистрации числа полос m , прошедших через поле зрения интерферометра. Тогда

$$\varphi = \arcsin(m\lambda/2L), \quad (1)$$

где φ — измеряемый угол; λ — длина волны излучения; L — база интерферометра.

Поскольку изначально требовалось измерять угол поворота с разрешающей способностью $0,01''$, то применялась следующая стандартная методика измерения дробной доли интерференционной полосы. При помощи двух фотодетекторов считывались ортогональные составляющие вектора интенсивности интерференционного поля и регистрировались при помощи осциллографа с $X - Y$ -входом. Искомый угол сдвига фаз определялся с удовлетворительной точностью при помощи полярной шкалы. Соотношение для частных погрешностей измерений вытекает из (1):

$$\Delta\varphi \approx \Delta m(\sin\varphi_0/\cos\varphi) + \operatorname{tg}\varphi[(\Delta L/L) + (\Delta\lambda/\lambda)], \quad (2)$$

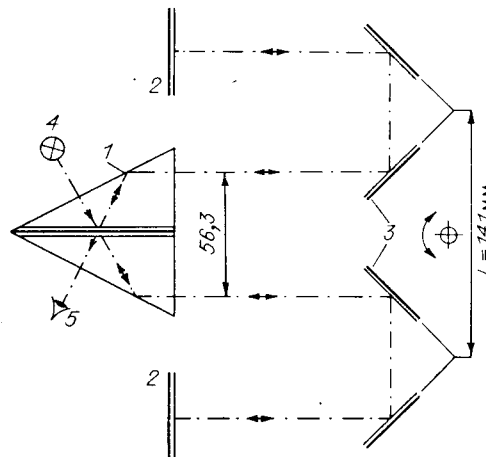
где $\varphi_0 = \arcsin(\lambda/2L)$ — чувствительность угломерного интерферометра; Δm — погрешность измерения дробной части интерференционной полосы; ΔL , $\Delta\lambda$ — погрешности измерения базы и длины волны излучения соответственно.

Зависимость (1) справедлива только тогда, если нулевой разности хода световых пучков соответствует угол, равный нулю (первое условие симметрии), а база угломерного интерферометра при этом перпендикулярна оси выходящих пучков света (второе условие симметрии). При несоблюдении первого условия возникает погрешность

$$\Delta\varphi_1 \approx \psi_0(\cos\varphi - 1)/\cos\varphi,$$

где ψ_0 — угол, соответствующий нулевой разности хода. При несоблюдении второго условия интерферометром измеряется разность наклонного хода лучей. Разность измеренных углов $\Delta\varphi_2$ в случае, если нулевое направление угломерного интерферометра устанавливать поочередно по обеим сторонам угла φ , определяется формулой

$$\Delta\varphi_2 \approx 2(1 - \cos\varphi)\sin\varphi.$$



Здесь v — угол отклонения от перпендикулярности базы к оси выходящих пучков.

Влияние погрешности в нахождении базы L на измеряемый угол можно определить следующим образом:

$$\Delta\varphi_L = \operatorname{tg} \varphi (\delta L/L + \Delta T \alpha),$$

где ΔT , δL — погрешности измерения температуры и длины базы соответственно; α — коэффициент теплового расширения материала.

Точность определения длины светового излучения в атмосфере ограничена погрешностью нахождения параметров воздуха вдоль хода измерительного пучка света [1]:

$$\Delta\varphi_t \approx 9,1 \cdot 10^{-7} \Delta t \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\Delta\varphi_p \approx -27 \cdot 10^{-7} \Delta p \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\Delta\varphi_e \approx 0,1 \cdot 10^{-7} \Delta e \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где Δt , Δp , Δe — изменения температуры, давления и влажности воздуха соответственно.

Приведем допуски на изготовление и юстировку оптических элементов, а также на измерение внешних условий при величине частной погрешности измерений угла $\Delta\varphi = 0,01''$ в диапазоне $\varphi = 5^\circ$: $\psi_0 = 2,6''$; $v = 1,3''$; $\delta L = 0,08$ мкм (при $L = 141$ мм); $\Delta T = 0,1$ К (при $\alpha = 5 \cdot 10^{-7}$ 1/К); $\Delta t = 0,6$ К; $\Delta p = 210$ кПа; $\Delta e = 55$ %.

В угломерном интерферометре в качестве отражателей \mathcal{Z} используются двугранные отражатели, состоящие из двух зеркал.

