

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 620.179.680

О.В. Горда, О.О. Пузько

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВПЛИВ ФОРМУЮЧОГО ТРАКТУ НА ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДЕФЕКТУ ТИПУ «ТРИЩИНА» НА ЦИФРОВОМУ ЗОБРАЖЕННІ

Визначено актуальність та проаналізовано проблеми впливу компонентів тракту формування зображення дефекту типу «тріщина» на розв'язання задачі ідентифікації об'єкта у оптичному діапазоні, що пов'язані з внесенням спотворень та втратою інформації, що обґрунтовує необхідність розробки формалізованої моделі тракту. Визначено основні залежності представлення зображення від умов зйомки та компонентів формування зображення.

Ключові слова: *формуючий тракт, матриця зображення, дефект, спотворення*

Определена актуальность и проведен анализ проблем влияния формирующего тракта съёмки дефекта типа «трещина» для решения задачи идентификации объекта в оптическом диапазоне.

Ключевые слова: *формирующий тракт, матрица изображения, дефект, искажения*

Actuality is certain and the analysis of problems of influence of forming highway of survey of defect of type is conducted "crack" for the decision of task of authentication of object in an optical range.

Keywords: *forming tract, the image matrix, defect, distortion*

Актуальність та аналіз проблеми

Застосування нових інформаційних технологій в будівельній галузі у поєднанні з комп'ютерною технікою дозволяють підвищити якість експлуатації об'єктів будівництва та перевести на новий рівень виконання задач моніторингу і діагностики їх технічного стану, своєчасний правильний аналіз якого дозволить попереджати виникнення небажаних та аварійних ситуацій і за рахунок своєчасних заходів продовжити термін експлуатації. Одним з перспективних напрямів розв'язання задач моніторингу є застосування методів неруйнівного контролю, до яких відноситься оптичний метод на основі цифрових зображень, що відрізняється від інших доступністю та можливістю застосування у важкодоступних місцях і складних умовах оточуючого середовища. В якості основного оптичного апаратного засобу можуть використовуватись сучасні web-камери, технічні характеристики яких дозволяють отримувати достатньо якісні зображення, є доступними і мають невелику вартість.

Однією з головних причин погіршення експлуатаційних характеристик об'єктів

будівництва є виникнення дефектів. Найбільш поширеним та небезпечним вважається такий дефект, як тріщина та супутні йому дефекти (наприклад, ерозія, висоли, обрушення).

Задача розпізнання та аналізу зображення відрізняється від загальної задачі обробки зображення [2]. Результатом розпізнання повинен бути формалізований опис об'єктів, що знаходяться на знімку, який далі може підлягати аналізу із застосуванням різних математичних методів, моделей та оцінок – 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.

Якість цифрового представлення об'єкта моніторингу та його елементів значною мірою залежить від засобів, способів та умов його отримання. Сукупність цих компонентів утворює фізично формуючий тракт Tr . Задача аналізу впливу тракту на представлення дефекту типу «тріщина» є досить актуальною, відноситься до розділу інформаційних технологій – теорії розпізнання образів.

Постановка задачі

Для коректного відображення дефекту та врахування внесених спотворень важливим фактором є визначення та дослідження характеристик формуючого тракту зображення Tr .

Основою для визначення параметрів Tr є документація та дані:

- паспортні дані про загальні розміри спостережуваного об'єкта;
- відомі паспортні дані стосовно характеристик фотокамери, що застосовується;
- дистанція фотокамери від об'єкта спостереження (може бути обчислена за подібністю або далекоміром фотокамери);
- ракурс (точка зйомки);
- розміри регулярних структур кладки, балок крана й т.п.
- існують маркери – природні або штучно нанесені;
- умови експонування (фактори зовнішнього середовища).

Таким чином задача визначення впливу формуючого тракту на представлення дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні зводиться до побудови моделі формуючого тракту, яка враховує фактори, що вносять спотворення у відображення об'єкта на цифровому зображенні і є суттєвими в процесі прийняття рішення стосовно наявності дефекту та визначенні його характеристик.

