

УДК 621.396.77

І.В. Овчаров, курсант I курсу, викладач Н.В. Слабунова, І.О. Вітколенко
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КІЛЬКОСТІ КАНАЛІВ АКУСТООПТИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Анотація Розглядається модернізація оптико-електронних систем виявлення та ідентифікації об'єктів за допомогою акустooптичного процесора. Описана експериментальна установка, що дозволяє проаналізувати амплітудно-просторові характеристики об'єкта та фону та розрахувати контраст зображення. Запропонований метод підвищення ефективності акустooптичної фільтрації, що полягає у збільшенні кількості спектральних каналів.

Ключові слова: акустooптика, дифракція Брега, динамічна спектральна фільтрація.

ВСТУП

Для виявлення та ідентифікації об'єктів, для візуалізації та аналізу їх структури використовують спектральну фільтрацію зображень. Особлива риза спектральних зображень полягає в тому, що структурні властивості об'єкта виявляються шляхом зміни контрасту зображень, отриманих в певних спектральних інтервалах [1]. Для забезпечення спектральної селекції зображень використовують акустooптичні світлофільтри, які дозволяють формувати зображення об'єктів в широкому спектральному інтервалі.

Метод динамічної спектральної фільтрації являє собою узгоджену фільтрацію в оптичному діапазоні. На основі апріорної інформації про спектральні характеристики випромінювання об'єкта і фону забезпечується селекція корисного сигналу з метою підвищення контрасту зображення.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

В оптико-електронних системах з динамічною спектральною фільтрацією випромінювання розкладається в спектр за допомогою пристрою селекції. Також, він забезпечує керовану зміну коефіцієнта пропускання спектральних складових таким чином, щоб забезпечити максимальне підсилення випромінювання об'єкту та пригнічення спектральних складових фону. В роботі [2] розглянуті питання спектральної фільтрації та показано, що роздільна здатність акустooптичного процесора визначається лінійною і кутовою апертурою елемента селекції, а також довжиною хвилі світлового випромінювання.

Експериментальним дослідженням динамічної спектральної фільтрації присвячена робота [3]. Ефективність процесу спектральної фільтрації визначалася за величиною контрасту сигналів, що належать об'єкту і фону до і після фільтрації.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Максимальна кількість елементів зображення, за критерієм Релея, визначається кутовою апертурою акустooптичного спектрометра, пов'язаною з розходністю звукового пучка $\Delta\theta$, лінійною апертурою α і довжиною хвилі світла λ_0 . Контраст зображення K оцінюється за допомогою співвідношення

$$K = \frac{T - B}{T + B}, \quad (1)$$

де T та B - спектральні складові об'єкту та фону відповідно.

Підвищення контрасту зображень забезпечується шляхом зменшення коефіцієнта пропускання для спектральних складових, які належать фону з мінімальним його зменшенням для спектральних складових об'єкту.

Процес спектральної фільтрації був досліджений з використанням векторного уявлення оптичного випромінювання. При цьому спектральні складові сигналу подаються у вигляді векторів в евклідовому спектральному просторі, величина яких визначає спектральну яскравість оптичного сигналу.

Математичною основою спектральної селекції фонові компоненти є операція обчислення скалярного добутку векторів фону і фільтра. При перпендикулярному розташуванні цих векторів скалярний добуток дорівнює нулю. Вектор фільтра обчислюють з використанням апріорної інформації про спектральні характеристики векторів об'єкту і фону за формулою (2).

$$\vec{F} = \frac{\vec{T} - N \cdot \vec{B}}{\|\vec{T} - N \cdot \vec{B}\|}, \quad (2)$$

тут N – проекція вектору об'єкту на вектор фону.

У багатовимірному спектральному просторі вектор фільтру буде мати, принаймні, одну негативну координату. Це означає, що інтенсивність випромінювання в деякому спектральному інтервалі має від'ємне значення. Оскільки інтенсивність світлового випромінювання може мати тільки позитивне значення, то для реалізації спектральної фільтрації використовують операцію віднімання зображень, отриманих шляхом пропускання через фільтри. Акустооптичні світлофільтри із змінним коефіцієнтом пропускання можна розглядати як елемент акустооптичного процесора.

Фізичною реалізацією цієї операції є дифракція оптичного випромінювання на багаточастотній керованій по амплітуді ультразвуковій хвилі. Оптичний сигнал на виході системи є результатом скалярного добутку сигналу на вході і коефіцієнта пропускання. При цьому управління величиною дифракційної ефективності здійснюється шляхом зміни амплітуди звукової хвилі.

Контрастність зображення на виході акустооптичного процесора залежить від апаратної функції (вектору фільтра), обчисленої на основі апріорних відомостей про спектральні характеристики зображення об'єкта і фону, а також від відповідності апаратної функції спектральним властивостям мети і фону. У роботі проведені дослідження процесу динамічної фільтрації оптичних зображень, що відрізняються різними спектральними властивостями при різних значеннях апаратної функції.

При дослідженнях амплітудно-просторові характеристики зображень на виході акустооптичного спектрометра був забезпечений бреггівський режим акустооптичної взаємодії багаточастотної ультразвукової хвилі з лазерним випромінюванням трьох ділянок спектра при фіксованому куті взаємодії світлової та звукової хвилі.

Встановлена кількісна залежність між дифракційною ефективністю акустооптичного спектрометра і величиною напруги на його вході для кожної з трьох компонент поліхроматичного лазерного випромінювання.

