

ТЕХНОЛОГІЯ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ ДЕФЕКТУ ТИПУ «ТРИЩИНА»

Визначено актуальність та проведено аналіз проблем розв'язання задачі ідентифікації об'єкта в оптичному діапазоні, які пов'язані з наявністю значного рівня зашумлення на реальних знімках, що обґрунтовує необхідність розробки адаптивного фільтру для розпізнання дефекту типу «тріщина». Визначено основні інформаційні компоненти та вимоги до адаптивного фільтру для ідентифікації дефекту типу «тріщина» за фотознімками та проведено огляд методів його реалізації.

Ключові слова: адаптивний фільтр, ідентифікація, сигнал, шум, кореляція

Постановка проблеми

Задача розпізнання або виділення необхідного об'єкта з множини інших за їх зображенням є досить актуальною і вивчається відносно молодою галуззю науки, що належить до інформаційних технологій та називається машинним зором.

Розв'язання такої задачі може забезпечити значний прогрес у наукових дослідженнях, а також мати важливе прикладне значення для ведення моніторингу технічного стану об'єктів різного призначення (зокрема будівельних), своєчасний правильний аналіз яких дозволить попереджати виникнення небажаних та аварійних ситуацій. Найбільш поширеним способом попередження – є систематичне застосування методів неруйнівного контролю до яких відноситься оптичний метод, який відрізняється від інших доступністю та можливістю застосування у важкодоступних місцях і складних умовах оточуючого середовища, а також відносно невеликою вартістю.

Природа виникнення дефектів обумовлена значною кількістю як зовнішніх, так і внутрішніх факторів, що породжує їх різноманіття. Кожний тип дефекту має свої особливості і вимагає індивідуального підходу, тому ми обмежуємось розглядом лише одного типу, який визначається як тріщина.

Аналіз проблеми

Задача розпізнання та аналізу зображення відрізняється від загальної задачі обробки зображення [1]. Результатом розпізнання повинен бути символічний опис об'єктів, що знаходяться на знімку, який далі може підлягати аналізу із застосуванням математичних методів та оцінок. Проблеми, пов'язані із задачею розпізнання візуальних образів, вимагають застосування різних математичних методів та моделей із використанням

різного математичного апарату – від теорій ймовірності та нечітких множин до класичних методів математичного аналізу, але здебільшого задача розв'язувалась методами, аналогічними тим, що застосовуються до задачі спектрального аналізу, і є досить однобічним представленням об'єкта дослідження.

Задача виділення необхідного або шуканого об'єкта значною мірою ускладнюється наявністю шумів на знімку, які можуть мати різну природу та походження і спотворюють риси об'єкта дослідження, наприклад, умови отримання знімку, ракурс та фактура матеріала, на якому виконується ідентифікація дефекту.

Також необхідно брати до уваги значний ступінь невизначеності стосовно можливих форм, які може мати дефект типу «тріщина». Різноманіття геометричних образів обумовлене значним переліком факторів, наприклад, матеріалом, на якому дефект виник, навантаженнями на конструкцію у місці появи дефекту і так далі. Для більш точного опису геометрії дефекту та оцінки його характеристик в різних випадках ефективними будуть і різні математичні методи, що викликає потребу у розробці бібліотеки методів та правил їх застосування.

Безпосередньо сам візуальний об'єкт описується та оцінюється як кількісними, так і якісними характеристиками, визначати та враховувати які є також складною задачею. Для ефективного розв'язання задачі розпізнання врахування саме якісних характеристик матеріалу та оточуючого середовища об'єкта є досить важливим і дає змогу значно збільшити об'єм апріорної інформації та, як наслідок, покращити ймовірність своєчасного виявлення дефекту. Наприклад, інформація про матеріал та умови експлуатації дозволяє звужити діапазони кольорів для кращого

відокремлення фону та виявлення об'єктів, які можуть бути дефектом визначеного типу.

Визначені вище проблеми вимагають розробки спеціалізованих адаптивних методів фільтрації зображення, які дозволять оптимально реалізувати очищення даних від нестабільних сигналів та перешкод, спектри яких можуть перекриватись зі спектрами корисних сигналів, є особливо ефективними у випадках, коли полоса перешкод невідома або є змінною, і не може бути задана апіорно, а також, коли корисний сигнал є корельованим із шумом.

Постановка задачі

Адаптивна фільтрація зображення дефекту типу «тріщина» ґрунтується на наявності певного зв'язку між параметрами передаточної функції та параметрами вхідних-вихідних даних стосовно очікуємих або прогнозованих дефектів, або з параметрами їх статистичних співвідношень, що дозволяє виконувати настройку на оптимальну обробку сигналів.

