

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КОЛОМІЄЦЬ Світлана Петрівна

УДК 004.67:001.89

**МОДЕЛІ І МЕТОДИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ДЕФЕКТУ ТИПУ «ТРИЩИНА»
НА ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент

Горда Олена Володимирівна

доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури, МОН України (м. Київ)

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Лантух-Лященко Альберт Іванович

професор кафедри мостів і тунелів Національного транспортного університету, МОН України (м. Київ)

кандидат технічних наук, доцент

Січко Тетяна Василівна

доцент кафедри прикладної математики і теорії систем управління Донецького національного університету імені Василя Стуса, МОН України (м. Вінниця)

Захист відбудеться "07" червня 2019 року о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.01 при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31, а. 466.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури (03680, м. Київ, пр. Повітрофлотський, 31).

Автореферат розісланий "26" квітня 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат техн. наук, доцент



М.І. Цюцюра

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На теперішній час особливого значення набули проблеми контролю технічного стану об'єктів будівництва і обґрунтованості вибору відповідного комплексу інженерних заходів. Спостереження за технічним станом будівельних конструкцій і споруд повинно відповідати вимогам СНіП:

- працювати систематично;
- реєструвати зміни, що відбуваються на основі кількісних критеріїв;
- дозволяти виявлення фактичної міцності, жорсткості і стійкості конструктивних елементів та їх відповідності нормативним вимогам.
- Аналіз ризику та причин аварій будівельних конструкцій і споруд показує, що аварії відбуваються:
 - при не проведенні обстеження технічного стану та експертизи, а також при недотриманні термінів чергового контролю безпеки;
 - аварійне руйнування можливо на будь-якій стадії життєвого циклу;
 - обстеження технічного стану та експертиза безпеки будівель і споруд носять періодичний характер при відсутності постійного моніторингу технічного стану конструкцій, відповідальних за стан об'єктів будівництва в цілому;
 - через порушення норм експлуатації аварії можливі у період між черговими обстеженнями технічного стану та експертизами безпеки будівельних конструкцій та споруд.
- У сучасному будівництві можна виділити наступні тенденції:
 - збільшення поверховості будівель;
 - ущільнення міської забудови;
 - освоєння підземного простору;
 - насичення інженерними комунікаціями.

На працездатність і терміни служби будівель і споруд значний вплив мають пошкодження, що виникають в процесі експлуатації, і накопичуючись та розвиваючись, можуть призвести до відмов у роботі як окремих елементів, так і будівельних споруд в цілому. Для виявлення та класифікації таких пошкоджень проводять моніторинг технічного стану об'єктів будівництва, який дозволяє попереджати виникнення небажаних та аварійних ситуацій.

Головною перспективою розвитку систем моніторингу будівельних конструкцій і споруд є створення постійно діючих автоматизованих систем контролю технічного стану об'єкта. Сьогодні особлива увага приділяється методам неруйнівного контролю, сутність яких полягає у реєстрації динаміки зміни технічного стану (ТС) об'єктів будівництва (ОБ), а саме виявленні та класифікації дефектів без активного впливу на об'єкт моніторингу.

Актуальність роботи визначається розширенням застосування і удосконаленням методів неруйнівного контролю технічного стану об'єктів будівництва на основі зображень web-камер. Для побудови нових методів і

оптимізації існуючих, необхідно більш детально та глибоко дослідити інформацію, представлену на цифровому зображенні.

Одним із поширених методів неруйнівного контролю є оптичний метод, який відрізняється від інших можливістю застосування у важкодоступних місцях і складних умовах оточуючого середовища, а також відносно невеликою вартістю, та полягає в отриманні та дослідженні цифрового зображення за допомогою засобів на основі web-камер.

Оптичний метод неруйнівного контролю дозволяє проводити обстеження безпосередньо на об'єкті без зміни характеристик самого об'єкта. З його допомогою можна проводити, як разові обстеження об'єкта моніторингу, так і вести безперервне спостереження, що дає можливість своєчасно виявляти виникнення пошкоджень і дефектів, і тим самим підвищити безпеку будівель і споруд на різних етапах їх життєвого циклу (як під час їх зведення, так і в процесі експлуатації).

Візуально-оптичний метод неруйнівного контролю заснований на спостереженні та аналізі параметрів оптичного випромінювання, що взаємодіє з спостережуваним об'єктом і дозволяє на основі цифрових зображень проводити обстеження безпосередньо на об'єкті і так само є мало витратним в застосуванні.

