### ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

# Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции



Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Проект № 17-07-20539

1 – 10 октября 2017 года Россия, г. Сочи

#### ЦИФРОВАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ

Гужов В.И., Ильиных С.П., Хайдуков Д.С. Новосибирский государственный технический университет

Для компьютерного моделирования голографической интерферометрии методом двух экспозиций получено две голограммы: одна для исходного состояния объекта, другая для объекта после его деформации. Затем рассчитана результирующая голограмма сложением полей интенсивностей двух голограмм и по ней восстановлен комплексный волновой фронт. Качество восстановления информации о фазовой разности между двумя состояниями объекта не уступает методам классической голографической интерферометрии с углами порядка 30-60 градусов, но в этом случае не требуется применения промежуточной записи голограмм с помощью фоторегистрирующих сред.

Ключевые слова: цифровая голографическая интерферометрия, пошаговый фазовый сдвиг, метод двух экспозиций.

Digital holographic interferometry. V. I. Guzhov, S. P. Ilinykh, D. S. Khaydukov. Novosibirsk state technical University

For computer simulation of holographic interferometry by a method of two exposures obtained two holograms: one for the initial state of the object, the other object after its deformation. Then, the resulting hologram is calculated by adding the fields of the intensities of the two holograms and the recovered complex wavefront. The recovering information about the phase difference between two States of an object not inferior to the classical methods of holographic interferometry with angles of the order of 30-60 degrees, but in this case does not require the use of intermediate hologram using photorecording media.

Keywords: digital holographic interferometry, incremental phase shift, the method of two exposures.

# **1 Получение и расшифровка голографических интерферограмм методом двух экспозиций** На рисунке 1 показана модель пластинки, которая имеет некоторый наклон. Первое состояние —

пластинка с наклоном от 0 до  $\lambda$  ( $\lambda$  - длина волны источника освещения равна 0,5 мкм), второе состояние — наклон от 0 до  $4\lambda$  . Фазовый шум — 0,02 мкм.

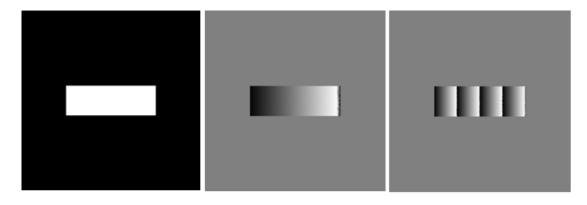


Рисунок 1 — Распределение комплексных амплитуд в плоскости касательной к объекту (слева — направо: амплитуда, фаза: первое и второе состояние объекта).

Пусть область формирования голограммы находится в области Френеля [1]. В плоскости голограммы получим две голограммы - для одного и другого состояния объекта. Угол между объектным и опорным пучками  $\theta_y = 0.7^\circ$ . Сложив интенсивности двух голограмм, получим голограмму для двух экспозиций.

Восстановим из неё волновое поле сразу же за голограммой умножением на фронт перпендикулярный плоскости голограммы. В плоскости изображения получим комплексный фронт соответствующий разности двух состояний объекта.

Выделим амплитуду и фазу (рисунок 2). В центре - центральный пучок. Внизу выделено действительное изображение объекта с интерференционными полосами, соответствующими деформации. Видно, что качественно полосы соответствуют разности двух состояний объекта (3 полосы прослеживаются).

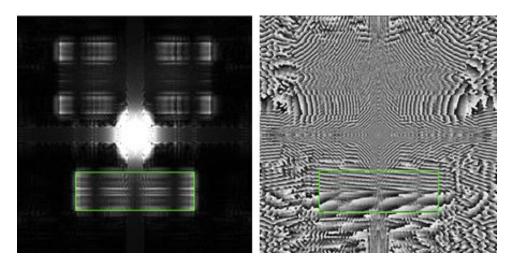


Рисунок 2 – Восстановленное из голограммы, полученной методом двойной экспозиции, комплексное изображение объекта (слева – амплитуда, справа – фаза).

Если голограмму умножить на фронт соответствующий опорной волне, изображение объекта в плоскости изображения будет в центре (рисунок 3).

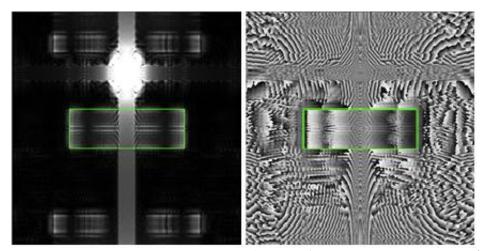


Рисунок 3 – Восстановленное комплексное изображение (слева – амплитуда, справа – фаза).

