

**МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК ПРИ ФАЗОВОМ
РЕГУЛИРОВАНИИ**
METHODS OF ERROR CORRECTION IN PHASE CONTROL

Мамадалиев Махаммаджон Ахмадалиевич ассистент
Андижанского машиностроительного институт,
Республика Узбекистан, г.Андижан
Orcid id: ORCID ID: 0009-0004-2189-0994

Аннотация: Предложена модификация метода целочисленной интерферометрии, применяемого для устранения искажений профиля интерференционных полос, вызванных погрешностями при регистрации и обработке интерферограмм.

Ключевые слова: элемент, объект, фаза, коэффициент, интерферометрии, связь, диапазон, комплекс, постоянной, потери, коррекции.

Annotation: A modification of the integer interferometry method is proposed, which is used to eliminate distortions of the interference fringe profile caused by errors in recording and processing interferograms.

Keywords: element, object, phase, coefficient, interferometry, communication, range, complex, constant, loss, correction.

В вдения: В статье представлена информация о многих алгоритмах, реализующих подход фазовой неопределенности, который основан на оценке локальных разрывов фазы и суммировании поправочных коэффициентов, пропорциональных числу разрывов в области интегрирования пространственного пути интегрирования, с учетом отсутствия разрывов или их знака.

Проблемы.

1. Ошибки, возникающие при фазовом контроле

Развитие современных технологий невозможно без совершенствования высокоточных измерительных систем. Основным элементом лазерных интерференционных систем является интерферометр, осуществляющий сравнение объектного и опорного волновых полей. Поле яркости $I(x,y)$, возникающее при интерференции опорного и объектного оптических полей описывается выражением

$$I(x,y) = A(x,y) + B(x,y) \cos(\Phi(x,y))$$

где $A(x,y)$ -средняя яркость; $B(x,y)$ -амплитуда интерференционных полос; $\Phi(x,y)$ -поле фазовых разностей интерферирующих оптических полей (полная фаза):

$$\Phi(x,y) = \phi(x,y) + 2\pi N(x,y)$$

Здесь $N(x,y)$ -число целых периодов 2π , укладывающихся в полную оптическую разность фаз $\Phi(x,y)$ и зависящих от геометрии схемы интерферометра и длины волны излучения лазера λ ; $\phi(x,y)$ -локальная фаза, являющаяся дробной частью фазы $\Phi(x,y)$. Далее для упрощения изложения координаты (x,y) опускаем.

Определение целого числа периодов N называется устранением фазовой неоднозначности. Существует большое количество алгоритмов, реализующих данный подход. Как правило. Эти алгоритмы основаны на оценке разрывов локальных фаз и выборе пути пространственного интегрирования таким образом, чтобы область интегрирования не содержала разрывы, либо суммировании поправочных коэффициентов, пропорциональных количеству разрывов, с учетом их знака. Очевидно, что в случае ошибки определения местоположения скачков происходит накопление ошибок и в связи с этим ограничение возможного диапазона измерений. Кроме того, данные методы не позволяют обнаружить скачок фазы, превышающий 2π , что является принципиальным ограничением одночастотных интерференционных систем. В работе предложен способ целочисленной интерферометрии, позволяющий реконструировать полную фазу Φ непосредственно по значениям локальных фаз ϕ , используя

несколько длин волн лазера. Такой подход способствует устранению отмеченных недостатков, но весьма чувствителен к ошибкам измерения локальных фаз ϕ .

Вместо разности фаз интерферирующих волн Φ удобно ввести в рассмотрение пропорциональную ей величину Λ - оптическую разность хода (OPD - Optical Path Difference) (далее - разность хода). Полная разность хода Λ связана с полной фазой Φ :

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2\pi} \Phi = \frac{\lambda}{2\pi} (\phi + 2\pi N) = \delta + \lambda N$$

где δ - локальная разность хода, соответствующая локальной фазе ϕ (эта величина изменяется от нуля до цены интерференционной полосы в длинах волн).

Измеренные значения локальных фаз ϕ переводятся в локальные разности хода δ , которые выражаются в виде целых значений с числом знаков, обеспечивающих необходимую точность измерения.