Науковою основою досліджень та розробки методів моніторингу та оцінки технічного стану об'єктів будівництва є роботи присвячені теорії моделювання (Ю.П. Питьєв, А.І. Чуличков, С.П. Курдюмов, А.Є. Кононюк, Г.Г. Малинецький, О.А. Самарський, Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лоун, К. Шеннон та ін.), механіці деформованого твердого тіла та руйнування матеріалів (Н.Ф. Морозов, Л.І. Слепян, І.А. Биргер, В.Г. Зубчанінов, А.С. Кравчук, А.І. Лур'є, В.А. Ломакін, Н.Н. Малінін, В.Е. Вільдеман, Ю.В. Соколкин, Я.Б. Фрідман та ін.), а також методи розпізнання образів (Я.А. Фурман, Е. Патрік, Л.Т. Кузін, Ф.І. Перегудов, Ф.П. Тарасенко, Ф.Е. Темніков, П. Харт, Дж. Ту, Р. Гонсалес, П. Уінстон, К. Фу, Я.З. Ципкін, Ю.Л. Барабаш, А.Л. Горелік, В.А. Скрипкін та ін.). Значний внесок у окремі аспекти зазначених напрямів внесли вітчизняні та закордонні вчені: Р.І. Вейц, В.М. Міхайленко, О.В. Горда, С.Д. Бушуєв, О.Д. Панкевич, С.Д. Штовба, В.Н. Вапник, А.Я. Червоненкіс, Н.Г. Загоруйко, Ю.И. Журавльов, В.М. Глушков, М.А. Айзерман, М.М. Бонгард, Л.И. Розоноер, Г.С. Себастьян, А.Г. Івахненко, Э.М. Браверман.

Серед дефектів, які виникають на поверхнях об'єктів будівництва, наприклад, на поверхнях залізобетонних і кам'яних конструкцій, найчастіше зустрічаються тріщини, які з часом можуть призводити до повного руйнування ОБ. Своєчасне виявлення дефекту цього типу та розробка заходів стосовно його усунення дає змогу попередити небажані наслідки та продовжити термін експлуатації споруд та будівель.

Вивчення тріщин в бетоні і цегляній кладці, металевих та дерев'яних спорудах, причин їх виникнення, а також можливості ремонту конструкцій – найбільш важливий момент в загальній проблемі відновлення і підсилення цих конструкцій.

Важливими характеристиками дефекту типу «тріщина», які можна спостерігати шляхом звичайного огляду або за допомогою процедури розпізнання на цифровому зображенні, з урахуванням їх структури, є колірні та геометричні характеристики такі, як довжина, площа та ширина розкриття. Але виходячи з природи утворення дефекту типу «тріщина», стає очевидним, що створити еталон тріщини неможливо і розпізнання доцільно проводити на основі адаптивного алгоритму, базуючись на послідовному застосуванні класифікаційних ознак, де однією з важливих і складних процедур є локалізація дефекту. Дослідження змісту цифрового зображення дефекту типу "тріщина" (ІЗОДТТ), з точки зору спостережуваних кластерів, дозволить будувати каталоги процедур для визначення класифікуючих ознак ІЗОДТТ або адаптивні процедури ідентифікації та розпізнавання тріщин.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота на тему «Моделі та методи локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва», затверджена протоколом факультету № 6 від 22 квітня 2015 р. та протоколом вченої ради № 33 від 24 квітня 2015 р., та безпосередньо пов'язана з виконанням держбюджетних науково-дослідних робіт Київського національного університету будівництва і архітектури («Моделі і методи автоматизованого управління системою комплексної безпеки будівель» та «Моделі, методи і інформаційні технології діагностики стану будівельних конструкцій», №ДР 0115U003734).

Мета і завдання дослідження. Основною метою дисертаційної роботи є вирішення задачі локалізації області розташування елементів дефекту типу «тріщина» та супутніх дефектів на цифровому зображенні.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– дослідити умови спостережуваності дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва за рахунок контрастності та класифікувати розміщення супутніх дефектів; проаналізувати розподіл дислокацій супутніх дефектів вздовж елементів ІЗО ДТТ на основі узагальненого уявлення дефекту типу «тріщина» та виділити супутні дефекти для кожного елемента тріщини та систематизувати і представити сукупність кластерів на зображенні дефекту типу "тріщина" на основі контрастності.

– розробити модель інформаційної технології визначення локалізації елементів дефекту типу «тріщина» на базі сукупності дефектів області суміжності на основі аналітично-ознакової оцінки локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва на основі контрастності;

– розробити метод визначення області локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок супутніх дефектів;

– розробити метод визначення напрямку розвитку дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва за рахунок контрастності;

– розробити метод локалізації дефекту типу «тріщина» за рахунок дислокації суміжних дефектів;

- розробити модель локалізації дефекту типу «тріщина» з урахуванням неоднозначності та її представлення на цифровому зображенні;

- розробити інформаційну технологію контрастування дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні із врахуванням точки білого та точки чорного зображення.