Оптичне випромінювання реєструвалося матричним фотоприймачем і відображалось на екрані ЕОМ, що дозволяє результати спектральної фільтрації зображень уявити у вигляді амплітудно-просторових характеристик. Структурна схема експериментальної установки (рис. 1) містить три функціональні блоки: оптичний канал формування зображення; акустооптичний процесор; канал обробки зображень.

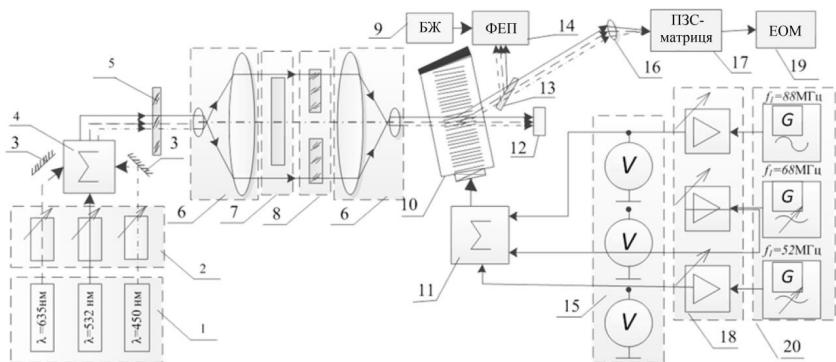


Рисунок 1. Структурна схема експериментальної установки по дослідженню спектральної фільтрації оптичних зображень

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Лазерний блок | 11. Суматор напруги |
| 2. Атенюатори | 12. Поглинач світлового випромінювання |
| 3. Дзеркала | 13. Напівпрозоре дзеркало |
| 4. Змішувач оптичного випромінювання | 14. Приймач випромінювання ФЕП |
| 5. Матове скло | 15. Блок вольтметрів |
| 6. Телескопічна система | 16. Об'єктив |
| 7. Транспарант | 17. Прилад із зарядовим зв'язком |
| 8. Світлофільтри | 18. Блок регулювання |
| 9. Блок живлення ФЕП | 19. Електронно-обчислювальна машина |
| 10. Акустооптичний фільтр | 20. Блок генераторів високої частоти |

Був проведений аналіз амплітудно-просторових характеристик зображення на виході акустооптичного процесора при різних співвідношеннях спектральних складових об'єкту та фону, результати аналізу описані в роботі [4]. З результатів було помітно, що коли характеристики об'єкту та фону істотно відрізняються, то забезпечується ефективна спектральна селекція корисного сигналу. Однак при незначній різниці між характеристиками цілі та фону значного підвищення контрасту досягти не вдається. Автори статті пов'язали таку різницю між результатами з малою кількістю керованих каналів акустооптичної взаємодії.

Число каналів акустооптичної взаємодії в оптико-електронних пристроях обмежена, перш за все, двома факторами - потужністю та інтермодуляцій-

ними спотвореннями. За великої дифракційної ефективності та при близьких частотах ультразвукових сигналів виникають промені, що належать комбінаційною частотам, так звані «паразитні промені». Інтенсивність таких променів буде тим менше, чим далі один від одного частоти керуючого звукового сигналу. Ефективна фільтрація досягається при використанні не більше десятка спектральних каналів. Так, як при збільшенні числа спектральних каналів збільшується інформаційність та ймовірність виявлення, є актуальним вирішення завдання збільшення числа спектральних каналів. Для цього запропонований метод збільшення числа спектральних каналів акустооптичного процесора з динамічною спектральною фільтрацією. Він полягає у поєднанні переддетекторної та післядетекторної обробки оптичних сигналів, для чого спектральний діапазон розбивається на інтервали, які послідовно піддаються фільтрації з подальшою комп'ютерною обробкою. В процесі післядетекторної обробки результати фільтрації перетворюються в електронні сигнали і проводиться їх підсумовування.

ВИСНОВКИ

В роботі проведені дослідження динамічної спектральної фільтрації оптичних зображень з різними спектральними властивостями із застосуванням акустооптичного процесора. Побудована експериментальна установка для аналізу амплітудно-просторові характеристики зображень на виході акустооптичного спектрометра при різних співвідношеннях параметрів об'єкту та фону. Запропонований метод підвищення числа спектральних каналів, для підвищення ефективності акустооптичної фільтрації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балакший, В. И. Физические основы акустооптике. / В. И. Балакший, В. Н. Парыгин, Л. Е. Чирков – М.: Радио и связь, 1985. – 285 с.
2. Акустооптические процессоры спектрально типа : монография / Под ред. В. В. Проклова, В. Н. Ушакова. – М.: Радиотехника, 2012. – 192 с.
3. Купченко Л.Ф., Слабунова Н.В., Гурин О.А. Акустооптический процессор в оптоэлектронной системе, обеспечивающий динамическую спектральную фильтрацию // Прикладная радиоэлектроника. 2016, Т. 15, №4, С.359-361.
4. Купченко, Л. Ф. Експериментальні дослідження динамічної спектральної фільтрації оптичних зображень з використанням акустооптичного процесора / Л. Ф. Купченко, В. Д. Карлов, О. А. Гурин, А. С. Рыбьяк, Н. В. Слабунова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – Серія «РАДІОФІЗИКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА» – 2017. – Вып. 26. – С. 58 – 65.