Для определения OPD требуется найти решение целочисленной системы сравнений

$$\begin{cases} \Lambda \equiv \delta_1 \bmod m_1, \\ \Lambda \equiv \delta_2 \bmod m_2. \end{cases}$$

Решение этой системы можно представить в виде траектории на комплексной плоскости (δ_1, δ_2) . Максимальная длина траектории $L_{\max} = m_1 \times m_2 - 1$ задает динамический диапазон однозначного определения Λ_{\max} . Расстояние между соседними диагоналями траектории $\delta L = 1$. Если $\Lambda < \Lambda_{\max}$, то $\delta L > 1$. Например, если $m_1 = 633$, $m_2 = 488$ (что соответствует линиям генерации He-Ne- и Ar-лазеров) и $L_{\max} = 10/m_2$, то $\delta L = 52$.

При неточном определении исходных значений $\delta_{1,2}^i = \delta_{1,2} + \varepsilon_{1,2} \delta_{1,2}$ решение системы сравнений приводит к грубым ошибкам, так как разность хода Λ^i соответствующая δ_1^i и δ_2^i на комплексной плоскости будет больше Λ_{\max} . Если

точка на комплексной плоскости, соответствующая δ_1^i и δ_2^i , отклоняется от ближайшей диагонали траектории на величину не более $\delta L/2$, данную ошибку можно компенсировать.

Наибольший вклад в искомую погрешность дает отклонение профиля интерференционных полос от вида выражения. Чаще всего отклонение этой зависимости от к синусоидальной формы вызывается спеклообразной структурой изображения при когерентном освещении.

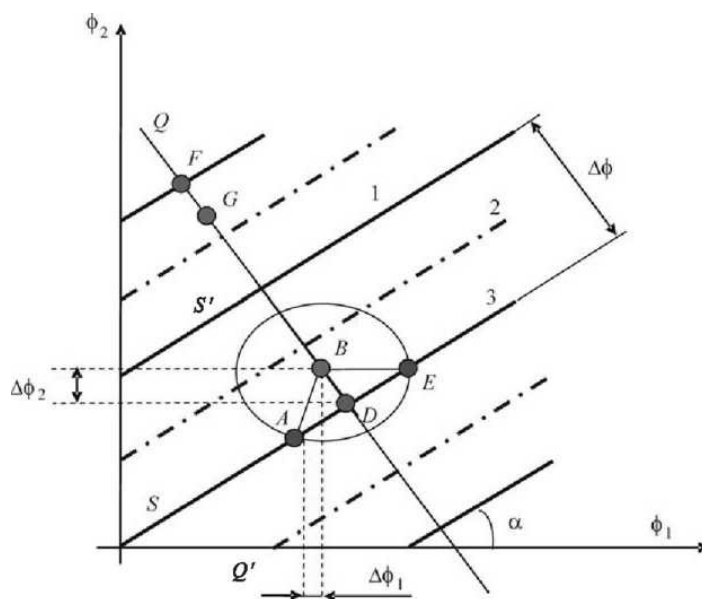


Рис. 1. Траектория интерференционного сигнала на комплексной плоскости

Целью предлагаемой работы является модификация базового метода для повышения его устойчивости к ошибкам измерений, связанным с использованием профиля интерференционных полос.

2.Модификация базового метода. Для устранения ошибок при искажении профиля полос необходимо поэтапно:

1. Вычислить разность локальных разностей хода: $\Delta = \delta_1 - \delta_2$.
2. Найти изотропные области, т. е. области интерферограммы, в которых выполняется условие

$$\Delta = \text{const}$$

Следует отметить, что погрешности определения границ изотропных областей, возникающие в отдельных точках и обусловленные малым соотношением сигнал/шум разностей хода, носят локальный характер и не распространяются на соседние области.

3.Вычислить оценку разности в изотропных областях. В отсутствие шумов разность Δ является кусочно-постоянной функцией независимо от закона изменения OPD. Без потери устойчивости на этапе коррекции допустимо отклонение оценки разности на величину, не превышающую половины расстояния между диагоналями 1 и 3 линии сигналов 2 (рис. 1).