К сожалению, при небольшом угле между объектным и опорным пучками, влияние центрального пятна приводит к сильному искажению полезной информации. Поэтому количественный анализ произвести очень сложно из-за низкого качества результирующей интерференционной картины. Значительное повышение качества обеспечивает метод пошагового фазового сдвига (PSI).

#### 2 Использование пошагового фазового сдвига для прямого сравнения волновых фронтов

Получим голограммы для двух состояний объекта при четырех значениях фазовых сдвигов между интерферирующими пучками. Число фазовых сдвигов должно быть больше трех. Значения сдвигов должны быть известны.

Пусть m=4:  $\delta_0=0^\circ$ ,  $\delta_1=90^\circ$ ,  $\delta_2=180^\circ$ ,  $\delta_3=270^\circ$ . Тогда мы можем сформировать 4 голограммы -  $I_0$ ,  $I_{\pi/2}$ ,  $I_{\pi}$ ,  $I_{3\pi/2}$  для одного состояния объекта и 4 голограммы для другого состояния (всего 8 голограмм).

По методике, изложенной в предыдущем разделе («Методы подавления нулевого порядка дифракции на основе внесения пошагового фазового сдвига») можно прямо восстановить комплексные волновые фронты в плоскости изображения для первого и второго состояния объекта (рисунок 4).

«Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» Сборник трудов XIV международной научно-практической конференции, 2017

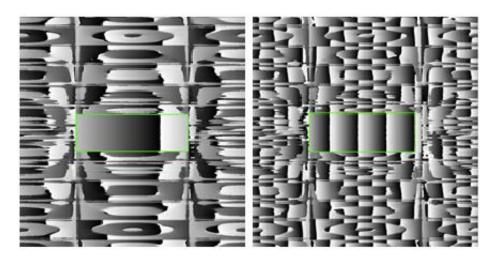


Рисунок 4 — Восстановленные фазовые распределения (слева — для первого состояния, справа — для второго).

Сложив комплексные амплитуды, можно найти фазовую разность между двумя состояниями (рисунок 5). Видно, что амплитуда соответствует интерференционной картине между двумя состояниям объекта, а распределение фаз определяется неправильно.

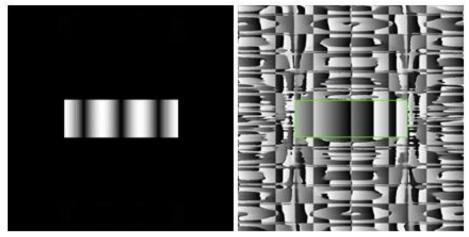


Рисунок 5 — Восстановленное комплексное изображение фазовой разности (слева — амплитуда, справа — фаза).

Причиной неправильного фазового распределения является  $2\pi$  неоднозначность. Искать разность фаз можно лишь после устранения такой неоднозначности для первого и второго состояния. К сожалению, это достаточно сложная процедура, особенно при наличии шумов (диффузности поверхности объекта). Для определения фазового распределения необходимо также знать точный угол между интерферирующими полосами. Однако амплитуда интерференционной картины хорошо поддается компьютерной расшифровке.

## 2 Модифицированный способ получения и расшифровки голографических интерферограмм при использовании метода пошагового фазового сдвига

Ниже описан алгоритм, который при том же количестве голограмм, выделяет фазовую разность между двумя состояниями объекта.

Получим математические голограммы для первого состояния объекта с пошаговыми фазовыми сдвигами  $\delta_0$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ . Затем получим четыре математические голограммы для второго состояниями с такими же фазовыми сдвигами (всего 8 голограмм).

Складываем комплексные поля сразу же после голограммы (математические голограммы) для двух состояний объекта, полученных со сдвигами  $\delta_0$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ . Умножаем на комплексное поле, соответствующее опорной волне. Восстанавливаем амплитуду комплексного поля в области изображения. Таким образом, получаем первую голографическую интерферограмму.