Дослідження задачі

Розглянемо функцію розмиття точки (ФРТ) f , яка визначається відображенням одиничного елемента об'єкта Ω у кластер дискретної матриці W , що є представленням зображення цього об'єкта у цифровій формі. ФРТ є адитивною функцією:

$$f(x + y) = f(x) + f(y), \quad x \cap y = \emptyset, \quad x, y \in \Omega$$

$$f(x + y) = f(x) + f(y) - f(x \cap y), \quad x \cap y \neq \emptyset.$$

Належність елемента до певного кластеру K , означає, що стосовно властивості P , яка є предметом дослідження і задана на W , будь-які точки $w \in K$ мають цю властивість у рівній мірі, іншими словами $K = W|P$ – клас еквівалентності. Властивість P розщеплює два елементи $x, y \in \Omega$, $x \cap y = \emptyset$, якщо:

$$f(x) \in K_1 \subset W|P,$$

$$f(y) \in K_2 \subset W|P, \quad K_1 \cap K_2 = \emptyset.$$

Далі будемо розглядати мінімальні за площею S одиничні елементи об'єкта Ω (МОЕ), під якими

будемо мати на увазі фрагменти об'єкта, що переводяться в мінімальний кластер зображення, іншими словами кластер визначений властивістю S і не представлений в S у вигляді суми двох кластерів, що не перетинаються і мають прообрази у Ω (рис. 1).

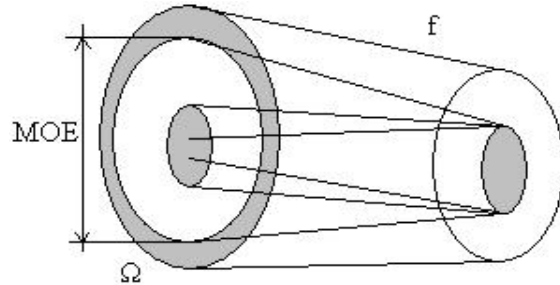


Рис. 1. Представлення мінімального одиничного елемента об'єкта на цифровому зображенні

Крім очевидної залежності розмірів та геометрії МОЕ від дискретності матриці W формуючого тракту Tr (позначимо як Dis), яка обумовлена характеристиками оптичної камери, що є елементом тракту формування зображення Tr , існує залежність і від інших параметрів формуючого тракту, а саме від:

- передачі кольорів – C ;
- чутливості – I ;
- розміру матриці W – Dim ;
- власно, від ракурсу R елемента Ω відносно матриці W .

Отже, формуючий тракт можна розглядати як об'єднання зазначених компонентів:

$$Tr = Dis \cup C \cup Dim \cup I \cup R.$$

Нехай на Ω задана з допуском ε функція розподілу кольору Q з допуском, яка породжує карту областей кольорів $\{q(\varepsilon)\}$. На матриці W розглянемо ознаку:

$$fcol = f[C[Q(\cdot)]],$$

де C – функція передачі кольорів трактом формування зображення Tr . Функція $fcol$ на W задає карту кольорів $\{q^f(i)\}$ розподілу колірних кластерів. Отже, для даного тракту формування зображення формування колірних просторів можна записати так:

$$fcol : \{q(\varepsilon)\} \rightarrow \{q^f(\varepsilon)\},$$

де зазвичай під ε мається на увазі поріг толерантності дискретизації шкали кольорів.

У загальному випадку мають місце такі властивості:

1. $|\{q(\varepsilon)\}| \geq |\{q^f(\varepsilon)\}|;$

2. $loc(\partial q_{Ci}^f(\varepsilon)) \neq loc(q_{Cj}^f(\varepsilon)), i \neq j$, де

$\partial q^{fc}(\varepsilon)$ – границя елемента $q(\varepsilon)$;

$\partial q_{Ci}^f(\varepsilon)$ – границя елемента $q(\varepsilon)$ у каналі кольору Ci відповідної моделі;

$loc(\cdot)$ – функція локалізації елемента на W .

