УДК 681.785

В.П. Налбандова, студентка гр. ПО-82мп, к.т.н., доц. Балінський Є. Г.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОПТИЧНИЙ ТРАНСПАРАНТ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЦИФРОВОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА

Анотація. В наведеній статті розглянуто експериментальну схему цифрового оптичного спектроаналізатора, який використовується для обробки інформації. Особлива увага приділена компоненту керування хвильовим фронтом. Авторами проаналізовано основні типи приладів, які можуть використовуватись як компоненти керування хвильовим фронтом.

Ключові слова: цифровий оптичний спектроаналізатор, просторовий модулятор світла, просторовий спектр.

ВСТУП

Напрям фотоніки вважається одним із найперспективніших на сьогоднішні, оскільки у світі, де інформаційні технології є переважаючими, головним пріоритетом розвитку основних систем є швидкість передачі даних та обробка сигналу. Саме завдяки фотоніці з'являється можливість перейти межі швидкості руху електронів, що встановлені електричними системами передачі та обробки інформації, і робити ці операції зі швидкістю світла та використовувати тривимірні масиви даних. Для виконання поставленої задачі поки що ведуться лише розробки, описані в працях Бабашаха і Белова [1, 2]. Як зазначалось раніше в [3], поки що такі оптичні системи обробки і передачі інформації використовуються лише експериментально, доцільно використовувати поєднання цифрових і оптичних методів обробки інформації. В якості такого поєднання можна використати цифровий оптичний спектроаналізатор.

ПРИНЦИП РОБОТИ ЦИФРОВОГО ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА

Пристрій когерентного оптичного спектроаналізатора є одним з найпростіших систем обробки інформації. Вхідні сигнали в такому пристрої перетворюються в просторовий спектр частот за допомогою Фур'є-об'єктива. Вхідний сигнал можна отримати наступним чином: на модулятор світла (оптичний транспарант), який знаходиться в передній фокальній площині Фур'є-об'єктива, подається інформація у вигляді функції коефіцієнта пропускання і направляється когерентний пучок променів, що виходить з лазерної системи. Оскільки лазерний пучок є вузькоколімованим, для повного заповнення транспаранту лазерними променями з'являється необхідність в використанні розширювача пучка. Розширювач пучка має задовольняти основну вимогу – зменшувати кут розбіжності лазерного пучка. Задля цього можна використати двокомпонентну афокальну систему типу Галілея.

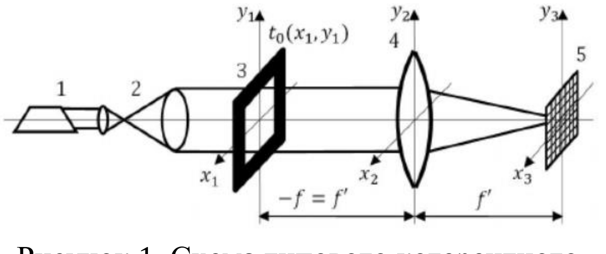

Рисунок 1. Схема типового когерентного оптичного спектроаналізатора [4]: 1 – лазер, 2 – колімуюча система, 3 – оптичний транспарант, 4 – Фур'є-об'єктив, 5 – приймач випромінювання

Після проходження оптичного модулятора було отримано необхідний двовимірний сигнал, який за допомогою Фур'є-об'єктива розкладається у спектр. Отримане зображення має вигляд сукупності точок різної інтенсивності. Використовуючи цифровий мікроскоп, який підключено до персонального комп'ютера (ПК), розкладений у спектр сигнал аналізується. Для цього на ПК встановлюється необхідне програмне забезпечення у відповідності до моделі цифрового мікроскопа.

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИЧНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА

Узагальнена схема оптичного спектроаналізатора складається з когерентного джерела випромінювання, вхідного транспаранта, Фур'є-об'єктива і аналізатора світлового поля. Якщо транспарант розташований в передній фокальній площині Фур'є-об'єктива і висвітлюється плоскою хвилею з амплітудою (рис. 1), то розподіл амплітуди поля в площині аналізу описується виразом [4]:

$$V\left(x_3, y_3\right) = \frac{V_p}{j\lambda f} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} t_0(x_1, y_1) \exp\left[-j\frac{2\pi}{\lambda f}(x_3 x_1 + y_3 y_1)\right] dx_1 dy_1 \qquad (1)$$

де *t0(x1, y1)* – функція амплітудного коефіцієнта пропускання транспаранта; *f* – фокусна відстань об'єктива.

Аналіз виразу (1) показує, що комплексна амплітуда світлового поля в задній фокальній площині Фур'є-об'єктива з точністю до постійного множника *Vp/jλf* представляє собою просторовий спектр від амплітудного коефіцієнта пропускання *t0(x1, y1)* транспаранта з просторовими частотами:

$$\nu_x = \frac{x_3}{\lambda f}; \quad \nu_y = \frac{y_3}{\lambda f} \qquad (2)$$