Ідентифікація на базі адаптивного фільтру виконується з максимальним використанням відомої апіорної інформації, як про дефект, що необхідно виявити, так і про шуми та перешкоди. До складу цієї інформації повинні входити дані про природу корисного сигналу та шуму, їх спектральний склад, кореляційні та взаємні кореляційні характеристики (у випадку, що розглядається, перешкоди мають однаковий частотний склад з корисним сигналом).

Адаптивний фільтр складається з двох частин:

- цифрового фільтру з регульованими коефіцієнтами;
- адаптивного алгоритму для настроювання та зміни коефіцієнтів фільтрації.

На вхід фільтру подається два сигнали:

- $y(k)$ – вхідний сигнал, який складається з корисного сигналу $s(k)$ та шуму $n(k)$;
- $x(k)$ – сигнал зразок, який визначає міру зашумлення, що є корельованою з $n(k)$.

Оцінку корисного сигналу $\hat{s}(k)$ можна представити таким співвідношенням:

$$\hat{s}(k) = y(k) - n(k) = s(k) + n(k) - \hat{n}(k),$$

де $\hat{n}(k)$ – оцінка шуму $n(k)$.

Основною метою при побудові адаптивного фільтру є знаходження оцінки параметра $\hat{n}(k)$, що дозволить максимально очистити вхідний сигнал від спотворень, а отже отримати максимум корисної і точної інформації.

Вирішення задачі

У загальному випадку, задача адаптивної фільтрації зображення дефекту типу «тріщина» полягає у побудові адаптивного фільтру для

відшукування сигналів відомої форми на значному рівні шумів, значення яких майже рівне або навіть перевищує значення корисного сигналу, такого, що у процесі фільтрації повинен фіксувати наявність дефекту, якщо він присутній, і фільтр повинен забезпечувати максимально можливу амплітуду вихідного сигналу над рівнем перешкод.

На практиці застосовують два підходи до адаптивної фільтрації:

- прямий (рис. 1, а);
- зворотний (рис 1,б).

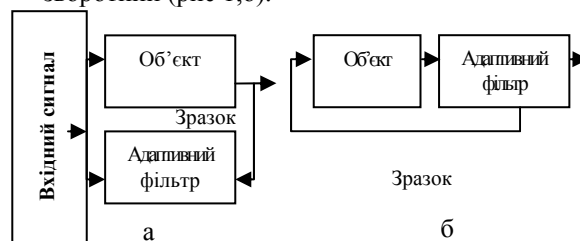


Рис. 1. Методи адаптивної фільтрації: а – прямий; б – зворотний

Для розв'язання задачі необхідно, щоб до складу фільтру була внесена певна інформація про об'єкт та умови дослідження (рис. 2).

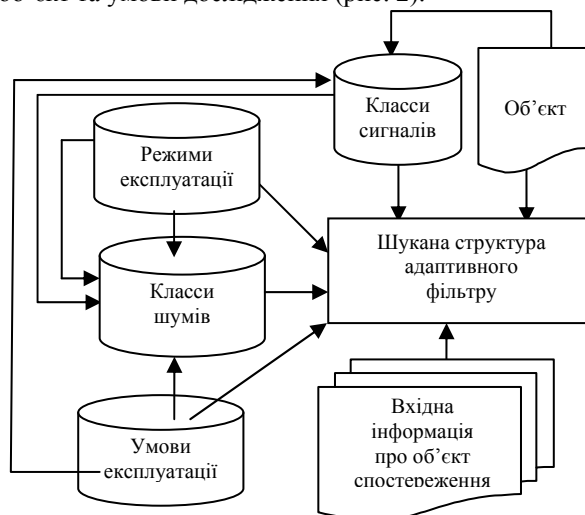


Рис. 2. Структурна схема адаптивного фільтру

Адаптивна фільтрація передбачає реалізацію програмованого фільтру обробки даних з регульованими параметрами і блоку (алгоритму) адаптації, який визначає та реалізує управління його параметрами (рис. 3).

На практиці для розв'язання задачі ідентифікації найчастіше застосовують сигнал-зразок, який порівнюють із сигналом, обробленим математичним фільтром в результаті чого знаходять оцінку зашумлення. Останнім часом застосовують й інший метод розпізнання без використання зразкового сигналу, який називають «сліпою адаптацією» (blind adaptation), але використання такої ідентифікації вимагає більшого обсягу знань

про сигнал, що обробляється, який дозволить оцінити тип та параметри модуляції.

