

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ГОЛОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ МАП ТА МІКРОРЕЛЬЄФУ ПОВЕРХНІ ОБ'ЄКТІВ.

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто головні відмінності методів цифрової та аналогової голографії а також способи використання цифрової голографії у неруйнівному контролі.

Ключові слова: цифрова голографія, фазові мапи, розгортка фази, двоххвильова голографічна інтерферометрія.

Abstract

Main differences between the methods of digital and analog holography are reviewed along with ways of digital holography usage in nondestructive testing.

Keywords: digital holography, phase maps, phase unwrapping, two-wavelength holographic interferometry.

Вступ

Технологія голографії є важливою ланкою методів оптичної метрології, яка дозволяє записувати повну інформацію про хвильовий фронт, включаючи фазу, амплітуду, поляризацію та когерентність. Оскільки класичні фотодетектори дозволяють вимірювати лише інтенсивність (амплітуду) оптичного поля, здатність голографічних методів реєструвати повну інформацію про параметри оптичного поля дозволяє використовувати їх у принципово нових методах вивчення об'єктів [1].

Метою роботи є огляд методів та систем цифрової голографії для неруйнівного контролю об'єктів.

Основна частина

Традиційний процес отримання голограм на фотопластинах не дозволяє повноцінно інтегрувати голографічні методи у засоби вимірювальної техніки через складність проявлення плівкових голограм та необхідності у витратних матеріалах. Цифрова голографія є сучасним напрямком класичної голографії, у якому замість фотопластин використовуються електронні фоточутливі сенсори, а реконструкція предметного поля здійснюється шляхом чисельного моделювання, наприклад, за допомогою перетворень Фур'є або обчислення інтеграла Френеля-Кірхгофа [2]. Після проведення чисельної реконструкції об'єктного поля отримується масив комплексних чисел, які характеризують комплексну амплітуду у заданій точці.

За рахунок того, що цифрова голограма являє собою масив комплексних чисел, фазу оптичної хвилі можна визначити за наступною формулою:

$$\phi(x, y) = \arctan \frac{\text{Im}\{U(x, y)\}}{\text{Re}\{U(x, y)\}},$$
$$\phi \in [-\pi; \pi],$$

де U – комплексна амплітуда отримана в наслідок чисельного відновлення голограми.

Додавши π до отриманого масиву значень та тим самим змінивши діапазон величин на $[0; 2\pi]$ стає можливим визначення профілю мікрорельєфу поверхні об'єктів. У голографічних системах, в яких предметний промінь формується в наслідок розсіювання поверхнею досліджуваного об'єкта, на основі даної фазової мапи при відомій довжині хвилі випромінювання можливо розрахувати профіль поверхні за допомогою формули:

$$h = \frac{\lambda}{4\pi} \phi,$$

де λ – довжина хвилі лазера, при використанні якого реєструвалась інтерференційна картина.

Оскільки фаза електромагнітної хвилі є періодичною, стає неможливим однозначне визначення зміни довжини оптичного шляху більшого за довжину хвилі, що обумовлює використання методів розгортки фази, які дозволяють отримати мапу абсолютних значень фази з мапи головних значень. Проте, методи розгортки фази не завжди надають коректний результат у випадку наявності завад у фазових мапах або недостатній частоті дискретизації.

При умові забезпечення малої амплітуди завад у зображеннях інтерференційних картин стає можливим використання методу двоххвильової цифрової голографічної інтерферометрії. Суть даного методу полягає у реєстрації та відновленні двох цифрових голограм на різних довжинах хвиль λ_1 і λ_2 та розрахунку еквівалентної фазової мапи за формулою:

$$\Delta\phi = \begin{cases} \phi_1 - \phi_2 + 2\pi, & \Delta\phi < 0 \\ \phi_1 - \phi_2, & \Delta\phi \geq 0 \end{cases},$$

$$\lambda_{\phi_1} < \lambda_{\phi_2},$$

$$\Delta\phi \in [0; 2\pi].$$

Отримана фазова мапа є еквівалентною до такої, що була отримана з використанням довжини хвилі Λ , величина якої визначається за формулою [3]:

$$\lambda_{eq} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{|\lambda_1 - \lambda_2|},$$

У [4] наведено результати вимірювання профілю поверхні резистора за допомогою двоххвильової голографічної інтерферометрії. Використання лазерів з можливістю корегування довжини хвилі випромінювання дозволило отримати 7 голограм і в подальшому розрахувати розподіл інтерференційної фази для 6 синтезованих довжин хвиль (рис. 1).