На цій властивості кольору контурів заснована стереоскопічна передача зображення.

3. $loc_{I_{Ci,1}^f}(q(\varepsilon)) \neq loc_{I_{Ci,2}^f}(q(\varepsilon))$,

$$I_{Ci,1}^f \neq I_{Ci,2}^f,$$

де I_{Ci}^f – чутливість матриці W тракту f у каналі кольору Ci .

При цьому, якщо:

$$I_{Ci,1}^f < I_{Ci,2}^f,$$

$$\text{то } |\{q(\varepsilon)\}| \leq |\{q^f(\varepsilon)\}|,$$

наприклад, за рахунок розпадання однорідних областей за низької світлочутливості при збільшенні останнього.

Чутливість апаратних засобів тракту безпосередньо впливає на передачу кольорів. Так, наприклад, залежно від чутливості I в різних каналах кольорів для адитивної кольорової моделі зображення RGB з врахуванням лінійки кольорів (або кола кольорів) передача кольору буде мати характер ступінчастої функції (рис. 2) і ця залежність буде проявлятися тим сильніше, чим більшою буде розмірність матриці $|W|$. Також ступінчастість сильно проявляється на діагональних та дугоподібних лініях.

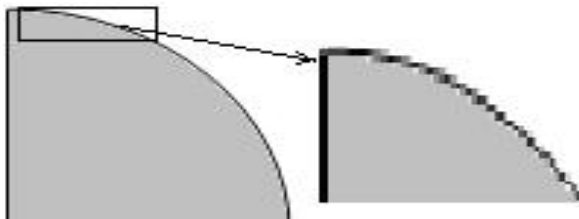


Рис. 2. Ступінчастий характер границь кольорних областей

З метою дослідження впливу ракурсу об'єкта Ω на формування спотворень його зображення застосуємо таку модель. Розглянемо дискретну множину Ω , точки якої належать площині поверхні і утворюють прямокутник, який задається індексами 2-D матриці розмірності $n \times m$. Для точок Ω будемо розглядати суміжність за матрицею W (рис. 3), наприклад, 8-го порядку.

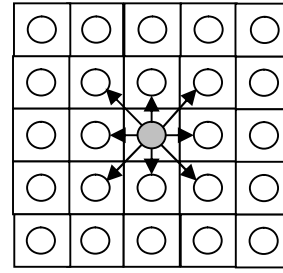


Рис. 3. Графічне представлення суміжності точки 8-го порядку

Таке відношення суміжності є відношенням еквівалентності.

Будемо вважати, що крива γ з'єднує дві точки $x_i, x_j \in W$, Якщо всі точки цієї кривої попарно суміжні та існує впорядкування пар:

$$x_i = p_1 \prec \dots \prec x_j = p_n,$$

де n – довжина кривої.

Кластер Φ , утворений з точки x_0 послідовним приєднанням точок $x_i \in W$ за суміжністю, будемо називати фігурою Φ_{x_0} , відтвореною з $(\cdot)x_0$.

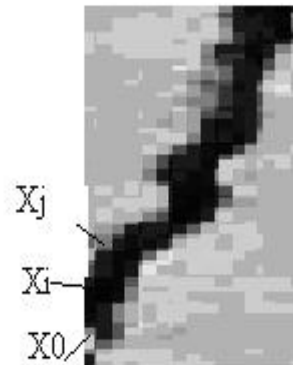


Рис. 4. Утворення фігури області тріщини

Очевидно, що всі фігури, які відтворені з будь-якої точки, що належить Φ_{x_0} будуть тотожними.

Далі фігури будемо позначати як Φ_i , не вказуючи з якої точки вони відтворені.