Вхідними даними для вирішення приведених задач є цифрове дискретне зображення споруди або його окремих фрагментів, а також інформація про матеріали, поверхні та умови одержання самого зображення, необхідна для визначення колірних просторів, розподілу яскравості і спотворень.

Об'єктом дослідження є цифрове зображення та процеси аналізу цифрових зображень дефекту типу «тріщина».

Предметом дослідження є моделі та методи локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі використані такі методи дослідження: методи розпізнання образів, а саме, фільтрації, перетворення колірної моделі, зокрема бінаризації, які базуються на теорії статистичних оцінок та прийнятті рішень; методи дискретної геометрії; аналітична геометрія; топологічні методи; теорія множин та графів; методи системного аналізу; методи статистичного аналізу; двомірна апроксимація; контрастування та адаптивне управління локалізації ДТТ на зображенні.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в побудові моделей та методів локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності та дослідженні інформаційних технологій реалізації в межах оптичних методів неруйнівного контролю на базі веб-камер.

Досліджені моделі та методи локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності з метою виявлення дефекту типу «тріщина» на об'єктах будівництва.

Вперше:

- досліджено концепцію умов спостережуваності дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності для об'єктів будівництва та запропоновано класифікацію розміщення супутніх дефектів, що включає 15 найбільш актуальних типів тріщин на об'єктах будівництва, дозволяючи розширити перелік вирішуваних задач моніторингу;

- розроблено модель інформаційної технології визначення локалізації елементів дефекту типу «тріщина» на базі сукупності дефектів області суміжності на основі аналітично-ознакової оцінки локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні на основі контрастності для об'єктів будівництва, яка дозволяє побудувати алгоритм визначення області локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні.

Удосконалено:

- метод визначення області локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок супутніх дефектів;

- метод визначення напрямку розвитку дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності для об'єктів будівництва, який,

на відміну від існуючих методів, дозволяє виконувати прогнозування розвитку дефекту;

- метод визначення локалізації дефекту типу «тріщина» за рахунок дислокації суміжних дефектів, який, на відміну від існуючих методів, дозволяє визначити наявність та розташування тріщини.

Отримало подальший розвиток:

- модель виявлення локалізації дефекту типу «тріщина» з урахуванням неоднозначності та її представлення на цифровому зображенні, яка дозволяє спостерігати тріщини на цифрових зображеннях у складних умовах, наприклад, при затемненні та неправильному ракурсі;

- інформаційна технологія контрастування дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні із врахуванням точки білого та точки чорного, яка дозволяє більш ефективно виділити елементи тріщини.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні інформаційної технології підвищення якості оптичного методу моніторингу технічного стану об'єктів будівництва та в розробці інформаційної технології локалізації дефектів типу «тріщина» будівельних об'єктів на цифрових зображеннях в оптичному діапазоні на базі моделей, методів та розробленої автором процедури, із застосуванням спеціалізованих програмних засобів, за рахунок застосування методів і моделей теорії розпізнання образів.

Наукові результати дисертаційної роботи апробовані, що підтверджується довідками про впровадження, у Державному підприємстві «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С. Балицького» та в ТОВ «МЦТ-Інжиніринг» за напрямом організація будівництва та будівель.

Особистий внесок автора. Усі наукові та практичні результати, що наведені у дисертаційному дослідженні, отримані автором самостійно та дозволили вирішити поставлені науковим керівником завдання. Результати дисертації є новими і належать автору. У публікаціях, які опубліковані у співавторстві, використовувалися тільки ті положення та ідеї, які є результатом особистих досягнень здобувача.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення дисертації були викладені та обговорені на 6 міжнародних науково-практичних конференціях: XVIII міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології в економіці, менеджменті та бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти (Європейський університет)», м. Київ 2012 р.; міжнародні науково-практичні конференції Київського національного університету будівництва і архітектури "Управління розвитком технологій", м. Київ, 2014, 2016, 2017, 2018 рр.; Перша всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів Київського національного університету будівництва і архітектури "BUILD-MASTER-CLASS", м. Київ, 2015 р.

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи викладено у 13-ти наукових працях, що відображають основні результати роботи, з них 7 публікації у іноземних виданнях та наукових фахових виданнях, 6 тез доповідей в матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота, загальним обсягом 205 сторінок, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 200 найменувань на 17 сторінках та 5 додатків. Основна частина роботи представлена на 160 сторінках, у тому числі містить 118 рисунків та 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, обґрунтовані наукові положення і наукова новизна, а також практичне значення виконаних досліджень.

У першому розділі проведено огляд предметної області та здійснено постановку задачі для визначення локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях за рахунок контрастності.

Обґрунтовано необхідність реалізації моніторингу внутрішніх процесів споруд та будівельних конструкцій, які характеризують властивості міцності та ступінь надійності цих об'єктів до будь-якого моменту часу за допомогою методів контролю.