4.Сформировать фазовые плоскости (Δ_l, δ_2) , (Γ_1, δ_2) и (δ_1, Γ_2) по следующему правилу:

$$\Gamma_1 = \delta_2 + \Delta_j; \quad \Gamma_2 = \begin{cases} \delta_1 + \Delta_j, & \text{если } \delta_1 - \Delta_j \geq 0, \\ \delta_1 - \Delta_j + m_2 & \text{иначе.} \end{cases}$$

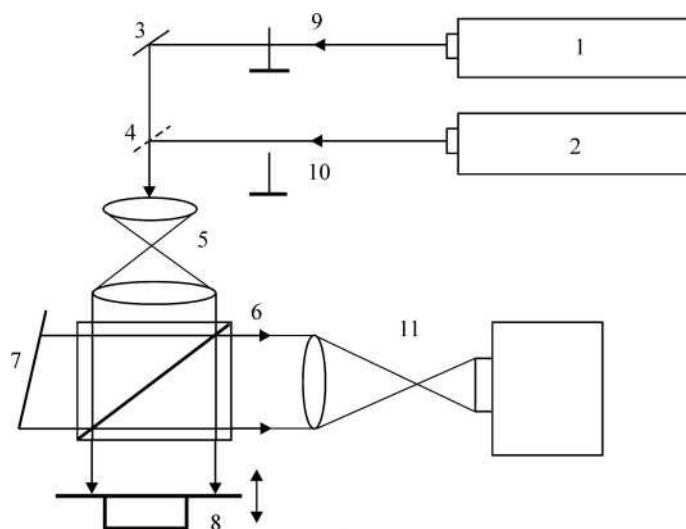


Рис. 2. Оптическая схема интерферометра: 1,2- лазеры; 3,7- зеркала; 4 – полупрозрачное зеркало; 5 - коллиматор; 6 - светоделительный кубик; 8 - подвижное опорное зеркало; 10-прерыватели луча; 11 - устройство ввода

5.Скорректировать разности хода на фазовой плоскости и определить полную разность хода (OPD) по основному алгоритму.

Экспериментальная проверка производилась путем измерения рельефа эталонного объекта основным и предлагаемым способами. Оптическая схема лазерной интерферометрической системы приведена на рис. 2.

На первом этапе регистрировалось несколько интерферограмм с различными фазовыми сдвигами. Величина фазового сдвига, вносимого между экспозициями интерферограмм, равна $\lambda/10$. Регистрация интерферограмм выполнялась следующим образом: сначала поочередно регистрировались интерферограммы с разными длинами волн, затем изменялось положение опорного зеркала.

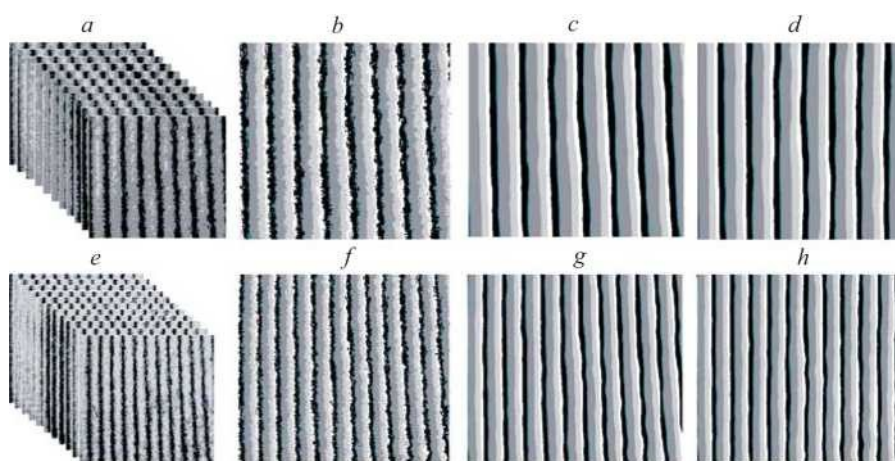


Рис. 3. Результаты первого этапа алгоритма коррекции: интерферограммы (*a*, *e*), локальные фазы (*b*, *f*), локальные фазы после фильтрации для длин волн 633 нм (*c*, *g*) и 488 нм (*d*, *h*)

Всего было зарегистрировано 22 интерферограммы: 11- с длиной волны 633 нм и 11 — с длиной волны 488 нм (рис. 3, *a*, *e*). На рис. 3, *b*, *f* показаны результаты вычисления локальных фаз. Для снижения дестабилизирующих факторов выполнялась фильтрация спекл-шумов (рис. 3, *c*, *g*) и устранение волновых aberrаций оптической схемы интерферометра (рис. 3, *d*, *h*) соответственно.