Контуром фігури $\partial\Phi$ буде геометричне місце точок (ГМТ), отримане з фігури Φ , як множину точок дотику (рис. 5), де можуть спостерігатись два типи дотику:

- контур утворюється дотиком тільки двох суміжних точок (рис. 5, а);
- контур утворюється дотиком більше ніж двох суміжних точок (рис. 5, б).

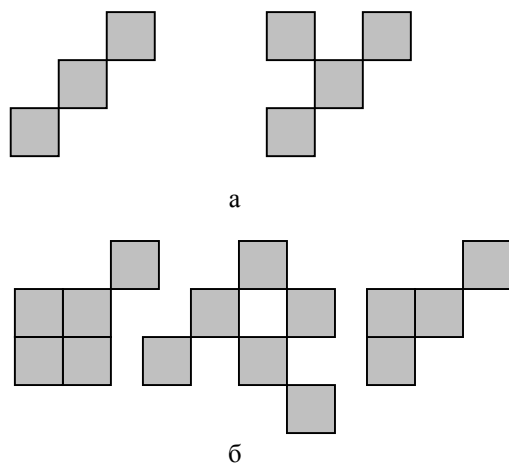


Рис. 5. Варіанти представлення контуру фігури точками на цифровому зображенні

Далі введемо визначення кута сходження α , як кута між площинами, які представляють поверхню об'єкта Ω та площину елементів матриці чутливості кольору W .

Сутність впливу ракурсу об'єкта Ω при експонуванні Qp на поверхню W визначається величиною проєкції Ω на W ($Pr(\alpha, W, \Omega)$), величина якої залежить від:

- кута сходження α між площинами Ω та W ;
- відстані МОЕ об'єкта;
- видовженості об'єкта;
- глибини різкості (ССЗИП) тракту формування зображення;
- розташування площини експонування (ПЕ).

Важливим фактором лінійного спотворення зображення дефектів типу «тріщина» є дисторсія оптики формуючого тракту, яка виникає у результаті еквівалентування фокального зображення фрагментом ПЕ і приводить до стискання лінійних розмірів зображення на краях знімку. Найбільш сильно цей фактор виявляється при значній віддаленості об'єкта моніторингу Ω від оптичної апаратури, що формує зображення. Фактор можна оцінити за рахунок врахування паспортних даних стосовно дисторсії, що додаються до кожного оптичного приладу.

Віддаленість об'єкта Ω від площини його зображення W є суттєвим фактором спотворення, оскільки при заданій дискретності матриці W , кількість її пікселів, що представляють зображення об'єкта Ω зменшується пропорційно відстані. Необхідно зазначити, що дискретність W у результаті огрублення породжує лінійні спотворення видовженості Ω і їх кількість збільшується зі збільшенням відстані від об'єкта.

Враховуючи зазначені фактори, визначимо комплексний поріг чутливості (КПЧ) матриці W , як у каналах кольорів RGB (КПЧ_R, КПЧ_G, КПЧ_B), так і в каналах моделі Lab (КПЧ_L, КПЧ_C), як суттєвий фактор формування зображення Ω . Значення для формування зображення Ω фактору КПЧ визначається його безпосередньою залежністю від відстані, розмиття контурів зображення Ω за рахунок дисторсії та безпосередньою залежністю від передачі кольорів формуючим трактом.

Компенсація факторів КПЧ базується на побудові не на одній карті кольорів для об'єкта Ω , а сімейства карт кольорів, які відповідають різним порогам чутливості ε і функціям передачі кольору для різних матриць W , представлених експериментальними налаштуваннями (presets).

Нелінійний характер передачі кольору формуючим трактом є суттєвим фактором виникнення лінійних спотворень і проявляється у перерозподілі відносних часток колірних плям власно об'єкта Ω .