В роботі розглянуті існуючі методи контролю технічного стану об'єктів будівництва та обґрунтовано вибір візуально-оптичного методу неруйнівного контролю на основі web-камер.

Проведено огляд різноманітних чинників, як природно-кліматичних, гідрогеологічних, так і технологічних, які впливають на спостережуваність дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за допомогою веб-камер на основі контрастності.

Проведено огляд характеристик дефекту, механізми утворення з точки зору спостережуваності дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за допомогою веб-камер на основі контрастності.

Відзначено, що для процесу аналізу зображень найбільш важливими являються характеристики світлотехнічних параметрів (особливо знання про палітру кольорів), Інформація про фізичні та механічні властивості матеріалів дозволяє прогнозувати напрям та структуру тріщин.

Розглянуті дослідження та розробки, як зарубіжних, так і вітчизняних вчених в області розпізнання образів, механіки деформованого твердого тіла та руйнування матеріалів, теорії моделювання та проведений аналіз існуючих методів локалізації для цифрових зображень, з метою визначення кращих з них, для застосування при локалізації дефектів типу тріщина на об'єктах будівництва.

Виконано постановку задачі: дослідження інформаційних процесів, методів і моделей локалізації дефектів типу "тріщина" на цифрових зображеннях споруд та будівельних конструкцій в оптичному діапазоні веб-камер, і на їх основі побудова методу на базі адаптивного алгоритму локалізації дефектів типу "тріщина" у рамках неруйнівного контролю в системі комплексної технічної діагностики.

У *другому розділі* визначені та досліджені інформаційні джерела, що робить можливим побудову методів і моделей локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва на основі контрасту. За рахунок контрастності для будівельних споруд та конструкцій запропоновано локалізацію, яка дозволяє побудувати алгоритм та метод визначення області локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні.

Контраст є однією з основних характеристик цифрового зображення, яка в значній мірі визначає якість зображення, залежить від світлотехнічних параметрів і представляє собою різницю в характеристиках ділянок зображення, здатність фотографічного матеріалу або оптичної системи відтворювати цю різницю, а також характеристику чутливості оптичної системи щодо яскравості і кольору.

Наявність контрасту обумовлює можливість розрізнення двох суміжних ділянок ІЗО ДТТ як окремих, а не складових однієї загальної, тому для появи локальних контрастів зображення ДТТ важливе взаємне розташування суміжних областей за кольором, яскравістю, текстурою на ІЗО ДТТ. Тому найбільш інформативними, з точки зору спостережуваності, для локалізації та ідентифікації ДТТ на ІЗО являються такі контрасти, як крайовий, по насиченості, світлого і темного та по тону.

На формування контрасту впливають технічні перешкоди, обумовлені збоями в обладнанні, при отриманні, передачі та зберіганні зображень; зміни освітленості, пов'язані з переміщенням джерел світла, зміною їх числа і характеристик; точка зйомки (ракурс), яка залежить від відстані та кута повороту об'єктиву відносно поверхні об'єкту моніторингу; зовнішнє середовище (пил, туман, дощ); характеристики матеріалу поверхонь будівельних об'єктів, а саме рельєф, колір, текстура та типові забруднення. Все це сприяє появі спотворень – дрібних, сторонніх по яскравості і кольору включенням, що порушують структуру зображення.

На зображенні, з урахуванням методів розпізнавання образів і аналізу ІЗО ДТТ, інформативними являються не значення яскравості областей ІЗО ДТТ, а характеристики їх границь – контурів, що представляють собою сукупність пікселів в околі яких спостерігаються стрибкоподібні зміни функції яскравості, які вказують на місцезнаходження контурів об'єктів на ІЗО ДТТ.

Наявність спотворень на ІЗО ДТТ може утворювати небажані артефакти, наприклад помилкові контури навколо об'єктів, або усувати деталі низького контрасту на зображенні.

В рамках дослідження було використано 21 зображення розкритих та волосяних тріщин, отриманих при спостережуваних параметрах освітленості і ракурсів зйомки на об'єктах будівництва на таких поверхнях як дерево, цегла, штукатурка, фарбована поверхня, плитка та бетон.

В даному випадку в результаті обробки зображень за допомогою методу виділення лінійних компонентів, з метою фільтрації шуму, можна отримати

якісне зображення ДТТ придатне для подальшого визначення дислокації характерних лінійних об'єктів відповідних тріщині.

Результати дослідження концепції умов спостережуваності дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності для об'єктів будівництва наведено на рис. 1.