На втором этапе вычислялись локальные фазы и ϕ_2 согласно методике, изложенной в. Фазовые профили интерферограмм ϕ_1 и ϕ_2 для длин

волн 633 и 488 нм показаны на рис. 4, *a*, *b* соответственно и разность фаз между ними на рис. 4, *c*. На основе вычисленной разности фаз $\Delta\phi$ определялись изо- фазные области ($\Delta\phi = \text{const}$) и синтезированные фазы (ϕ_1, ϕ_2) и (φ_1, φ_2) и вычисление соответствующих им полных фаз Φ , Φ_1 , и Φ_2 по модифицированному методу (рис. 5, *a-f*).

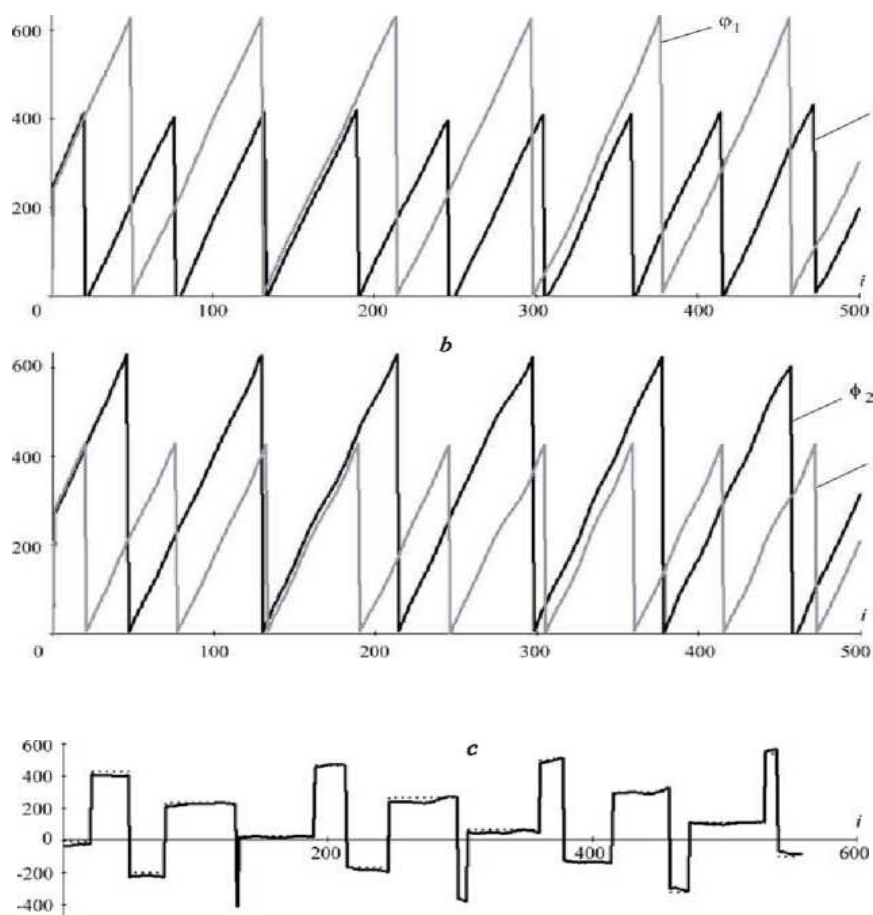


Рис. 4. Фазовые профили второго этапа: профили фаз ϕ_1 , ϕ_2 и соответствующие им синтезированные фазы φ_1 , φ_2 (a,b), разность фаз $\Delta\phi$ (c)

Результаты коррекции траектории полной фазы до ближайшей разрешенной диагонали линии сигналов (по правилам (4)-(6)) для базового и модифицированного методов показаны на рис. 5, *b, d, f*. Из рис. 5, *b* видно, что результирующая погрешность полной фазы после устранения фазовой неоднозначности для базового метода много больше длины волны λ из-за наличия грубых ошибок, вызванных искажением профиля ин-

терференционных полос при коррекции фазы. Погрешность измерения полной фазы после устранения фазовой неоднозначности по модифицированному методу не превышает погрешности измерения локальных фаз, что следует из рис. 5, *d, f*.

