

УДК 621.396.77

Д.П. Пашков

Національний університет оборони України, Київ

МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ В ВІДЕОСПЕКТРОМЕТРАХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

У справжній статті розглядаються деякі питання створення відеоспектрометрів, робиться спроба оцінити доцільність використання оптичних спектральних систем і методів при вирішенні завдань, що стоять перед оптико-електронними системами, а саме, виділення корисного сигналу на фоні завади. На основі аналітичного огляду визначені напрями розвитку відеоспектрометрів.

Ключові слова: відеоспектрометр, спектральні характеристики, спектральна фільтрація.

Вступ

Швидкий розвиток оптико-електронних систем (ОЕС) безперервно розширює круг їх вживання при вирішенні багатьох складних завдань. Оптико-електронні системи, що розробляються, використовують декілька паралельних каналів прийому первинної обробки інформації, багатоелементні приймачі випромінювання, складні алгоритми обробки сигналів, що базуються на спеціалізованих логічних і обчислювальних пристроях. У останнє десятиліття ведуться багаточисельні розробки ОЕС, що будуються на основі принципів фільтрації, що є основною тенденцією розвитку оптико-електронного приладобудування [1]. Окрім цього, все більше уваги приділяється адаптивним оптико-електронним пристроям, що реалізують фільтрацію зображення на параметричному і схемотехнічному рівні. Це дозволяє здійснити управління параметрами оптичних, спектральних, просторових і часово-частотних пристроїв, а також варіювати іншими характеристиками ОЕС [1].

Аналіз предметної області. Фахівцями встановлено, що для розпізнавання образу необхідно використовувати, принципи виділення тих або інших ознак [2]. З цією метою виробляється зіставлення об'єктів одного класу, виділяючи їх спільність і відбираючи розділяючі ознаки. Особливістю сприйняття оптичної інформації є декореляція зображень у просторі та часі в цілях усунення статистичних надлишкових зв'язків сусідніх елементів зображення. Це дозволяє використовувати лише найбільш інформативні ознаки розпізнаваних образів і найекономічніше закодувати дану інформацію.

Найчастіше використовується геометрична інтерпретація розпізнавання, в якій кількість k ознак зображення утворюють в багатовимірному просторі вектор його ознак, тобто точки, що характеризують окремі об'єкти. Віднесення цих точок до того або іншого об'єкту здійснюється за допомогою функцій дискримінантів, досить детально описаних в [1].

Кожному класу образів відповідають свій вектор математичного сподівання і коваріаційна матриця, що враховують випадковий характер ознак сигналу.

Унаслідок випадкової природи ознак, що характеризують різні об'єкти, і сигналів, що приходять на вхід системи розпізнавання (ОЕС), для багатьох прикладних завдань, особливо в області спеціальної техніки, використовують статистичний підхід до вирішення завдань виявлення, розпізнавання, класифікації. Методи статистичного розпізнавання образів, що використовують функції розподілу вірогідності ознак і класів образів, досить добре вивчені і теоретично представляються найбільш перспективними для ОЕС інтелектуального типу різного призначення [1, 3].

На основі проведеного аналізу літератури і матеріалів фахівців, пропонується один з шляхів побудови перспективних ОЕС, що і є метою даної статті.

Виклад основного матеріалу

У останніх час знайдені рішення і розроблені алгоритми, засновані на порівнянні відомих розподілів множини ознак в багатовимірному просторі з розподілом, відповідним змінам ознак в реальній системі.

Обробка ознак в системах розпізнавання найчастіше ведеться трьома способами: відбором найбільш інформативних ознак (відбором підмножин), утворенням стосунків окремих ознак (стосунків окремих компонент вектора ознак) і утворенням лінійних комбінацій окремих ознак. Всі ці способи досить прості для практичної реалізації.

Із-за необхідності обробляти в реальному масштабі часу великий об'єм "гіперспектрального" зображення, що часто виникає на практиці, використання цифрових ЕОМ не завжди виявляється досить ефективним [3].