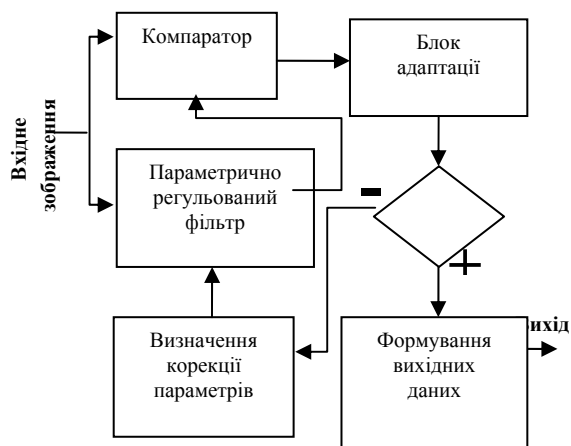


Рис. 3. Схема обробки сигналу адаптивним фільтром

Сьогодні найпоширеніше застосування в розробці систем адаптивної фільтрації сигналів має підхід на основі схеми найменших квадратів.

Представлений в роботі [1] програмований фільтр зображення дефекту типу «тріщина» є узгодженим, трансверсальним, а отже має скінченну імпульсну характеристику. Такий композитний фільтр реалізує обробку зображення в певній послідовності для вирішення таких задач:

1. Корекція яскравості та контрасту зображення, гістограми яскравості, вирівнювання освітленості зображення, покращення точності просторового представлення;
2. Визначення границь можливого об'єкту на зображенні, пошук границь на основі градієнта, пошук границь на основі лапласіана;
3. Виділення можливих об'єктів на зображенні, сегментація за допомогою розрізів на графах;
4. Виділення ознак можливих об'єктів: визначення площі і периметру, визначення радіусів вписаних та описаних кіл маски, визначення сторін описаного прямокутника, визначення кількості та взаємного розташування кутів, визначення моментів інерції об'єкта;
5. Відшукування та розпізнання об'єктів зображення за рахунок прямого порівняння з еталонним зображенням або розпізнання на основі системи ідентифікаційних ознак методами кореляції.

Застосування адаптивних фільтрів зводиться до розв'язання задачі зворотної ідентифікації, а саме – визначення характеристик деякої системи, коли вихідний образ ймовірного дефекту надходить на вхід адаптивного фільтра, а вхідний сигнал системи є образом для адаптивного фільтра, який проходить через підсистему порівнянь (компаратор) (рис 4).

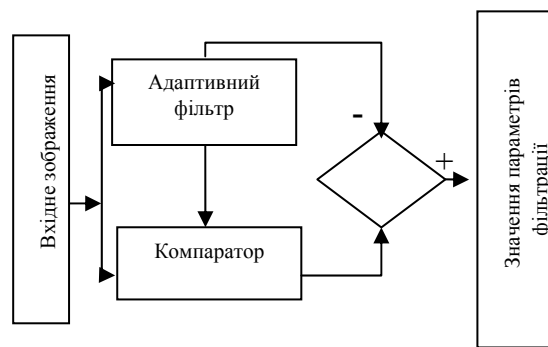


Рис. 4. Схема ідентифікації сигналу адаптивним фільтром

Таким чином фільтр намагається компенсувати вплив системи та відновити вхідний сигнал, усунувши внесені системою спотворення, при цьому основним критерієм адаптивної фільтрації є мінімізація похибки відтворення сигналу зразка, а саме – дефекту типу «тріщина».

Оскільки з вхідним сигналом фільтру корельованою є лише складова шуму зразкового сигналу, у встановленому режимі на виході фільтра буде отримана його оцінка, що присутня у сигналі-зразку. Сигнал похибки, який визначається як різниця між сигналом взірці та вихідним сигналом адаптивного фільтра, буде являти собою сигнал, очищений від перешкод. Звідси випливає і основний недолік застосування адаптивної фільтрації для подавлення перешкод, який полягає у необхідності отримання оцінки шуму.

Традиційне практичне застосування адаптивного фільтра Вінера або адаптивного фільтра найменших квадратів Уїдроу-Хопфа ускладнюється використанням кореляційних матриць взаємної кореляції величин сигнал-шум і автокореляційної матриці апіорі невідомих, які можуть змінюватись у часі для нестационарних сигналів.

Застосування оптимального фільтра Колмогорова-Вінера, де в якості критерію оптимізації використовується умова, що згортка функції відгуку з функцією автокореляції вхідного сигналу повинна бути рівною функції взаємної кореляції вихідного та вхідного сигналів, ускладнюється тим, що він є ефективним лише для випадків, коли відношення сигнал-шум є значним на вході фільтра, тому його доцільно застосовувати для фільтрації специфічних дефектів з достатньо складним спектром. Цей фільтр має максимальний коефіцієнт передачі на частотах домінування сигналу і мінімальний – на частотах домінування шуму.

Отже, необхідно на основі програмованого, узгодженого, трансверсального, композитного фільтра зображення методом розрахунку (наприклад, на базі алгоритму Левінсона)

синтезувати управління в межах адаптивного оптимального фільтру.