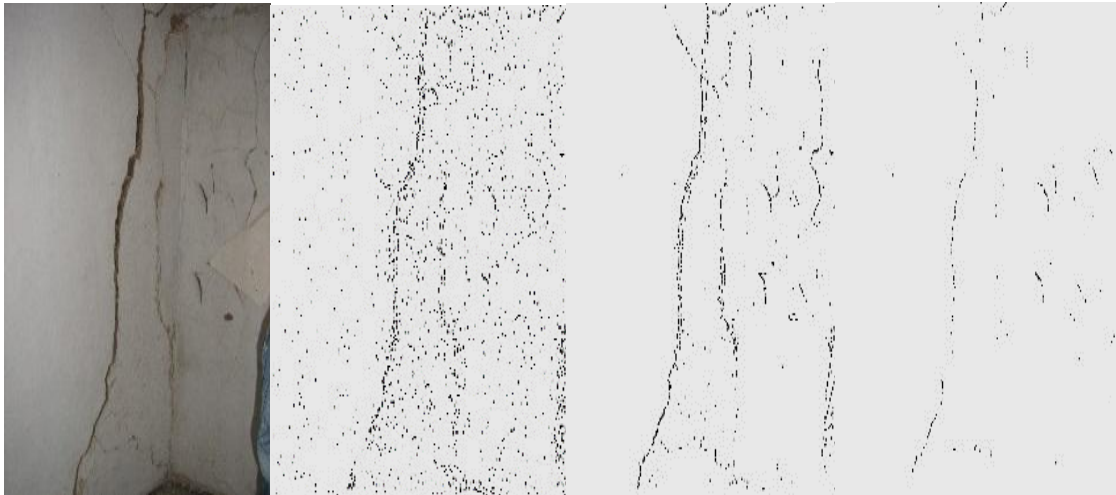


Рис. 1 Результати обробки зображення

Областю локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні об'єктів будівництва називається однозв'язна область супутніх дефектів за класифікаційними ознаками, що може містити ознакоутворюючі елементи ДТТ.

Метод визначення області локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок супутніх дефектів реалізує вирішення задачі:

- визначити та дослідити відношення:

$(W, E) \rightarrow Loc(\Omega)$, де W – матриця $n \times m$, що представляє носій цифрового дискретного зображення, E – інформаційний масив вхідних даних, Loc – область локалізації можливого ДТТ Ω ;

- з метою побудови локалізації ДТТ Ω для системи моніторингу технічного стану об'єктів будівництва в рамках моделі інформаційної технології:

$S_w(E, int ob(Rg)) \rightarrow max(\Omega)$, де $Rg \equiv rg(\{rg(el_i)\}_{\{ct_j\}})$, Rg – функція визначення та побудови області суміжності; ob – обрис; S_w – площа цифрового дискретного зображення; Ω – зображення тріщини на W ; el_i – елемент типу тріщина; ct_j – типи тріщин на W при інформації E .

Вхідні дані являють собою:

- цифрове дискретне зображення (W);
- інформаційний масив відносно об'єкта моніторингу, який містить інформацію про поверхні (матеріали) об'єкта моніторингу (P):
 - рельєфі (P_r),
 - текстурі (P_t),
 - кольору (P_c),
 - типових забрудненнях (P_z);

- умовах формування зображення (UF):
 - ракурс (UF_r),
 - віддаленість об'єкту моніторингу від веб-камери (UF_u),
 - розташування джерела світла відносно об'єкту (UF_s),
 - розташування поверхні об'єкту моніторингу відносно веб-камери (UF_{web}),
 - характеристики зовнішнього середовища (UF_{os});
- апаратні засоби тракту формування зображення (AS):
 - веб-камера (AS_{web}),
 - оптичні характеристики (AS_{opt}),
 - цифровий перетворювач (AS_{cp}),
 - попередня обробка (AS_{po});
- специфічні умови формування зображення (SUF):
 - наявність випадкових шумів (SUF_{sp}),
 - наявність постійних шумів (SUF_{pp}),
 - забруднення (SUF_z).

Параметрами процедури локалізації є умови або значення, які постійно використовуються для обробки цифрового зображення ДТТ і складаються з:

- масивів видів тріщин (M_{vt});
- масивів типів елементів тріщин (M_{tet});

які представлені у вигляді класифікаторів, бібліотек програм та умов їх склеювання.

Вихідні дані представляють собою класифікатори областей на зображенні, які можуть бути локалізаціями тріщини.