Для получения второй интерферограммы складываем комплексное поле для первого состояния, полученное с такими же сдвигами  $\delta_0$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ , а для второго состояния при определении математической голограммы используем уже существующие голограммы со сдвигами в другом порядке -  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ ,  $\delta_0$ . Для получения третьей для второго состояния используем голограммы со сдвигами-  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ ,  $\delta_0$ ,  $\delta_1$ . Для четвертой со сдвигами  $\delta_3$ ,  $\delta_0$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  В результате получим серию голографических интерферограмм с фазовыми сдвигами  $\delta_0$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ . На рисунке 6.6. слева показаны полученные голографические интерферограммы со сдвигами  $\delta_0$  = 0°,  $\delta_1$  = 90°,  $\delta_2$  = 180°,  $\delta_3$  = 270° Расшифровывая серию интерферограмм получим исходное распределение фаз (рисунок 6 справа). Расшифровка цифровых голограмм производилась по разработанным авторами алгоритмам [].

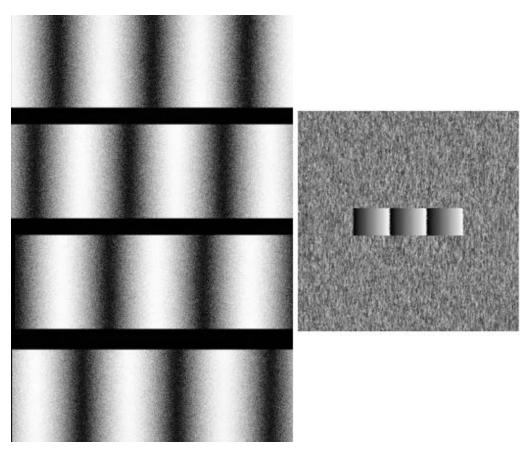


Рисунок 6 — Голографические интерференционные картины, полученные методом пошагового фазового сдвига (слева: интерференционные картины со сдвигами  $\delta_0=0^\circ$ ,  $\delta_1=90^\circ$ ,  $\delta_2=180^\circ$ ,  $\delta_3=270^\circ$ , справа: восстановленные фазовые значения).

Достоинством метода голографической интерферометрии является то, что фактически сравниваются между собой произвольные волновые поля. Главное, чтобы разница между ними (зависящая от деформации объекта) была небольшой.

Таким образом, для получения и расшифровки голографических интерферограмм при небольших углах между объектным и опорным пучками необходимо получить серию голограмм при первом состоянии и серию голограмм после деформирования (при втором состоянии объекта) объекта с известными фазовыми сдвигами [2-6].

Качество восстановления информации о фазовой разности между двумя состояниями объекта не уступает методам классической голографической интерферометрии с углами порядка 30-60 градусов [7, 8], но в этом случае не требуется применения промежуточной записи голограмм с помощью фоторегистрирующих сред.

### Литература

1. Александров Е.Б., Бонч-Бруевич А.М. Исследование поверхностных деформаций с помощью голограммной техники // ЖТФ. 1967. Т. 37. В. 2. С. 360–365.

- 2. Gushov V.I., Solodkin Yu.N. Automatic processing of fringe patterns in integer interferometers. Optics and Lasers in Engineering. 1991. T. 14. № 4-5. C. 311-324.
- 3. Ильиных С.П., Гужов В.И., Кафидова Н.Е., Бочаров Д.Д. робастный алгоритм расшифровки интерферограмм. Автометрия. 2005. Т. 41. № 3. С. 122-125.
- 4. Ильиных С.П.., Гужов В.И. Обобщенный алгоритм расшифровки интерферограмм с пошаговым сдвигом// Автометрия.-2002.- №3. -С.123-126.
- 5. Гужов В.И., Ильиных С.П., Хайбулин С.В. / Восстановление фазовой информации на основе методов пошагового фазового сдвига при малых углах между интерферирующими пучками // Автометрия. 2017. Т. 53, №3. С. 101-106.
- 6. Восстановление фазовой информации из цифровых голограмм при малых углах интерференции / Гужов В.И., Ильиных С.П. // Труды XIII международной научно-технической конференции актуальные проблемы электронного приборостроения. Том 3, Часть 2, 2016 pp. 80–82.
- 7. Цифровая голографическая интерферометрия реального времени для экспериментального исследования напряженно-деформированного сосотояния динамических объектов. / Гужов В.И., Ильиных С.П., Кузнецов Р.А., Кабак Е.С. // Омский научный вестник, Омск , − 2015.-№1(137) С. 158 162.
- 8. Цифровая голографическая система реального времени. / Гужов В.И., Ильиных С.П., Хайдуков Д.С., Кабак Е.С. // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск , -2014.-N $_{2}4(78)$  C. 97 112.

### МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Кокин В.В., Портнов Е.М., Чжо Зин Лин, Каунг Сан, Аунг Чжо Мьо Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» +7(926)100-91-00, Kokinvv@gmail.com

Предложена методика выявления одиночных отказов в процессе технической диагностики систем управления технологическими процессами, направленная на выбор некоторой группы тестов, достаточной для обнаружения отказавшего элемента и определения условного порядка последовательного применения тестов по критерию минимизации среднего значения суммарной стоимости процедуры тестирования. Предложен алгоритм тестирования системы с полным охватом компонентов по критерию минимального времени поиска отказавшего элемента, который обеспечивает повышение быстродействия при использовании предложенного алгоритма от 6,6% до 38,3 %.

Ключевые слова: системы управления, отказ, тестирование, алгоритм, матрица, контроль.

Failures detection method in complex systems of control of technological processes. Kokin V.V., Portnov E.M., Kyaw Zin Lin, Kaung San, Aung Kyaw Myo. National Research University of Electronic Technology

A technique for identifying single failures in the process of technical diagnostics of process control systems is proposed. These methods are aimed at selecting a group of tests that are sufficient to detect the failed element and determine the conditional order of successive application of tests by the criterion of minimizing the average value of the total cost of the testing procedure. An algorithm for testing a system with full coverage of components is proposed based on the criterion of the minimum search time of the failed element. It provides an increase in performance with the use of the proposed algorithm from 6.6% to 38.3%.

Keywords: control systems, failure, testing, algorithm, matrix, control.

В настоящее время используемые для управления технологическими процессами автоматизированные системы (АСУТП) представляют из себя сложные программно-технические комплексы. Для повышения их надежности функционирования и снижения вероятности возникновения сбоев и отказов систем необходимо осуществление их диагностики [1,2].

Представим АСУТП как совокупность из N составляющих компонентов, которые соединены между собой сложными функциональными связями. Обозначим множеством  $\Theta$  совокупность элементов системы. Представим  $R_i$  - вероятность работоспособного состояния i-го компонента системы, а  $E_i$  - вероятность его отказа, причем ( $E_i = 1 - R_i$ ). Предположим также, что отказы отдельных компонентов системы являются взаимонезависимыми. Диагностика АСУТП состоит в применении специальных тестов, которые проверяют работоспособность вполне определенного подмножества ее компонентов. Целями проведения технической диагностики могут являться:

• проверка работоспособности системы, то есть обнаружение имеющихся отказов;

# «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» Сборник трудов XIV международной научно-практической конференции, 2017

Данилова Е.А., Кочегаров И.И., Юрков Н.К. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОГ
ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
Лысенко А.В., Трусов В.А., Данилова Е.А., Горячев Н.В., Бростилов С.А. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ КОМПОНЕНТОВ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
Бойцова М. В., Гришко А. К., Приказчикова О.Ф., Кузина Е.А., Тюрина Л.А. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ 502
Американов А.А., Лежнев Е.В. РАЗРАБОТКА ПОДВИЖНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕЛЕПРЕСУТСТВИЯ50°
Гужов В.И., Ильиных С.П., Хайдуков Д.С. ЦИФРОВАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ510
Кокин В.В., Портнов Е.М., Чжо Зин Лин, Каунг Сан, Аунг Чжо Мьо МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ОТКАЗОВ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ514
Котельникова И.А., Наумов В.Ю., Авдеюк О.А. КЕЙС- МЕТОД КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ СПО ПО МАТЕМАТИКЕ
Тимошина О.В., Наумов В.Ю., Авдеюк О.А. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПРОЕКТОВ В ОБУЧЕНИИ ФИЗИКЕ
Иванов И.А., Королев П.С. ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
Грачев Н.Н., Сафонов С.Н. ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКА КОНТАКТНЫХ ПОМЕХ НА АВТОТРАНСПОРТЕ52:
Кофанов Ю.Н., Субботин С.А. ВИРТУАЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОВЕРКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ530
Кофанов Ю. Н., Саргсян Г. А., Сотникова С.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ53
Курбанмагомедов К.Д О ВЕРОЯТНОСТНОМ ОБОСНОВАНИИ АДАПТИВНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ С РАЗРЯДНО - МОДУЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ53:
Мутаев М.А. АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОИСКА И РАЗВИТИЯ СЛОИСТЫХ ТРЕЩИН I ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ53
Финогеев А.А., Финогеев А.Г. МЕТОД И МОДЕЛЬ КОНВЕРГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ СЕНСОРНЫХ ДАННЫХ ДЛУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