Для обробки зображення і рішення задачі виявлення оптичних образів в сучасних ОЕС необхідно створювати банк даних образів (сукупність сигналів, сигнатур), які містять лише обмежене число відмітних ознак. Вибір ознак, що найістотніше відрізняють даний клас образів (об'єктів, зображень, сигналів), є найважливішим завданням при розробці ОЕС. Тому при розробці нових і вдосконаленні існуючих ОЕС дуже важливо відібрати мінімальне число таких ознак, що забезпечують задані показники якості роботи ОЕС, але не ускладнюють їх конструкцію і

тим самим не знижують надійність роботи систем і не здорожують їх виробництво і експлуатацію. Найбільш часто використовуваними групами ознак є:

- геометричні, виділення і обробка яких залежить перш за все від просторового дозволу ОЕС;
- спектральні, виділення і обробка яких залежить від спектральної роздільної здатності ОЕС (поглинальна, випромінювальна і відбивна здібності);
- енергетичні, такі, що характеризуються зазвичай відношенням сигнал/шум;
- динамічні, що використовують інформацію про зміну координат об'єкту, про швидкість його переміщення і ін.

У кожному конкретному випадку виявлення, розпізнавання і класифікація тих або інших об'єктів доцільно використовувати обмежені сукупності стійких ознак, аби не ускладнювати конструкцію ОЕС.

Найчастіше в літературі розглядається інформація, яка використовує сукупність геометрооптичних і динамічних ознак об'єктів (просторова і просторово-часова фільтрація сигналів на тлі перешкод). Як первинні ознаки використовуються параметри двовимірного зображення – координати в площині зображень, розміри зображення, форма зображення, геометричні моменти, і так далі, і одна часова ознака (швидкість руху зображення або тривалість сигналу). Просторовий дозвіл ОЕС визначається параметрами і характеристиками оптичної системи, від яких залежить якість створюваного нею зображення, а також параметрами приймача випромінювання і вибраним алгоритмом освіти і обробки сигналу, що знімається з приймача.

Спектральні оптичні ознаки об'єктів і сигналів використовуються в більшості випадків досить обмежено. Зараз використовується простий підхід – режекторна (смугова або односмугова) або спектральна оптична фільтрація. Спектральна оптична фільтрація зазвичай складається з вибору такого робочого діапазону оптичного спектру, для якого відношення сигналу від спостережуваного випромінювача до сигналу від перешкоди на виході приймача є найбільшим [1]. Вибором спектральної характеристики оптичного фільтру $\tau_{\phi}(\lambda)$ і границь його пропускання $\lambda_1 \dots \lambda_2$ зазвичай прагнуть максимізувати корисний сигнал на виході приймача випромінювання

$$U_c \sim \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_c(\lambda) \tau_c(\lambda) \tau_0(\lambda) \tau_{\phi}(\lambda) s(\lambda) d\lambda$$

і мінімізувати сигнал перешкоди

$$U_{\Pi} \sim \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{\Pi}(\lambda) \tau_c(\lambda) \tau_0(\lambda) \tau_{\phi}(\lambda) s(\lambda) d\lambda.$$

Тут $M_c(\lambda)$ і $M_{\Pi}(\lambda)$ – спектральні щільності випромінювання джерела корисного сигналу і перешкоди відповідно; $\tau_c(\lambda)$ і $\tau_0(\lambda)$ – спектральні коефіцієнти пропускання середовища поширення і оптичної системи; $s(\lambda)$ – спектральна чутливість приймача випромінювання.

При оптимальному виборі $\tau_{\phi}(\lambda)$ і $\lambda_1 \dots \lambda_2$ відношення U_c / U_{Π} буде максимальним. Практично навіть при відомих $M_c(\lambda)$, $M_{\Pi}(\lambda)$, $\tau_c(\lambda)$, $\tau_0(\lambda)$, що далеко не завжди має місце, важко досягти такого оптимуму, оскільки технологічно складно або навіть неможливо виготовити фільтр з потрібною $\tau_{\phi}(\lambda)$. Крім того, вигляд цих функцій може помітно мінятися в процесі роботи оптико-електронної системи.

Для досягнення [4] максимального перевищення сигналу від випромінювача із спектральною характеристикою $M_c(\lambda)$ над сигналом від випромінювача (перешкоди) із спектром $M_{\Pi}(\lambda)$ доцільно застосувати погоджений фільтр з характеристикою вигляду

$$\tau_{\phi} = \frac{M_c(\lambda_{\max})}{M_c(\lambda_{\max}) - M_{\Pi}(\lambda_{\max})} \frac{M_c(\lambda) - M_{\Pi}(\lambda)}{M_c(\lambda)}, \quad (1)$$

де λ_{\max} – довжина хвилі, при якій відношення монохроматичних сигналів $M_c(\lambda)$ і $M_{\Pi}(\lambda)$ максимальне.