Нелінійність передачі кольору формуючим трактом, як суттєвий фактор утворення нелінійних спотворень, виражається у перерозподілі відносних часток кольорових областей власно об'єкта Ω та його зображення W , представленою картою кольорів на W , що викликає до спотворення на зображенні розмірів цих областей, їх контурів, видовженості. Необхідно зазначити, що цей фактор технічно не піддається компенсації, оскільки в його основі лежить зсув та нелінійна деформація спектру, тому його вплив можливо враховувати як інтегральний фактор формування зображення. Ступінь спотворень визначається зміною рівня яскравості, оскільки сигнал яскравості накладається на сигнал кольору, що обумовлює появу перехресних спотворень яскравість-колір.

Наступним фактором, який важко піддається компенсації та суттєво впливає на карту кольору зображення, а саме на локалізацію різних областей кольору, є залежність функції передачі кольорів тракту – оптичних властивостей середовища, її однорідності, коефіцієнтів заломлення у колірних каналах. Попередні відомості про параметри середовища формування зображення та відносно мала віддаленість об'єкта експонування Ω є підставою для побудови алгоритмів компенсації зазначеного фактору спотворення зображення.

Зображення дефекту типу «тріщина», отриманого у реальних умовах наведено на рис. 7. Основними елементами тріщини, які можна спостерігати на цифровому зображенні за зміною значень кольору, є [3]:

- фронт – границя між областю поверхні об'єкта моніторингу та тріщиною. На фронтах тріщини часто спостерігається зона руйнування;
- береги – область між фронтом та ровом тріщини, що характеризується зміною насиченості кольору або яскравості, яка має вигляд параболи гілками до гори (рис. 6);

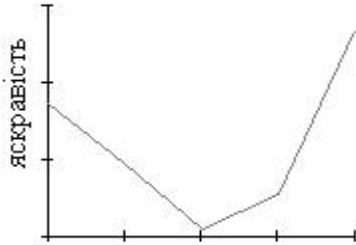


Рис. 6. Змінна яскравості в області тріщини

- рів – дно тріщини, яке має мінімальні значення кольору або яскравості.

За основними елементами дефекту можна визначити його основні геометричні характеристики:

- ширину розкриття;
- довжину;
- площу.

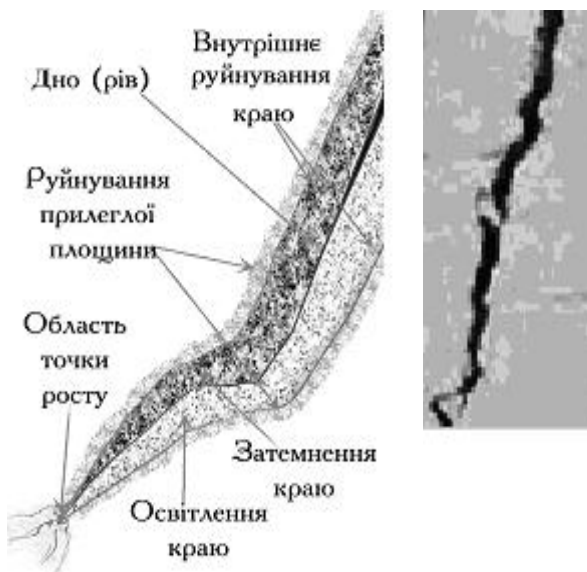


Рис. 7. Зображення тріщини та її елементів

Виділення наведених елементів та їх локалізація виконуються із заданим наперед допуском. Тому далі під зображенням будемо розуміти або впорядкований за допусками набір зображень, або будь-який елемент з такого набору.

Значимо загальне, ракурс зображення R безпосередньо впливає на представлення елементів дефекту типу «тріщина» і причиною виникнення спотворень, пов'язаних з перспективою, в силу того, що ці елементи представлені різною кількістю пікселів матриці W , причому різниця може бути у декілька порядків, наприклад, між точкою зростання

та ланцюгом тріщини, величиною зони руйнування та дном рову.

