

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-279-3-11-15>

УДК 004.04:535.4

РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ІНТЕРФЕРОГРАМИ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Шопін П. Ю., Хорошун Г. М., Барбарук В.М., Рязанцев О.І.

RESULTS OF PRIMARY INTERFEROGRAM PROCESSING FOR MACHINE LEARNING MODEL CONSTRUCTION

Shopin P.Y., Khoroshun G.M., Barbaruk V.M., Ryazantsev O.I.

Робота присвячена обробці інтерферометричних відео та зображень для дисциплін, де вимагається високоточне та динамічне вимірювання фізичних параметрів. Застосування моделей машинного навчання додає нові можливості до аналізу інтерферометричних даних, роблячи їхнє використання більш ефективним та точним. Інтерферометрія застосовується для різноманітних вимірювань, які базуються на інтерференційних явищах для визначення статистичних та динамічних параметрів об'єктів. Вимірювання статичних параметрів за допомогою інтерферометрії може включати: висоту поверхні, деформацію поверхні, товщину шару матеріалу, оптичні властивості, такі як коефіцієнти пропускання чи відбивання світла, напруження та деформацію матеріалу, розташування об'єктів та кутові виміри. Інтерферометри можуть вимірювати динамічні параметри, такі як швидкість та напрямок руху об'єктів в транспортних системах та біологічних клітинах. Інтеграція методів машинного навчання в аналіз інтерферограм може значно покращити ефективність та точність отриманих результатів, особливо в умовах великого обсягу даних та складних паттернів. Основні задачі, які можна виділити для застосування методів машинного навчання це фільтрація шумів, сегментація об'єктів, прогнозування змін, корекція артефактів, оптимізація обробки даних. Для того, щоб побудувати модель машинного навчання необхідно дослідити реальні інтерференційні картини, визначити основні параметри моделі, реалізувати методи автоматичної обробки зображення. Отже, в роботі досліджено реальні інтерференційні картини, надано їх опис, проведена автоматизація процесу визначення їх якості та надання рекомендацій щодо застосування. В даній роботі ми аналізуємо відео експерименту отримання інтерференційної картини, з використанням

інтерферометра Маха-Цендера. Досліджено реальні інтерференційні картини отриманні з відеозапису зйомки роботи інтерферометра Маха-Цендера. Проведено аналіз поведінки інтерференційних смуг - вздовж осі X та вздовж осі Y. Визначені особливі ділянки та характеристики реального сигналу в перерізі інтерферограми. Згідно до отриманих результатів проведено сегментацію зображення. Визначена характерна поведінка в часі світла в цих сегментах. Визначили які сегменти найкращі та найгірші для аналізу та в який проміжок часу.

Ключові слова: підготовка даних, інтерферограма, обробка зображення

Постановка та аналіз проблеми. В сучасному світі для обробки зображень використовуються різні алгоритми та моделі машинного навчання [1-3]. Інтерферометрія, підтримана сучасними методами обробки даних та аналізу [4,5], відіграє ключову роль у великому спектрі дисциплін, де вимагається високоточне та динамічне вимірювання фізичних параметрів. Застосування моделей машинного навчання додає нові можливості до аналізу інтерферометричних даних, роблячи їхнє використання більш ефективним та точним. Інтерферометрія [6-10] застосовується для різноманітних вимірювань, які базуються на інтерференційних явищах для визначення статистичних та динамічних параметрів об'єктів. Вимірювання статичних параметрів за допомогою інтерферометрії може включати: висоту поверхні, деформацію поверхні, товщину шару матеріалу, оптичні властивості, такі як коефіцієнти пропускання чи відбивання світла,

напруження та деформацію матеріалу, розташування об'єктів та кутові виміри.

Інтерферометри можуть вимірювати динамічні параметри, такі як швидкість та напрямок руху об'єктів в транспортних системах та біологічних клітинах. Інтеграція методів машинного навчання в аналіз інтерферограм може значно покращити ефективність та точність отриманих результатів, особливо в умовах великого обсягу даних та складних паттернів. Основні задачі, які можна виділити для застосування методів машинного навчання це фільтрація шумів, сегментація об'єктів, прогнозування змін, корекція артефактів, оптимізація обробки даних. Для того, щоб побудувати модель машинного навчання необхідно дослідити реальні інтерференційні картини, визначити основні параметри моделі, реалізувати методи автоматичної обробки зображення.