Вживання оптичного фільтру з характеристикою вигляду (1) дозволяє підвищити контраст між корисним сигналом і перешкодою на декілька десятків відсотків в порівнянні з відсікаючим двостороннім фільтром. Проте виготовити фільтр з розрахованою по формулі (1) характеристикою досить складно.

Одним з перспективних напрямів є вживання методу балансної спектральної фільтрації [6]. Даний метод може бути використаний для декількох спектральних каналів, причому сигнали, що знімаються з виходів цих каналів, не обов'язково мають бути рівними між собою. Важливо встановити досить певне співвідношення між цими сигналами, властиве випромінюванню об'єкта, що виявляється або відстежується, і відмінне від співвідношення, властивого випромінюванню можливих перешкод. Окрім цього, збільшення числа спектральних каналів у складі ОЕС може помітно підвищити “інтелектуальність” цих систем і комплексів, в які вони входять, тобто поліпшити їх показники якості. Проте при реалізації схем балансної фільтрації використовуються растри, що забезпечують спектральну фільтрацію спостережуваного об'єкта на тлі перешкод [2]. Такий растр «набирається» з елементів, одні з яких пропускають в одній області спектру (у діапазоні довжин хвиль $\lambda_1 \dots \lambda_2$), а інші – в іншій ($\lambda_3 \dots \lambda_4$). Якщо спектральне пропускання растру в цих областях підібрати так, щоб сигнали від перешкоди на виході приймача в обох областях спектру були рівні, то глибина модуляції сигналу від перешкоди буде близька нулю. У той же час [3] для об'єкту, спектр випромінювання якого відрізняється від спектру випромінювання перешкоди, сигнали в областях $\lambda_1 \dots \lambda_2$ і $\lambda_3 \dots \lambda_4$, тобто при проходженні потоку від об'єкту через різні вічка растру, будуть різні і глибина модуляції корисного сигналу буде помітно відрізнятися від нуля. Проте, складність у виготовленні самих растрів, наявність механічних частин, труднощі в забезпеченні перебудови по діа-

пазонах в реальному масштабі часу обмежують їх вживання на практиці. Одним з можливих шляхів вдосконалення методу балансної спектральної фільтрації є розробка динамічної перебудови діапазону на основі акустооптичного фільтру.

Акустооптичні методи спектрального аналізу застосовані на використанні в якості дисперсійного елемента динамічної дифракційної решітки, що створюється бігучою ультразвуковою хвилею. Динамічний характер дисперсійного елемента в цьому випадку визначає основні достоїнства акустооптичних пристроїв спектрального аналізу випромінювання в порівнянні з растрами. Для ефективної роботи оптико-електронної системи із застосуванням растрів, при спектральних характеристиках перешкод, що постійно змінюються, необхідно здійснювати автоматичне балансування растру, яке передбачає введення в схему додаткового фільтру балансування, що спричиняє за собою ускладнення конструкції системи і роботи самої схеми.

Акустооптичні методи спектральної селекції передбачають використання перебудовуваних акустооптичних фільтрів, які володіють можливістю власної перебудови у всьому оптичному діапазоні, що дозволить істотно підвищити динамічні можливості методів спектральної фільтрації в оптико-електронних системах. Таким чином, структурна схема оптико-електронних систем з врахуванням вказаних недоліків представлена на рис. 1.

