

**АНАЛІЗ СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОГРАМ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ  
ДОСЛІДЖЕННЯХ БІОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
МІКРООБ'ЄКТІ**

*Богомолов М. Ф., доц., к.т.н; Каньшина. Г. П.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

При когерентному освітленні випадково-неоднорідних об'єктів, таких, наприклад, як шорстка поверхня або прозоре середовище з флуктуюючим у просторі показником заломлення, в розсіяному полі формується спекл-структура.

Лазерні методи спекл-інтерферометрії можна розділити на дві групи: спекл-фотографію й кореляційну спекл-інтерферометрію. В обох методах тим або іншим способом реалізується інтерференційне порівняння оптичних образів двох станів об'єкта: початкового і зміненого (зміщеного або деформованого). Одержувана інтерференційна картина служить сигналом вимірювальної інформації.

Суть методів спекл-фотографії полягає в реєстрації двох картин з випадковою структурою. Одна картина відповідає вихідному стану об'єкта, друга - його зміненому стану. Зміна стану об'єкта призводить до зміщення випадкової структури в площині реєстрації. Аналіз отриманої інформації полягає в утворенні зведеної картини, виконанні операції перетворення Фур'є і формуванні спектра просторових частот. Період, одержуваної при цьому картини смуг, однозначно пов'язаний з величиною зміщення випадкової структури в площині реєстрації.

Будь-яка інтерференційна картина являє собою смуги кореляції інтерферуючих полів. У кореляційній спекл-інтерферометрії спостерігають смуги кореляції полів (не комплексних амплітуд), а просторових розподілів інтенсивностей, одержуваних при інтерференції спекл-модульованих хвиль. У цьому відношенні кореляційну спекл-інтерферометрію можна розглядати в якості просторового аналога класичної інтерферометрії інтенсивностей.

Найбільш досконалі методи спостереження смуг кореляції — електронні та цифрові, засновані на процедурі віднімання відеокадрів зображень спекл-картин електронними засобами або з використанням комп'ютерів. В електронній спекл-інтерферометрії за допомогою високороздільній відеокамері отримують відеосигнал, відповідний спекл — структурі зображення незміщеного об'єкта. Цей сигнал запам'ятовується в спеціальному пристрої. Потім об'єкт зміщується, і сигнал від зміненої спекл-структури в спеціальному процесорі віднімається з первісного сигналу. Різницевий сигнал на виході процесора піддається спеціальній обробці і надходить на монітор, на екрані якого візуалізується картина смуг кореляції. Області з

ідентичними спекл-структурами через віднімання відповідних їм ідентичних відеосигналів виглядають темними, і, навпаки, області декореляції спекл-структур — світлими [4].

Для встановлення зв'язку шуканого зсуву з відмінностями двох зображень розглянемо трансляційне зрушення. Це — випадок, коли об'єкт або деяка його область, розглядом якої ми поки обмежимося, зсувається паралельно самій собі на відстань  $\vec{\tau}_0$ .

Тоді, якщо вихідний розподіл інтенсивностей  $I_0(\vec{r})$ , то на другій фотографії об'єкту розподіл інтенсивностей  $I_1(\vec{r}) = I_0(\vec{r} + \vec{\tau}_0)$ . Фур'є – образи цих двох розподілів

$$F_0(\vec{q}) = \int_S d\vec{r} I_0(\vec{r}) \exp(-i2\pi\vec{q}\vec{r}), \quad (1)$$
$$F_1(\vec{q}) = \exp(-i2\pi\vec{q}\vec{\tau}_0) F_0(\vec{q}),$$

де  $\vec{q}$  — просторова частота.

Квадрат модуля фур'є-образу сумарного зображення  $J(\vec{r}) = I_0(\vec{r}) + I_0(\vec{r} + \vec{\tau}_0)$  буде

$$|\Phi(\vec{q})|^2 = 2|F_0(\vec{q})|^2 [1 + \cos(2\pi\vec{q}\vec{\tau}_0)], \quad (2)$$

Тобто за періодом смуг та їх орієнтації визначається величина трансляційного зсуву, але не залишається знаку цього зсуву. Такий процес — це моделювання оптичної обробки в класичній спекл-фотографії. Комп'ютерна обробка допускає будь-яку послідовність дій.