$E = \{E_i\}_{i=1}^{n_0}$ – інформаційний масив вхідних даних:

$$E_1 = (P_r, P_t, P_c, P_z),$$

$$E_2 = (UF_r, UF_u, UF_s, UF_{web}, UF_{os}),$$

$$E_3 = (AS_{web}, AS_{opt}, AS_{cp}, AS_{po}),$$

$$E_4 = (SUF_{sp}, SUF_{pp}, SUF_z);$$

$Loc = \{loc_j\}_{j=1}^1$ – обриси області локалізації;

$ELProc = \{proc_k\}_{k=1}^K$ – процедури визначення елементів типу тріщина;

$CRProc = \{crproc_m\}_{m=1}^H$ – процедури визначення типів тріщин;

$ELCRSH = \{elcrsh_i\}_{i=1}^{h_1}$ - процедури та критерії зшивки елементів типу тріщина;

$RSEL = \{rsel_i\}_{i=1}^{h_2}$ - процедури визначення області суміжності i – го елемента.

Перетворення вхідних даних включає в себе:

- формування сукупності елементів тріщин присутніх на зображенні;
- критерії визначення на цифровому зображенні елементів тріщин;
- визначення для кожного сформованого фрагмента області суміжності;
- формування масиву областей суміжності;

- визначення області локалізації як сукупності мінімальних областей які містять області суміжності.
- 1) $(W, E) \xrightarrow{ELProc} \{el_i\}$ – елемент типу тріщина на W при інформації E ;
 - 2) $\{el_i^*\} \xrightarrow{CRProc} ct_j$ - типи тріщин на W при інформації E ;
 - 3) $\{el_i\} \xrightarrow{ELCRSH} \{el_i^*\}$ - елементи тріщини після зшивання;
 - 4) $\{el_i^*\} \xrightarrow{RSEL} \{rgel_i^*\}$ - області суміжності;
 - 5) $ob\{rgel_i^*\} = loc_i$ – обриси областей суміжності;
 - 6) $Loc = \{loc_j\}_{j_2}^L$ – область локалізації.

У третьому розділі сформульовано і обґрунтовано метод локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні на об'єктах будівництва на основі проведеного аналізу сіток розтріскування суміжних з ознакоутворюючими елементами ДТТ. Для побудови сіток розтріскування використовувався яскравісний канал цифрового зображення в цифровому просторі GrayScale, методика побудови структур колірною атласу на зображенні ДТТ. Запропоновано класифікацію розміщення супутніх дефектів, що включає 15 найбільш актуальних типів тріщин на об'єктах будівництва, яка дозволяє розширити перелік вирішуваних задач моніторингу. Викладено метод визначення напрямку розвитку дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності для об'єктів будівництва. Розроблено метод визначення локалізації дефекту типу «тріщина» за рахунок дислокації суміжних дефектів та модель виявлення локалізації дефекту типу «тріщина» з урахуванням неоднозначності та її представлення на цифровому зображенні.

Для ІЗОДТТ в колірному просторі GrayScale структура колірною атласу задається в каналі яскравості за рахунок введення порогу відмінності яскравості, світлового діапазону даного цифрового зображення. Структура являє собою лінії перепадів яскравості і відповідати зображенням, які представляють різні об'єкти. Зокрема, кластера ІЗОДТТ, кластера який представляє фон на зображенні, та кластера супутніх об'єктів, що представляють собою різні дрібні випадкові об'єкти, забруднення і корозійні маси на поверхні об'єкта моніторингу. Власне ІЗОДТТ представлено зображеннями ознакоутворюючих елементів ДТТ в околиці кожного з яких можуть знаходитися супутні дефекти поверхні об'єкта моніторингу і які можна розділити на випадкові і характерні (специфічні), що утворюються в процесі утворення тріщин.

Оскільки на ІЗОДТТ може бути відсутня частина ознакоутворюючих елементів, виключаючи зображення ланки тріщини, то сукупність зображень сіток розташування суміжних дефектів для наявних ознакоутворюючих елементів утворює характерну сітку для даного ІЗОДТТ в цілому. Особливо слід відзначити перехід до дослідження зображень сіток супроводжуючих ІЗОДТТ, який дозволяє, в загальному, не розділяти розкриті і волосяні тріщини, так як результати отримані на основі структур сіток прилеглих до ІЗОДТТ за винятком одного: лінії берегів розкритої тріщини подібні і можуть бути суміщені

обертанням навколо відповідної точки росту (у тріщини берега ізоморфні з точністю до повороту).

При проведенні дослідження 15 типів тріщин, реально спостережуваних на об'єктах будівництва, таких, як: точка росту тріщини, точка злиття тріщини, точка розгалуження тріщини, точка великого кругового кореня тріщини, магістральна тріщина, острів в руслі тріщини, острів в точці злиття тріщини, русло тріщини (яр) через раковину, розтріскування зв'язне, розтріскування не зв'язне, розтріскування (багато коренів тріщини), серповидні розтріскування, розтріскування на радіально-шаруватій структурі, крихке (радіальне) розтріскування, розтріскування цегельної кладки, можна зробити висновок, що супутні дефекти розташовані і орієнтовані уздовж тріщин в безпосередній близькості, тобто суміжні з ними.