Метою роботи є дослідження реальних інтерференційних картин, надання їх опису, автоматизація процесу визначення їх якості та надання рекомендацій щодо застосування.

Для досягнення цієї мети, необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз поведінки інтерференційних смуг;
- провести сегментацію зображення;
- надати характерну поведінку в часі світла в цих сегментах;
- навести рекомендації, щодо використання кожного сегменту в прикладних оптичних задачах.

Отримання інтерферограми. Інтерференція світла — перерозподіл інтенсивності світла в результаті накладення (суперпозиції) декількох когерентних світлових хвиль. Методами комп'ютерної симуляції отримана теоретична ідеальна інтерференційна картина у вигляді смуг рівної товщини (Рис.1). Когерентні хвилі – це хвилі, які мають однакову частоту та постійний зсув фаз. В моделюванні явища інтерференції використовувались хвилі, показані на рис.2.

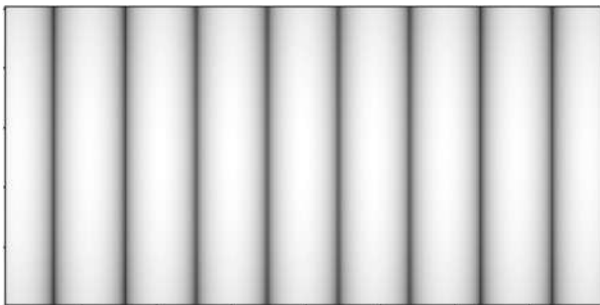


Рис. 1 Інтерференційна картина у вигляді смуг рівної товщини

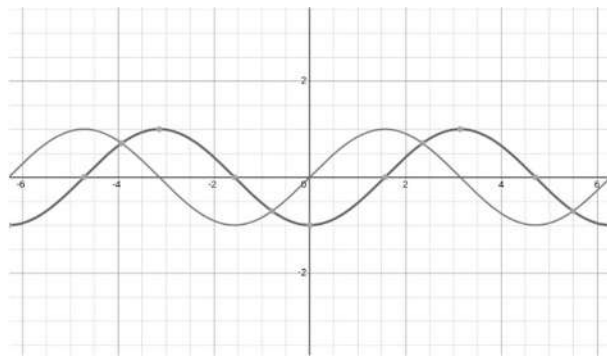


Рис. 2 Приклад когерентних хвиль

Для створення інтерференційної картини необхідно розділити монохромну хвилю від одного джерела випромінювання на дві або більше когерентні хвилі, а потім направити їх на площину спостереження.

Методи отримання когерентних хвиль:

- Розділення по фронту хвилі (експеримент Юнга, біпрізмовий підхід Френеля і інш.);
- Розділення по амплітуді (Кільця Ньютона, інтерферометр Майкельсона, інтерферометр Маха-Цендера);

В даній роботі ми аналізуємо відео експерименту отримання інтерференційної картини, з використанням інтерферометра Маха-Цендера, яке було записано в Інституті Фізики НАН України.

Обробка інтерферограми. Програмне забезпечення для обробки відео файлу з інтерферограмою обираємо таке, що забезпечить дослідження як просторових, так і часових параметрів інтерференційних картин з експеримента. Достатньо опробованим та сучасним інструментом є Jupyter Notebook. Для роботи з відео і зображеннями ми використовували бібліотеку OpenCV в віртуальному середовищі мови Python. Для формування даних та аналізу, в нагоді стали добре відомі бібліотеки Numpy та Pandas, а для побудови графіків - Matplotlib.

Опис відео файлу інтерферограми містить наступні характеристики: тривалість – 31 хв. 8с., кількість кадрів в секунду – 7, роздільна здатність фрейму – 1280 x 720. Всього для дослідження використано 13027 фреймів. Приклад експериментальної інтерферограми (Рис.3) значно відрізняється від теоретичної (Рис.1) наявністю шумів, артефактів та неоднорідною освітленістю картини.