Из анализа погрешностей, вызываемых недостатками юстировки таких отражателей, следует, что требования к их юстировке не являются жесткими. Например, пирамидальность отражателя $\omega = 1'$ вызывает при угле поворота $\varphi = 10^\circ$ отклонение выходящего пучка от плоскости измерения $\varepsilon = 1'58''$ и погрешность в измерении угла $\Delta\varphi_e = 0,01''$. Требование к плоскости функциональных поверхностей зеркал вытекает из существования добавочной разности хода лучей Δl при повороте базы [2]. Удалось установить, что при максимальном измеряемом угле $\varphi = 5^\circ$ разность прогибов отдельных функциональных поверхностей не должна быть более чем 5 нм при длине зеркала 28 мм, чтобы погрешность в измерении угла была не более $0,01''$.

Погрешности, вызываемые взаимным положением неподвижной и подвижной частей угломерного интерферометра к плоскости измерения, возникают в результате проекции измеренной разности наклонного пути светового пучка на плоскость измерения. Можно рассчитать, что при диапазоне измерений $\varphi = 5^\circ$ эти погрешности удается относительно легко снизить до $0,01''$. Из анализа следует также обоснованность использования двугранных отражателей по сравнению с уголковыми.

Для оценки метрологических характеристик угломерного интерферометра были проведены сопоставительные измерения с первичным эталонным плоского угла. Для сравнения выбран 72-гранный полигон, который входит в состав Чехословацкого государственного эталона плоского угла. В качестве индикатора нулевого положения нормали к функциональным поверхностям полигона использовался фотоэлектрический автоколлиматор с разрешением $0,025''$.

Полученные результаты сравнительных измерений были подвергнуты статистической обработке. Средняя погрешность измерения угла полигона $0,042''$. Замыкание измерительных углов полигона на полный круг показало, что составляющая систематической погрешности в полной погрешности равна $0,20''$, что недопустимо велико. Было установлено, что погрешность вызвана недостаточно надежным креплением зеркал отражателей и может быть устранена.

Таким образом, приведенный краткий анализ точности и экспериментальные исследования разработанного прибора показывают возмож-

ность измерений плоских углов в диапазоне $\pm 5^\circ$ с дискретностью $0,01''$. При введении соответствующих поправок на внешние условия пределы допустимой погрешности измерений не превышают $\sim 0,05''$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Popela B. Einfluss der Messbedingungen bei Messungen mit Laser-Interferometern // Feingerätetechnik.— 1976.— 25, N 6.— S. 256.
2. Rohlin J. An interferometer for precision angle measurement // Appl. Opt.— 1963.— 2, N 7.— P. 762.

Поступила в редакцию 30 марта 1989 г.

УДК 681.327.5

В. И. КОЗИК, С. В. МИХЛЯЕВ

(Новосибирск)

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ ЗУ

Голографические ЗУ со страничной организацией [4—5] позволяют производить считывание данных двумерными массивами (страницами) размерностью $N \times N$. Обработка информации при этом может быть осуществлена как в ЭВМ после этапа считывания данных из ЗУ [1, 2], так и непосредственно в процессе считывания с использованием оптико-электронных (ОЭ) спецпроцессоров [3—5], которые обеспечивают высокую степень параллельности обработки и позволяют существенно сократить поток данных из ЗУ в ЭВМ.

Примером обработки, выполняемой такими процессорами, является реализация ассоциативного поиска данных. Базовая операция при этом (поразрядное вычисление функций равнозначности-неравнозначности) может быть сведена к вычислению и оценке скалярных произведений бинарных векторов — ключевых слов описаний, хранящихся в базе данных, и векторов, содержащихся в запросе [3—5].

Известно несколько вариантов ОЭ-процессоров, реализующих операции вычисления скалярных произведений и применимых для обработки данных в ГЗУ. Наибольшая степень параллельности обработки достигается в случае, когда на вход процессора поступает одновременно несколько страниц данных (т. е. при параллельном восстановлении нескольких голограмм). Однако известные процессоры такого типа обладают рядом недостатков, затрудняющих их практическое применение. Например, оптические системы, в которых плоскость голограмм проективно сопряжена с плоскостью фотоприемника [3, 4], не обладают инвариантностью к смещению голограмм, что затрудняет их использование в устройствах с движущимся носителем, а также требуют разработки специализированных фотоэлектронных БИС со сложной топологией. В процессорах, использующих представление данных на странице в виде разрядных слайсов совокупности N^2 векторов [4], увеличивается время считывания вектора (после этапа поиска), а также возникают проблемы при регистрации и восстановлении голограмм, связанные с несбалансированностью количества единиц и нулей в странице.

В настоящей работе предлагается новое схемотехническое решение оптической системы спецпроцессора, предназначенного для поиска данных в ГЗУ, который позволяет обрабатывать одновременно несколько