Однією з проблем локалізації на ІЗОДТТ є спостережувана неоднозначність ДТТ, визначення і дослідження якої на цифровому зображенні актуально.

Чинниками, які впливають на локалізацію на ІЗОДТТ є:

- умови зйомки - освітленість, запиленість, дистанція, ракурс;
- фрагментованість - яка відносна величина тріщини відбилася на ІЗОДТТ і саме який елемент тріщини;
- навантаженість пікселя зображення - під яким мається на увазі відношення реальної площі (або відновлення через оптичне співвідношення формуючого тракту) до кількості пікселів, відповідних функції присутності ДТТ на ІЗО.

В разі спостереження розкритих тріщин дискриптивні ознаки тріщини забезпечують однозначність локалізації та ідентифікації в силу своєї характерної топологічності; локалізація та ідентифікація ДТТ здійснюється однозначно за рахунок відстеження функції присутності вздовж напрямків розповсюдження тріщини; для волосяних тріщин однозначність локалізації та ідентифікації здебільшого не спостерігається, необхідний облік більш диференційованих ознак тріщини в сукупності корінь - точка розгалуження - точка злиття. В разі спостереження великого кругового кореня волосяної тріщини, який в залежності від різкості і можливості розрішення ІЗО можна помилково локалізувати та класифікувати як сукупність точок розгалуження, компактно розташованих на ІЗОДТТ. Невизначеність в поширенні тріщини проявляється в разі присутності на ІЗО ДТТ 3 елементів: кореня тріщини, ланки та точки росту.

Невизначеність на границі надана на рис. 2:

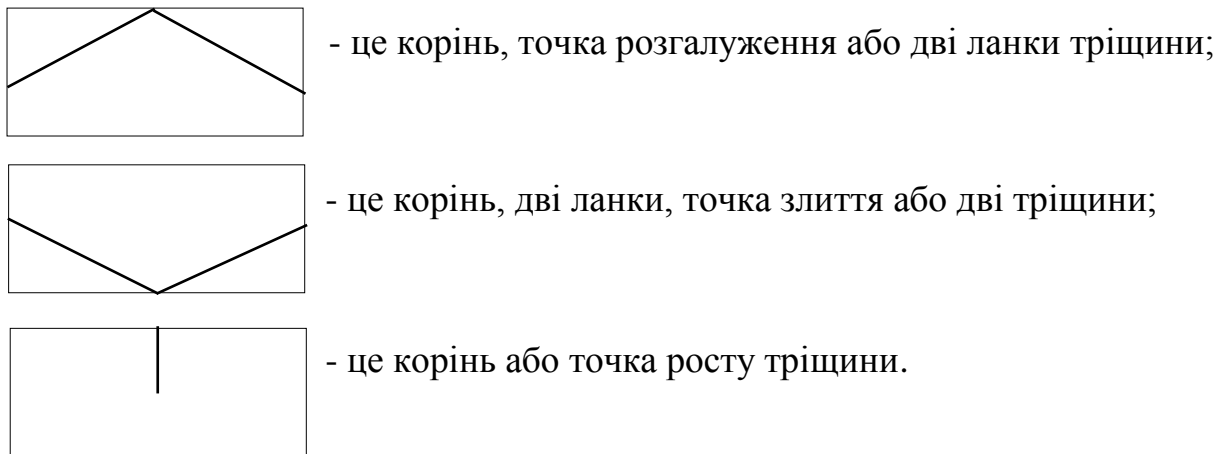


Рис. 2 Невизначеність на границі

Розподіл контрастів на ІЗО ДТТ відбувається за градаціями яскравості в динамічному діапазоні, а уздовж елементів ДТТ - залежить від кута розкриття та глибини рову тріщини. При збільшенні контрасту рівні яскравості концентруються до країв ДТТ, набуваючи крайових значень тонового діапазону, які представляють собою максимальний контраст. При зменшенні контрасту рівні яскравості концентруються до рівня сірого, набуваючи середнього тонового рівня, який представляє собою мінімальний контраст.

Специфічні ознаки ДТТ на ІЗО ДТТ є комплексами локальних геометричних ознак, для обчислення значень яких необхідно забезпечити ступінь контрасту, що дозволяє локалізувати колірні кластери на ІЗО ДТТ.

Одним з важливих кроків формалізації кластерів розподілу ліній контрасту уздовж кожного елемента типу «тріщина» на ІЗО ДТТ є створення каталогу ДТТ, тобто опису складових елементів тріщини і можливих варіантів їх поєднань на ДТТ з урахуванням супутніх дефектів. Будь-яка тріщина, незалежно від типу (розкрита або волосяна), має 5 елементів (рис. 3): корінь, ланки, точку росту, точку розгалуження і точку злиття, і які повинні бути присутніми в каталозі. Але на практиці ж у розкритій і волосяній тріщині не завжди присутні всі елементи.