Змінимо послідовність дій. Візьмемо фур'є-образ не сумарного зображення, а кожного окремо, а потім зробимо зворотне фур'є-перетворення від цих фур'є-образів  $\Phi(\vec{q}) = F_0(\vec{q})F_1^*(\vec{q})$ . При відповідному нормуванні така процедура призводить до отримання функції кореляції зображення

$$K_{\text{єз}}(\vec{\tau}) = \int_S d\vec{r} I_0(\vec{r}) I_1(\vec{r} + \vec{\tau}), \quad (3)$$

де  $S$  — область, за якою відбувається інтегрування. У випадку жорсткого зміщення або вибору на картині ділянки такого розміру, що зображення переміщується як ціле, без деформації, функція взаємної кореляції (3) приймає вигляд:

$$K_{\text{єз}}(\vec{\tau}) = \int_S d\vec{r} I_0(\vec{r}) I_0(\vec{r} + \vec{\tau} - \vec{\tau}_0), \quad (4)$$

де  $\vec{\tau}_0$  — вектор зміщення для всього зображення, або вектор локального зміщення у випадку обмеженої області. Неважко бачити, що  $K_{\text{єз}}(\vec{\tau})$  відповідає функції автокореляції неспотвореного зображення, зміщеного на  $\vec{\tau}_0$ . За положенням максимуму визначається локальне значення  $\vec{\tau}_0$  для данної області інтегрування, яку ми приписуємо точці зображення, відповідній

центру вікна.

Такий спосіб можна застосувати не тільки до модульних картин, що імітують спекл-структуру, а й до широкого кола об'єктів, що володіють випадковими амплітудно-модульованими зображеннями. Бажано, щоб ці зображення мали малий радіус кореляції.

Спеклова структура містить інформацію про мікрорельєфи і форму об'єкта. Проводячи статистичну обробку плямистої структури, можна отримати інформацію про параметри переміщення об'єкта, у тому числі про його зсуви, швидкість руху, амплітуду і частоту його вібрацій. Перевага методів дослідження поверхні за допомогою спекл-структур полягає в можливості вивчення об'єктів, недоступних для безпосереднього спостереження, з метою вимірювання параметрів мікрорельєфу, форми і переміщень, порівнюваних з довжиною хвилі, при порівняльній простоті технічної реалізації цих методів.

#### **Перелік посилань**

1. Пішак В.П. Медична біологія/ НОВА КНИГА, Вінниця, 2005, 656 с.
2. Луцик О.Д. Гістологія людини /О.Д. Луцик, А.Й. Іваноа, К.С. Кабак та ін. Київ, Книга плюс, 2003.-592с.
3. Лопатин В.Н., Приезжев А.В., Апонасенко А.Д. и др. Методы светорассеяния в анализе дисперсных биологических сред. Москва: Физматлит, 2004, 384 с.
4. Ульянов С. С. Что такое спеклы / Ульянов С. С.. // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №5.
5. Пушкарева А.Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани / А.Е. Пушкарева. – Санкт-Петербург: ИТМО, 2008. – 96 с.

#### **Анотація**

Для кількісної оцінки інтерферограм пропонується використовувати спекл-інтерферометрію. Теоретично показано утворення спекл-структур при проходженні лазерного випромінювання крізь неоднорідності. Представлено методи обробки спекл-інтерферограм. Під час аналізу статистичних даних знаходяться характерні зони, за допомогою яких і здійснюється попередній аналіз.

**Ключові слова:** спекл-інтерферометрія, експрес-аналіз, лазер.

#### **Аннотация**

Для количественной оценки интерферограм предлагается использовать спекл-интерферометрию. Теоретически показано образование спекл-структур при прохождении лазерного излучения через неоднородности. Представлены методы обработки спекл-интерферограмм. Во время анализа статистических данных находят характерные зоны, с помощью которых и осуществляется предварительный анализ.

**Ключевые слова:** спекл-интерферометрия, экспрес-анализ, лазер.

#### **Abstract**

Speckle interferometry usage is proposed to quantify the interferogram. The formation of speckle patterns at the passage of laser radiation through heterogeneity is shown theoretically. Processing methods of speckle interferograms are presented. During the analysis of statistical data typical areas are found and preliminary analysis is carried out.

**Keywords:** speckle-interferometry, express-analysis, laser.