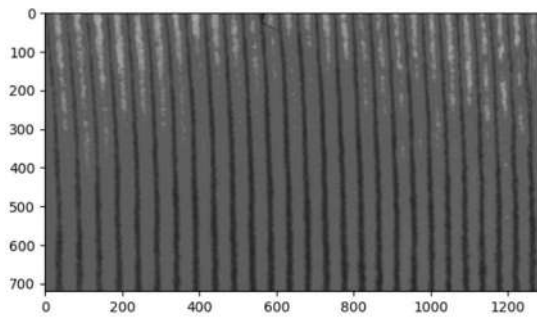


Рис. 3. Експериментальна інтерференційна картина

Зазначимо, що в перші хвилини відеозапису зображення змінюється з такого, як на рис. 3 до розмитого, як на рис. 4. Цей процес, як правило, відбувається внаслідок тремтіння оптичних елементів та нестабільному випромінюванню лазерного пучка.



Рис. 4. Кадр на якому інтерференційна картина розмита

Ще одним типом зображень для класифікації є зображення поля на якому ми майже не бачимо інтерференційних смуг. Ця ситуація спостерігається, коли світло від стороннього джерела накладається на інтєрферограму та робить її візуалізацію неможливою (Рис. 5).

Дослідимо інтерференційну картину на рис.3. Розподіли інтенсивності вздовж координатних осей X та Y є просторовими характеристиками інтерферограми. На розподілах вздовж осі X (Рис. 6) бачимо зміну максимального значення інтенсивності, наявність деякої порогової інтенсивності близько 80, яка розділює інтерференційну картину на верхню та нижню половини з різною товщиною смуг. При всіх недоліках періодичність картини залишається такою, що забезпечує надійне вимірювання її періоду та зсуву смуг.

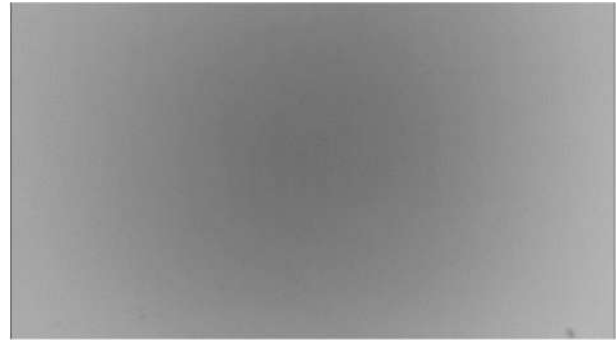
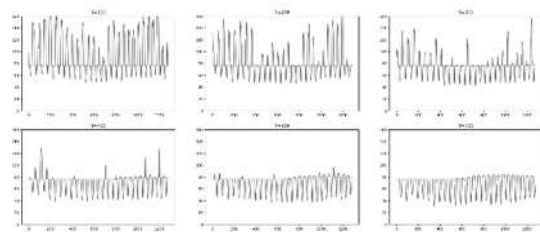


Рис. 5. Кадр демонструє світло від стороннього джерела

Рис. 6. Розподіл інтенсивності в фіксованих позиціях Y вздовж X

Переріз розподілу інтенсивності вздовж осі Y для фіксованих значень X має зовсім інший вигляд. В ідеалі це має бути лінія з постійним значенням інтенсивності та вказувати на те на якій частині інтерференційної смуги знаходиться ця точка – в області мінімуму, максимуму або значення, що знаходиться між ними. Внаслідок того, що інтерференційні смуги мають вигин (рис. 3), на одному перерізі спостерігаються різні значення інтенсивності (рис. 7). Для аналізу картини необхідно обирати область в якій інтенсивність змінюється мінімально. Але ми знову бачимо лінію навколо значення інтенсивності 80, яка не є найкращою областю для вимірювання, а скоріше «мертвою» зоною, в якій вимірювання не рекомендується проводити.