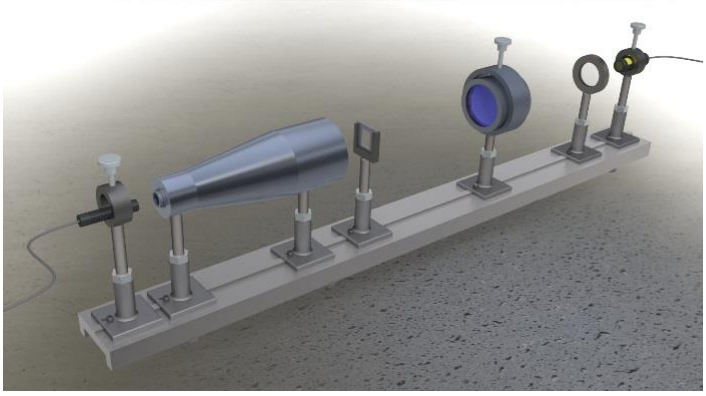

Рисунок 2. Схема цифрового оптичного спектроаналізатора

Основною проблемою у створенні таких пристроїв наразі є не так оптична складова приладу, як пристрої введення сигналу в систему, які мають у них знаходитися. Найпростішими такими пристроями були такі модулятори світла, як щілина або дифракційна решітка, проте при використанні їх на виході з системи отримується однотипне зображення, а основною метою пристроїв передачі і обробки інформації є швидка зміна сигналу, який має передаватися. Саме тому виникає необхідність у дослідженні приладів, які можуть використовуватися в якості оптичних транспарантів.

РЕАЛІЗАЦІЇ ОПТИЧНИХ ТРАНСПАРАНТІВ

Реалізації в реальному часі мають вирішальне значення для практичного застосування оптичної обробки інформації, а ключовою технологією пристрою оптичного транспаранта є просторовий модулятор світла (SLM), який вводить шаблони сигналів або зображень у вигляді відповідних шаблонів амплітуди або фазової модуляції світла через лазерний пучок. Двома важливими класифікаціями SML є наступні:

- по методу адресації (електричний або оптичний);
- по типу модуляції (фази і/або амплітуди).

Системи обробки інформації потребують SLM як на вхідній площині, так і на площині Фур'є, за винятком випадків, зазначених вище в [5], і вимоги розрізняються залежно від застосування.

Перспективи використання оптичних спектроаналізаторів залежать від параметрів вхідного просторового модулятора світла (SLM). Перші експерименти, які продемонстрували можливості цих аналізаторів, були виконані із записом вхідного сигналу на фотоплівці, а не в масштабі реального часу. Пристрої з електронно-променевою записом також використовувалися, але ці системи були занадто громіздкими для практичного використання. В даний час комерційно доступні компактні рідкокристалічні (LC) матриці з вхідним растровим сигналом. Хоча ці пристрої не призначені для когерентного світла, деякі матриці мають достатню оптичну якість, що робить можливим їх використання в когерентних системах.

Для використання таких матриць необхідне підключення до персонального комп’ютера, використовуючи програмне забезпечення якого в контрольний пристрій LC матриці вводиться тестовий сигнал. Комерційні LC матриці, які можна зустріти на ринку, містять приблизно 10 мільйонів елементів і працюють зі швидкістю до 100 кадрів в секунду, що відповідає смузі пропускання в кілька сотень мегагерц. Динамічний діапазон спектроаналізатора з такою матрицею експериментально визначається як відношення потужностей мінімального вхідного гармонічного сигналу, що відповідає появі вихідного сигналу вище рівня шуму, і максимального сигналу на вході, що відповідає появі двочастотного виходу сигнала, пов'язаним з нелінійністю характеристики модуляції.

ВИСНОВКИ

Фазові просторові модулятори світла є ключовими компонентами, які дозволяють керувати сигналом на вході цифрового оптичного спектроаналізатора. В якості найбільш вживаних розглянутих пристроїв зміни хвильового фронту використовують рідкокристалічні фазові просторові модулятори, які працюють на пропускання.

Результати експериментів [6] показали, що оптичний спектроаналізатор з комерційним пристроєм введення LC забезпечує високоякісні вихідні сигнали. Можна очікувати, що, використовуючи доступні комерційні матриці LC, які вбудовані в сучасні проекційні системи, можна створити компактні

високошвидкісні широкосмугові аналізатори складного спектру для обробки сигналів з високою роздільною здатністю і прийнятним динамічним діапазоном.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Babashah H. Temporal analog optical computing using an on-chip fully reconfigurable photonic signal processor / Babashah, H., Kavehvash, Z., Khavasi, A., & Koohi, S. Optics & Laser Technology, 111, 2019, p. 66-74.

[2] Белов П.А. Оптические процессоры: достижения и новые идеи/ П.А. Белов, В.Г. Беспалов, В.Н. Васильев, С.А. Козлов, А.В. Павлов, К.Р. Симовский, Ю.А. Шполянский / В книге: Проблемы когерентной и нелинейной оптики. — СПб, 2006. — С. 6 — 36.

[3] Налбандова В. П. Ефективність використання оптичних методів і систем обробки інформації/ В. П. Налбандова, В. Г. Колобродов // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні: збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 4-5 грудня 2018 р. – К: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – С. 68-70.

[4] Колобродов В. Г. Когерентні оптичні спектроаналізатори: монографія / В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик, М. С. Колобродов . К.: Вид-во «Політехніка», 2015. – С. 77.

[5] B. Javidi. Single SLM joint transform correlator / B. Javidi, J. L. Horner. Appl. Opt. vol. 28, pp. 1027-1032, Mar. 1, 1989.

[6] M. S. Kuzmin. A Folded-Spectrum Analyzer with a Liquid-Crystal Input Device / M. S. Kuzmin and S. A. Rogov. Technical Physics Letters, 2014, Vol. 40, No. 8, pp. 629—631.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Балінський Є. Г.