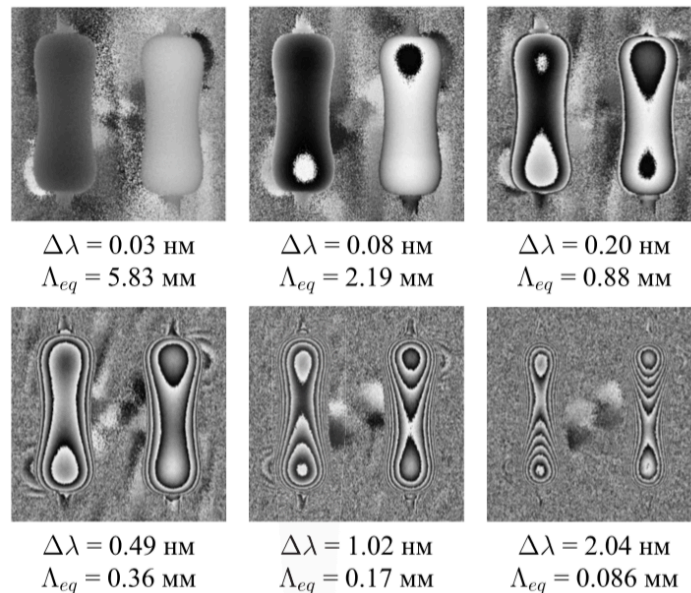


Рис. 1. Розподіл фази оптичного поля розсіяного резистором для різних еквівалентних довжин хвиль Λ_{eq}

Як бачимо, при використанні методу двоххвильової цифрової голографії стає можливим отримання фазових мап на довжинах хвиль мікро- та міліметрового діапазону.

Висновки

В роботі розглянуто ключові відмінності методів цифрової та аналогової голографії. Наведена інформація про основні методи неруйнівного контролю систем цифрової голографії. Розглянуто способи чисельного відновлення цифрових голограм та розрахунку на їх основі фазових мап та профілю мікрорельєфу поверхні об'єктів. Розглянуто спосіб розширення діапазону вимірювання профілю поверхні за допомогою методу двоххвильової голографічної інтерферометрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Schnars U. Digital Holography: Digital Hologram Recording, Numerical Reconstruction, and Related Techniques / U. Schnars, W. Juptner. – Springer, 2005. – 164 p.
2. Schnars U. Digital Holography and Wavefront Sensing: Principles, Techniques and Applications / U. Schnars, C. Falldorf, J. Watson, W. Jüptner. – Springer, 2014. – 226 p.
3. Wyant J. C. Testing Aspherics Using Two-Wavelength Holography / J. C. Wyant // Applied Optics. – 1971. – Vol. 10, Issue 9. – P. 2113-2118.
4. Wolfgang O. Absolute shape control of microcomponents using digital holography and multiwavelength contouring / O. Wolfgang, S. Soenke, B. Torsten, J. Werner // Proceedings of SPIE: Metrology-based Control for Micro-Manufacturing. – 2001. – Vol. 4275. – P. 71-84.

Довгалиук Ростислав Юрійович – аспірант спеціальності 05.12.20 Оптоелектронні системи, Інститут магістратури, аспірантури та докторантури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rdovgaliuk@yandex.ru.

Науковий керівник: **Заболотна Наталія Іванівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри Лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Dovhaliuk Rostyslav Yu. – postgraduate student in Optoelectronic Systems, Institute of Master, Postgraduate and Doctoral Studies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rdovgaliuk@yandex.ru.

Supervisor: **Zabolotna Nataliia I.** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor at Department of Laser and Optoelectronic Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.