До загальних факторів також належить різниця карт кольору залежно від елементів дефекту, наприклад, колірна карта зони руйнування за розподілом принципово відрізняється від карти кольорів зони зростання (наприклад, за рахунок прояву механізму формування пластичної деформації). Суттєві зміни у колірні карти елементів дефекту вносять корозійні маси та вплив механізмів ерозії.

Корозійні маси змінюють колірну модель дефекту типу «тріщина» за рахунок появи нехарактерних для матеріалу об'єкта кольорів, другі – за рахунок зміни топології колірної карти, як стосовно геометрії окремих областей, так і за рахунок появи нехарактерних за кольором областей. На практиці вплив наведених факторів компенсується адаптивними властивостями та можливостями механізму моніторингу дефекту типу «тріщина».

Залежність можливості спостереження дефекту типу «тріщина» від роздільної здатності оптики та матриці W , є фундаментом для прийняття рішення про можливість застосування пристроїв даного тракту для побудови КТС системи моніторингу. На практиці застосовується дві міри роздільної здатності за матрицею W – це DPI (Dots per inch) та LPI (Lines per inch). Якщо враховувати таку особливість дефекту, як видовженість, то краще застосовувати калібровочні міри LPI, але при врахуванні спотворень, обумовлених реальними умовами, перевагу можна віддати використанню міри DPI.

При цьому вирішальне правило вибору калібровочної міри має враховувати співвідношення між видовженістю дефекту та відстанню від об'єкта моніторингу, а також структуру особливостей оптичного середовища тракту формування зображення.

Особливим фактором залежності «роздільна здатність-спостереження» є колірність, яка формує карту кольорів зображення дефекту, оскільки на відміну від представлення фігури об'єкта Ω за шкалою GrayScale, фігури сформовані кольоровими областями в загальному випадку не є подібними фігурі самого об'єкта Ω і можуть представлятись у різних каналах не зв'язними областями (бути багатоконпонентними). Найбільш сильно ця особливість проявляється при наявності корозійних мас, забруднень, непрозорій атмосфері, наявності опадів.

Сьогодні, перспективним напрямком підвищення ступеня спостережуваності дефектів типу «тріщина» та його елементів є підхід,

заснований на дескриптивному аналізі, який дозволяє, з одного боку – збільшити можливість виявлення дефекту за рахунок врахування його топології, а з іншого боку – забезпечити можливість побудови часових рядів у процесі моніторингу.

Врахування та компенсація розглянутих факторів виконується з метою забезпечення можливості вимірювання параметрів дефекту типу «тріщина», таких як довжина та площа в межах його представлення матрицею W . При цьому можливість виконувати вимірювання забезпечується за рахунок мінімізації похибок вимірювань лінійних параметрів, похибок вимірювань кольорних параметрів та похибки локалізації елементів дефекту типу «тріщина» на матриці їх представлення W [4].

Висновки

На основі наведених вище факторів формування зображення об'єкта Ω на дискретній матриці W , з врахуванням зазначених їх взаємних зв'язків, а також можливості чисельно оцінити значення, реалізується модель, як імітаційна так і математична, яка представляє формування зображення дефекту типу «тріщина» у реальних умовах формуючого тракту. Основною властивістю такої моделі, окрім можливості безпосереднього виявлення дефекту типу «тріщина», є реалізація адаптивного уточнення локалізації та розмірів кластерів, що представляють елементи дефекту на зображенні, сформованому конкретним трактом відносно визначеного об'єкта моніторингу у заданому середовищі функціонування та у заданих режимах експозиції.

Список літератури

1. Волосов Д.С. *Фотографическая оптика*. – М.: Искусство, 1971.
2. Соифера. В.А. *Методы компьютерной обработки изображений*. Физматлит, 2001.
3. Горда О.В. Фільтрація зображень дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні web-камер // *Техніка будівництва* – 2009, №21 – С.134-138.
4. Горда О.В. Дослідження функції присутності дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва. // *Управління розвитком складних систем, Київ – Вип. 10, 2011, – С.112-114.*

Стаття надійшла до редколегії 14.03.2013

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