Будуючи адаптивний фільтр, необхідно виходити з таких основних критеріїв:

- Мінімізація середнього квадратичного відхилення (МНК) відфільтрованого сигналу від його дійсного представлення (рис. 5).

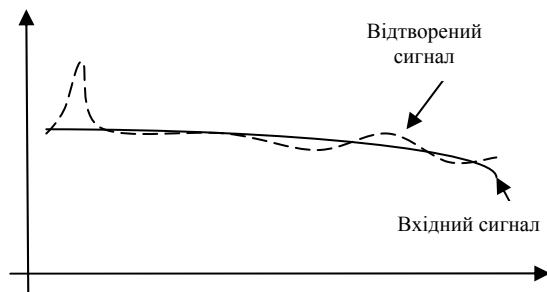


Рис. 5. Результат мінімізації середньоквадратичної похибки сигналу

Критерій МНК доцільно використовувати для вибіркової селекції ознак.

Фільтр повинен жорстко настроюватись під форму сигналу, бо будь-яка її зміна погіршує його ефективність:

- максимізація значення відношення сигнал-шум. В задачі відшукування (встановлення факту наявності) сигналу відомої форми при проектуванні фільтру використовується, як правило, критерій максимуму пікового відношення сигнал-шум на виході фільтру, коефіцієнт передачі фільтру тим більший і ефективність його роботи тим вища, чим більшою є різниця у формі частотних спектрів сигналу і шумів

$$\max(\text{сигнал/шум}) = \max\{\text{sign}(A_{v_i} / \text{Ш}v_i - 1) \cdot (A_{v_i} / \text{Ш}v_i - 1)\}$$

Критерій дозволяє виконувати селекцію побічних включень на зображенні.

- Максимізація енергетичного відношення сигнал-шум на виході фільтру. Доцільно використовувати третій критерій, оскільки він окрім відшукування корисного сигналу дозволяє ефективно оцінити його форму (сигнал за своєю видовженістю вкладається у вікно фільтру і, якщо при цьому на зображенні крім перешкод наявні два або більше зображень дефекту (аномалії), фільтр виконує розділення дефектів за енергетичними показниками та інтервалу кореляції).

Основна ідея застосування адаптивної фільтрації зображень дефекту типу «тріщина» базується на спільному використанні незалежних і різнохарактерних ознак, для яких об'єднуючим фактором є принцип максимальної ймовірності правильної класифікації зображення при

мінімальній кількості обмежень або умов на процедури фільтрації та їх кількість за рахунок

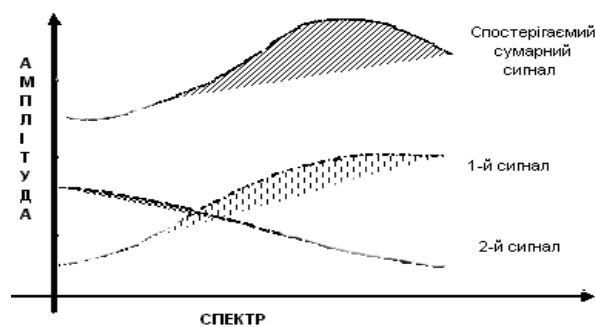


Рис. 6. Результат застосування критерію максимізації енергетичних показників сигналу

корекції (компенсації) спектральних характеристик, кольору і яскравості зображень, за елементною корекцією яскравості фоторегістратора, уточненого оцінювання спектрального розподілу енергії випромінювання, оцінювання координат кольору, поліпшення спектральної зображень.

Висновки

З аналізу використання адаптивних фільтрів зрозуміло, що в основу їх реалізації повинен бути покладений структурно-імовірнісний опис зображення, наявні моделі оптичних систем, моделі формування зображень, моделі цифрових перетворень зображення та моделі шумів зображення.

Адаптивна фільтрація зображень дефекту типу «тріщина» ґрунтується на наявності певного зв'язку параметрів передатної функції з параметрами вхідних, вихідних, очікуваних, прогнозованих дефектів або з параметрами їхніх статистичних співвідношень, що дозволяє самонастроюватися на оптимальну обробку сигналів.

Список літератури

1. Яневич Ю.М. Задачи приема сигналов и определения их параметров на фоне шумов: курс лекций / Ю.М. Яневич. - СПбУ.
2. Адаптивные фильтры / Под ред. Коузена К.Ф.Н. и Гранта П.М. - М. : Мир, 1978. - 392 с.
3. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов / Уидроу Б., Стирнз С. : - М. : Радио и связь, 1989. - 440 с.

Стаття надійшла до редколегії: 22.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Цюцюра, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