Абсолютная погрешность измерения полной фазы, полученной усреднением фаз Φ_1 и Φ_2 , не превышает 2-5 нм.

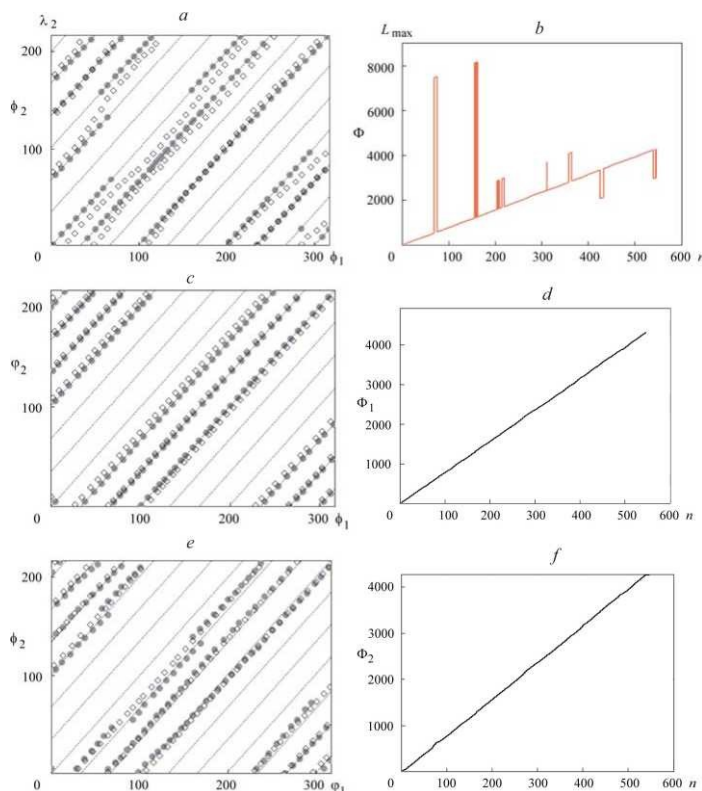


Рис. 5. Результаты вычислений третьего этапа: фазовые плоскости (ϕ_1 , ϕ_2) (*a*), (ϕ_1 , ϕ_2) (*c*), (ϕ_1 , ϕ_2) (*e*); полная фаза Φ (*b*), Φ_1 (*d*), Φ_2 (*f*)

Среднеквадратическая погрешность измерения полной для модифицированного метода не превышает 1-2 нм, что соответствует погрешности расшифровки мене $\lambda/300$.

Заключение. Исправление ошибок, возникающих при управлении фазами, требует системного подхода, технологий, обучения и активного участия сотрудников. Эти методы позволяют повысить эффективность управления и постоянно совершенствовать процессы.

Литературы

- 1.Imomov Sh. Engineering Design Calculation of a Biogas Unit Recuperator Applied Solar Energy, September 2007, Volume 43, Issue 3, pp. 196- 197.
- 2.Imomov Sh. Heat transfer process during phase back-and-forth motion with biomass pulse loading. Applied Solar Energy, June 2009, Volume 45, Issue 2, pp. 116-119.
- 3.Имомов НЕ, Каюмов Т., Усмонов К., Хакимов Б., Султонов М. Способ переработки органических отходов и установка для его осуществления. А01С3/00, С05F3/00. IAP 20160389.UZ. Оф.вес. №3.
- 4.Имомов Ш., Мамадалиева З. Султонов М., Усмонов К., Худойбердиев А. Каюмов Т. Мусурмонов Ш.Программа для контроля
- 5.Karimjonov, D. D., Siddiqov, I. X., Azamov, S. S., & Uzakov, R. (2023, March). Study on determination of an asynchronous motor's reactive power by the current-to-voltage converter. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1142, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
- 6.Zakirova Irodaxon Zakrullayevna, Mamadaliyev Muhammadjon Ahmadaliyevich.(2022.april) European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies. MSS Ugli... - ... International Journal of Multidisciplinary Research and ..., 2022