Аналізуючи розподіл зображення на рис. 7 можна виділити три області з різною поведінкою інтенсивності. Тому виконаємо сегментацію зображення (рис. 3) в форматі 3×3 та пронумеруємо сегменти для подальшої роботи з ними (рис. 8). Для інтерференційних досліджень є важливим встановлення товщини смугу, її зсуву та вигину лінії. В кожній з 9-ти областей можна провести такі вимірювання, але найбільш наближений варіант до розрахункового розподілу мають області з перпендикулярними до осі X смугами з мінімальними кутами відхилення від прямої лінії – це 9-й сегмент.

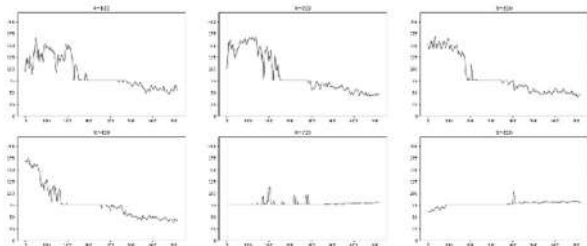


Рис. 7. Інтенсивність в фіксований момент вздовж Y

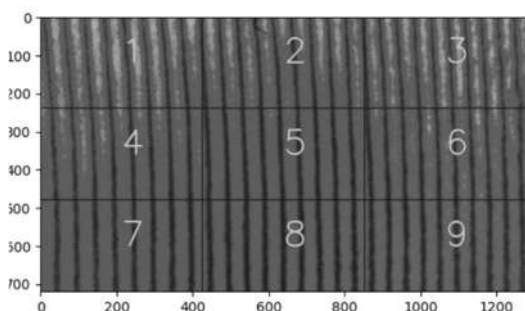


Рис. 8. Сегментоване зображення інтерференційної картини

Проведемо часовий аналіз відео інтерференційної картини. Відео триває 1868 секунд. За цей час фіксується 3 типи картин: інтерферограма з найбільш чіткими смугами, погіршення візуалізації картини в певних часових проміжках, а також засвічення інтерференції додатковим джерелом світла. В центрі кожного сегмента побудуємо залежність значення інтенсивності від часу (рис. 9).

Найкращим варіантом для проведення досліджень має бути постійна інтенсивність. Але достатньо визначити часові проміжки в яких інтерференційна картина є чіткою та такою, що мінімально змінюється і обробляти отримані дані. Визначили що для аналізу найкращий час зйомки, як найбільш стабільний з ~ 7 хв відео по 30 хвилину. Також визначили, що у 8 сегменті картина більш схожа до ідеальної. Найбільш неоднорідні за інтенсивністю 1 та 3 сегменти – не рекомендуються для аналізу.

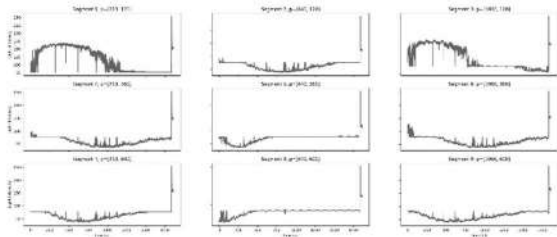


Рис. 9. Часовий розподіл інтенсивності в центрі кожного сегмента від 1 до 9

Подяка. Автори дякують співробітникам відділу оптичної квантової електроніки Інституту Фізики НАН України за надані експериментальні дані у вигляді відео файлу експерименту отримання інтерференційної картини з використанням інтерферометра Маха-Цендера.

Висновки. Досліджено реальні інтерференційні картини отриманні з відеозапису зйомки роботи інтерферометра Маха-Цендера. Проведено аналіз поведінки інтерференційних смуг - вздовж осі X та вздовж осі Y. Визначені особливі ділянки та характеристики реального сигналу в перерізі інтерферограми. Згідно до отриманих результатів проведено сегментацію зображення. Визначена характерна поведінка в часі світла в цих сегментах. Визначено особливості розподілу інтенсивності в різних сегментах в просторі та часі.

Надалі планується проведення досліджень методами машинного навчання з метою фільтрації шумів, сегментації зображень, прогнозуванні змін, корекції артефактів, оптимізація обробки даних.