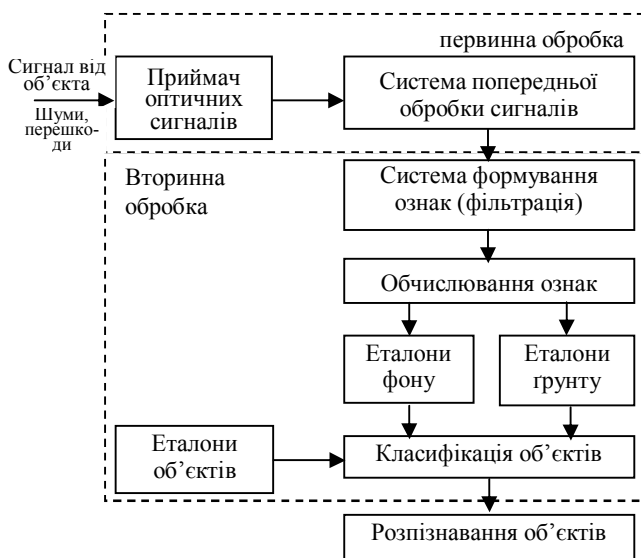


Рис. 1. Структурна схема оптико-електронного тракту

Особливістю розробленої системи є зміна ознак ґрунту і фону, на якому спостерігається об'єкт, зміна умов прийому сигналів від об'єктів, виникнення додаткових перешкод, і нарешті, зміна параметрів і характеристик самої системи розпізнавання (ОЕС) – ось ті чинники, які перш за все роблять доцільним вибір і формування таких первинних і вторинних ознак сигналу, які будуть найбільш стійкі до вказаних змін. При цьому, спектральні відбивні і випромінювальні здібності більшості об'єктів природного або штуч-

ного походження (цілей, перешкод, фонів) описуються одномодальною функцією розподілу вірогідності [4]. Це помітно спрощує процес навчання класифікатора системи розпізнавання по цих ознаках, тобто спектральні оптичні ознаки можуть виявитися більш переважними, ніж геометрооптичні.

Проведені дослідження показали, що однією з досить стійких і інформативних ознак багатьох об'єктів є колір. Спектральне розрізнення ОЕС залежить від кількості робочих спектральних діапазонів або "спектральних вікон" системи, в яких збираються дані про поле, що переглядається. Дуже важливим є питання про кількість таких вікон, необхідну для надійного розпізнавання. Це пояснюється тим, що при збільшенні числа спектральних діапазонів необхідна оцінка множини статистик усе більш високої розмірності по обмеженому фіксованому числу спектральних вибірок. При цьому помітно ускладнюється система обробки даних в реальній системі, наприклад, не виправдано збільшується машинний час, необхідний для проведення складних обчислень. Таким чином, існує оптимальне число спектральних ознак [3].

Висновки

Таким чином, використання оптико-електронних систем, а також з використанням методів спектральної фільтрації за наявності нових обчислювальних засобів з великою швидкістю обробки багатовимірної інформації, що отримується від цих систем, дозволяє в реальному масштабі часу вирішувати завдання виявлення, розпізнавання, класифікації і ідентифікації самих різних об'єктів.

Список літератури

1. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов / Ю.Г. Якушенков. – М.: Логос, 1999. – 480 с.
2. Купченко Л.Ф. Информационная селекция изображений в видеоспектрометрах дистанционного зондирования Земли, оснащенных акустооптическими фильтрами / Л.Ф. Купченко, Д.П. Пашков, Г.В. Рыбалка, Е.Л. Черкашина // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вып.8 (48). – С.55-64.
3. Пашков Д.П. Анализ развития оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли // Системы управления, навигации та зв'язку. – К.: ДП ЦНДІНУ, 2008. – Вып. 4 (8). – С.15-17.
4. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / В.И. Козинцев, В.И. Орлов, М.Л. Белов и др.; под ред. В.Н. Рождественского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 580 с.
5. Мишев Д. Дистанционные исследования Земли из космоса: пер. с болг. / Д. Мишев. – М.: Мир, 1985. – 232 с.
6. Акустооптические эффекты при сильном взаимодействии. Теория и эксперимент (Метод непрерывных дробей при решении акустооптических задач): монография / под ред. Л.Ф. Купченко. – Х.: ООО «Эдена», 2009. – 264 с.

Надійшла до редколегії 23.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков. ДП "ЦНДІ навігації і управління", Київ.

**МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРАХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Д.П. Пашков

В настоящей статье рассматриваются некоторые вопросы создания видеоспектрометров, делается попытка оценить целесообразность использования оптических спектральных систем и методов при решении задач, стоящих перед оптико-электронными системами, а именно, выделение полезного сигнала на фоне помехи. На основе аналитического обзора определены направления развития видеоспектрометров.

Ключевые слова: видеоспектрометр, спектральные характеристики, спектральная фильтрация.

**A METHOD OF SPECTRAL FILTRATION IS IN THE VIDEOSPECTROMETERS
OF REMOTE SENSING**

D.P. Pashkov

Some questions of creation of videospetrometers are examined in the real article, given it a shot to estimate expedience of the use of the optical spectral systems and methods at the decision of tasks, standings before the optical-electronic systems, namely, selection of useful signal on a background a hindrance. On the basis of state-of-the-art review directions of development of videospetrometers are certain.

Keywords: videospetrometer, spectral descriptions, spectral filtration.
