

Разработка методов линеаризации лазерно-интерферометрических данных

Д.В. Александров, М.Н. Дубров, В.В. Кравцов

(Фрязино, Московской обл.)

Рассматривается результат интерференции двух когерентных пучка света, которые при сложении в плоскости фотоприёмника образуют интерференционную картину – интерферограмму. Распределение интенсивности I интерферограммы, образованной складываемыми пучками света, может быть записано в виде:

$$I = I_0(1 + m \cos \delta(t)), \quad (1)$$

где I_0 - сумма интенсивностей, а δ - меняющаяся во времени разность фаз интерферирующих пучков. Коэффициент m в выражении (1) называется видностью интерференционных полос и определяет контрастность образованной интерферограммы. При этом под интенсивностью света I , I_0 подразумевается усредненное по времени количество энергии, пересекающее единицу площади, перпендикулярной к направлению потока энергии, в единицу времени [1].

Первое слагаемое в выражении (1) является постоянным во времени, а величина второго слагаемого меняется по синусоидальному закону в зависимости от δ и является нелинейной функцией при произвольном изменении разности фаз $\delta(t)$ интерферирующих пучков во времени [2].

Если в какой-либо схеме интерферометра один из интерферирующих пучков проходит дополнительный оптический путь L , например, в измерительном плече интерферометра, то разность фаз будет иметь следующий вид:

$$\delta(t) = \omega L(t) / c = 2\pi L(t) / \lambda, \quad (2)$$

где ω - круговая частота, λ - длина волны, c - скорость света. Таким образом, задачей интерферометрического опыта является решение нелинейного уравнения, которое может быть получено при подстановке (2) в выражение (1) :

$$I(t) = A + B \cos(2\pi L(t) / \lambda) \quad (3)$$

где $I(t)$ - измеренная фотоприемником интенсивность интерферограммы, а постоянные коэффициенты A и B определяются суммарной интенсивностью I_0 интерферирующих пучков и видностью m интерферограммы.

При изменении оптического пути $L(t)$ в интерферометре на величину, больше, чем $\lambda/2$, решение уравнения (3) является неоднозначным и требует применения специальных численных алгоритмов для его нахождения. Задача существенно упрощается при введении аппаратной пространственно-временной модуляции оптического пути $L(t)$. Это позволяет разрешить неоднозначность при переходе аргумента в (3) через особые точки πn ($n = 0, 1, 2, 3,$) и дает возможность осуществлять программную нормировку сигнала при меняющихся во времени величинах параметров I_0 и m .

Приводятся примеры применения описанных методов обработки лазерно-интерферометрических данных, полученных с помощью равноплечего 100-метрового интерферометра-деформографа на полигоне ФИРЭ РАН [3]. Показан исходный интерференционный сигнал $I(t)$, зарегистрированный на выходе интерферометра и результат численного решения уравнения (3), дающего искомую зависимость $L(t)$. При длине волны используемого лазера $\lambda = 633$ нм дискретность вычисления величины $L(t)$ для реальных алгоритмов составляет 0,05 нм. Дискретность квантования интерференционного сигнала по времени для приведенных примеров составляет 0,5 – 1 мс. С применением созданных методов разработаны новые прецизионные измерительные схемы на основе управляемых лазерных резонаторов-интерферометров.

1 Борн М., Вольф Э. Основы оптики // М. Наука. 1970. 855 с.

2 Александров Д.В., Дубров М.Н., Кравцов В.В. Разработка и апробация методов линеаризации данных лазерного интерферометра-деформографа // Нелинейный мир. 2016. т. 14. №1. с. 6-7.

3 Дубров М.Н., Александров Д.В., Кравцов В.В. Лазерные интерферометры-деформографы: новые разработки и применение // Исследовано в России. 2013. 025. с.354-359. <http://sci-journal.ru/articles/2013/025.pdf>