Л і т е р а т у р а

1. Andrew Wolf, Machine Learning Simplified: A gentle introduction to supervised learning, 2022, p. 199 URL:<https://www.goodreads.com/book/show/60297347-machine-learning-simplified>
2. Maheshwari A. Business intelligence and data mining. – Business Expert Press, 2014. URL: <https://www.amazon.com/Business-Intelligence-Data-Mining-Analytics/dp/1631571206>
3. Yang X. S. Introduction to Algorithms for Data Mining and Machine Learning. – Academic Press, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02034-4>
4. Fernandes M. Statistics for business and economics. – Bookboon, 2008. URL: <https://bookboon.com/en/statistics-for-business-and-economics-ebook?mediaType=ebook>
5. Ryazantsev O., Khoroshun G., Riazantsev A., Ivanov V., Baturin A. Statistical Optical Image Analysis for Information System // Proceedings of 2019 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW), Istanbul, Turkey, IEEE 2019, pp. 130-134, DOI: 10.1109/FiCloudW.2019.00036
6. Senthilkumaran, P., Masajada, J., & Sato, S. (2012). Interferometry with vortices. *International Journal of Optics*, 2012.
7. Bekshaev, A. Y., Basistiy, I. V., Slyusar, V. V., Soskin, M. S., & Vasnetsov, M. V. (2002). Observation of the rotational Doppler effect with an optical-vortex one-beam interferometer. *Укр. фіз. журн.*, 47(11), 1035-1040.
8. Khoroshun, Anna. "Shearing Interferometers with a Singular Source of Light." *Interferometers: Fundamentals, Methods and Applications* (2015): 253-267.
9. Angelsky, O. V., Mokhun, I. I., Mokhun, A. I., & Soskin, M. S. (2002). Interferometric methods in diagnostics of

polarization singularities. *Physical Review E*, 65(3), 036602.

10. Bekshaev, A. Ya, et al. "Spectral characteristics of the Fabry-Perot interferometer transmission upon illumination by an arbitrary light beam." *arXiv preprint arXiv:1812.11687* (2018).

Shopin P.Y., Khoroshun G.M., Barbaruk V.M., Ryazantsev O.I. Results of primary interferogram processing for machine learning model construction

The work is dedicated to processing interferometric videos and images for disciplines that require precise and dynamic measurement of physical parameters. The application of machine learning models enhances the analysis of interferometric data, making their utilization more efficient and accurate. Interferometry [6-10] is employed for various measurements based on interference phenomena to determine statistical and dynamic object parameters. Measurement of static parameters using interferometry may include surface height, surface deformation, material layer thickness, optical properties such as light transmission or reflection coefficients, material stress and deformation, object positioning, and angular measurements. Interferometers can measure dynamic parameters such as the speed and direction of movement of objects in transportation systems and biological cells. The integration of machine learning methods into interferogram analysis can significantly improve the efficiency and accuracy of results, especially in conditions involving large datasets and complex patterns. Key tasks for applying machine learning methods include noise filtration, object segmentation, change prediction, artifact correction, and data processing optimization. To build a machine learning model, it is necessary to investigate real interferometric patterns, determine the model's key parameters, and implement automatic image processing methods. Thus, the study explores real interferometric patterns, provides their description, and automates the process of determining their quality, offering recommendations for application. In this work, we analyze a

video experiment to obtain an interferometric image using the Mach-Zehnder interferometer. Real interferometric patterns obtained from the video recording of the Mach-Zehnder interferometer operation are investigated. The behavior of interferometric fringes along the X and Y axes is analyzed, identifying specific areas and characteristics of the real signal in the interferogram cross-section. Based on the results obtained, image segmentation is performed, determining the characteristic behavior of light over time in these segments. The study identifies which segments are most and least suitable for analysis and within what time intervals.

Keywords: data preparation, interferogram, image processing

Шопін Петро Юрійович, студент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, shopin.peter@gmail.com

Хорошун Ганна Миколаївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, horoshun@snu.edu.ua

Барбарук Віктор Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», barbaruk.viktor@gmail.com

Рязанцев Олександр Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський Національний Університет імені Володимира Даля, a_ryazantsev@ukr.net

Стаття подана 15.10.2023.