

УДК 535.361

Д.Р. Братова, студент гр. ПО-82мп
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ГОЛОГРАМ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ

Анотація. Використання вейвлет - аналізу дозволяє не лише ефективно фільтрувати шумову складову прийнятого сигналу, а і, користуючись властивостями цього перетворення, обробляти цифрову голограму. У статті описується метод знаходження центрів інтерференційних смуг, які реєструються цифровою камерою.

Ключові слова: цифрова голографія, вейвлет-аналіз, інтерференція, цифрова обробка.

ВСТУП

Серед величезної кількості методів неруйнівного контролю найбільш перспективними є оптичні методи на основі цифрової голографії [1]. Інтерференція, що виникає в результаті відображення когерентного випромінювання від досліджуваної поверхні, містить в собі не тільки інформацію про тривимірну структуру об'єкта, а й дає можливість оцінити наявність механічних напруженостей [2].

Існує [3] досить багато алгоритмів обробки отриманих цифрових голограм, але всі вони мають свої недоліки, пов'язані з тим, що цифрове зображення має низьку роздільну здатність в порівнянні з її аналоговим варіантом (наприклад, цифрова ПЗС -матриця має роздільну здатність $R \leq 330$ лін / мм, в той час, як для реєстрації інтерференційної картини, що виникає при довжині хвилі $\lambda \approx 600$ нм, потрібна світлочутливе середовище з роздільною здатністю $R \geq 2500$ лін / мм). Такі вимоги до цифрової камери і цифрового зображення в значній мірі обмежують використання вищеописаних алгоритмів, що веде до безперервного пошуку більш вдалого варіанту для вирішення завдання аналізу цифрових голограм. Таким варіантом може стати використання вейвлет - обробки. Останнім часом [4] інструментальна база алгоритмів на основі вейвлет - перетворення постійно розширюється, що дає можливість застосовувати їх в різних областях науки і техніки, в тому числі і в цифровій голографії.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Основним напрямком, в якому буде використовуватися вейвлет - перетворення це задача розгортки фази. Вирішення цього завдання, зокрема, є одним з етапів технології побудови цифрової моделі тривимірної поверхні досліджуваного об'єкта.

Нехай площина ПЗС-матриці буде перебувати в дальній зоні, що відповідає дифракції Фраунгофера. Тоді для поля об'єкта, в площині зформованої голограми, можна записати:

$$U_0(x_0, y_0) = \frac{1}{i\lambda} \cdot \frac{e^{(ikd)} \cdot e^{\left(\frac{ik}{2d}[x_0^2 + y_0^2]\right)}}{d} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} A_0(x, y) \cdot e^{\left(\frac{i\pi}{\lambda d}[x \cdot x_0 + y \cdot y_0]\right)} dx dy \quad (1)$$

Явище дифракції, що описується виразом (1) буде давати в площині реєструючого середовища інтерференційну картину, викликану напруженням або порушенням площинності досліджуваного об'єкта. Причому характер і

період цих інтерференційних смуг містить в собі інформацію про тривимірну структуру об'єкта дослідження. Тому подальший розв'язок задачі буде зводитись до аналізу зареєстрованої голограми.

Нехай зображення, що отримується з цифрової камери, буде інтерпретуватися як функція двох змінних змінних $f(x, y)$, де $x=N \cdot \Delta x$, а $y=M \cdot \Delta y$ (N, M – розміри зображення по горизонталі і вертикалі, відповідно, а $\Delta x, \Delta y$ – розміри пікселя (дискретного кроку) цифрової камери). Тоді поставлене завдання можна вирішити двома способами:

1. Застосовуючи двовимірне дискретне вейвлет - перетворення безпосередньо до функції $f(x, y)$;

2. Замінити функцію $f(x, y)$ її безперервним варіантом, ґрунтуючись на найменшій похідній, яка відповідає похідній безперервної функції і далі використовувати безперервне вейвлет - перетворення.

Хоча, на перший погляд, ці два варіанти ґрунтуються на різних способах розв'язку вихідного завдання - обидва вони націлені на один результат, який вимагає пошуку максимумів інтерференційних смуг. Розглянемо випадок, коли вейвлет - перетворення застосовується безпосередньо до дискретної функції голограми. Для пошуку екстремуму інтерференційних смуг скористаємося поняттям градієнта функції. Тут виникає проблема: пошук градієнта від дискретної функції пов'язаний з диференціальними операторами, які можуть посилити шумову складову, що спотворить результати. В даному випадку, застосування вейвлет - перетворення дозволить не тільки очистити сигнал від шуму, але і диференціювати функцію:

$$\frac{d^n}{dt^n} WT[x(t)] = WT\left[\frac{d^n x(t)}{dt^n}\right] = (-1)^n \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \frac{d^n \psi(t)}{dt^n} dt \quad (2)$$

тобто дозволить дослідити дискретну функцію на наявність екстремумів.

Погляньмо на цей підхід на штучно створеній голограмі (див. рис.1). В даному випадку об'єктом дослідження буде найпростіша фігура у вигляді точки розміром в кілька пікселів.

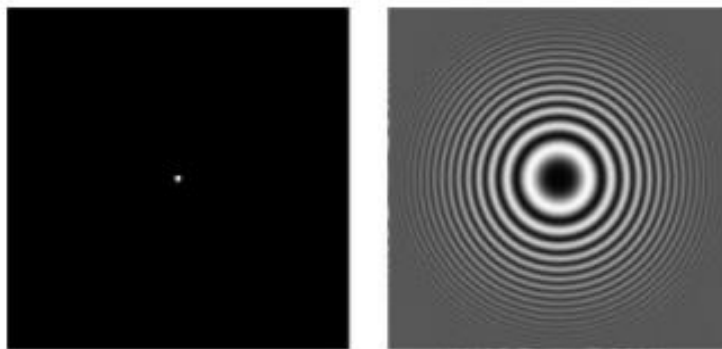


Рисунок.1. Об'єкт дослідження і створена ним голограма.

Застосовуючи до отриманої голограми і пряме і зворотне вейвлет - перетворення і користуючись властивістю (2) знайдемо центри інтерференційних смуг. Центри інтерференційних смуг збігаються з максимумами, отриманими в результаті обробки розробленим алгоритмом.

ВИСНОВОК

Використання вейвлет - перетворення дозволить не тільки ефективно фільтрувати шумову складову, яка виникає при реєстрації голограми цифровою ПЗЗ -матрицею, але так само дозволяє виділити центри інтерференційних смуг, які допоможуть в подальшій реконструкції тривимірної структури досліджуваного об'єкту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. – СПб.Ж СПбГУ ИТМО, 2005. – 260с.
- [2] Гужов В.И., Ильиных С.П. Компьютерная интерферометрия. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 325с
- [3] Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Litres, 2019
- [4] Pavel A. Cheremkhin and Ekaterina A. Kurbatova, "Quality of reconstruction of compressed off-axis digital holograms by frequency filtering and wavelets," Appl. Opt. 57, A55-A64 (2018)

Наук. керівник – доц. Богатирьова Г.В.