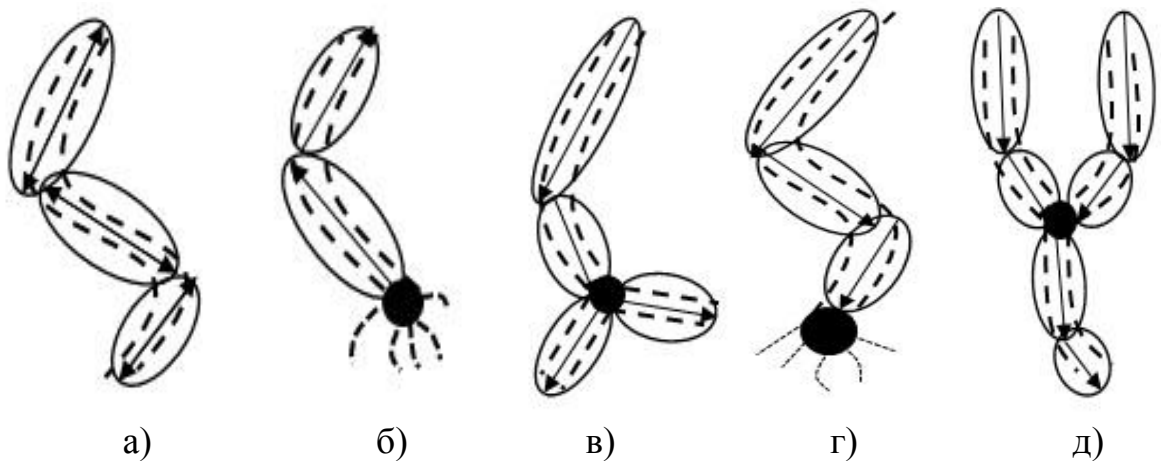


Рис. 3 Діаграми визначення елементів тріщини: а) ланки, б) корінь, в) точка розгалуження, г) точка росту, д) точка злиття

Етапи методу визначення елементів ДТТ на прикладі ланок тріщини (рис. 4):

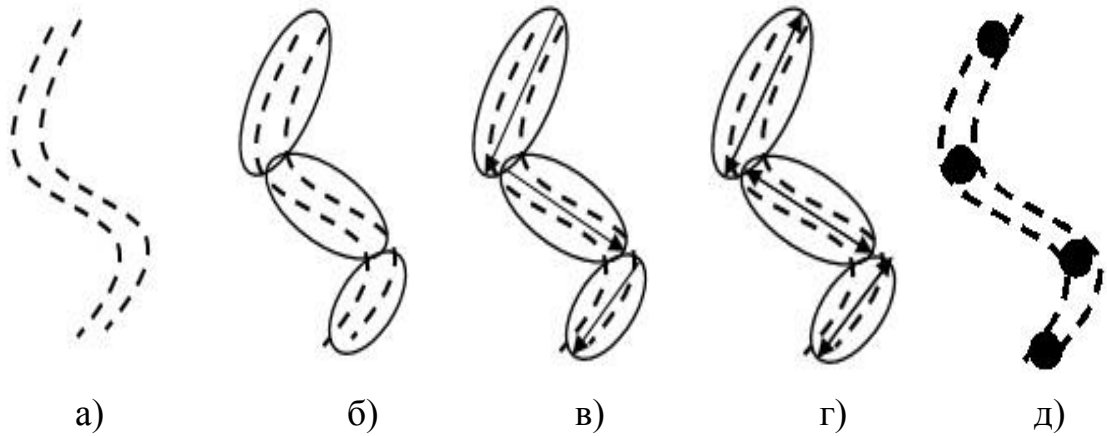


Рис. 4 Ланки тріщини

- 1) визначення області локалізації тріщини (рис. а);
- 2) виділення ланок за ідентифікаційними ознаками: еліптичній локалізації і монотонності функції розбіжності країв (рис. б);
- 3) визначення напрямку росту тріщини (рис. в);
- 4) визначення величини ланки, області розбіжності країв тріщини, упорядкування ланок щодо зменшення (велика, менша і т. д.); висуваємо гіпотезу на підставі критерію зменшення функції присутності про напрямок розвитку в порядку спадання (рис. г);
- 5) виконання апроксимації даного фрагмента, тобто з'єднання точок змін опуклості (рис. д),

Використання адаптивної апроксимації дозволяє побудувати математичну модель зображення тріщини для розв'язку задач локалізації з використанням розробленої моделі інформаційної технології.

У загальному випадку існує не єдиний локальний напрямок для КЛАТ (кусково-локальної апроксимації тріщини) з n -ланок.

Лінія КЛДТ (кусково-лінійний декремент тріщини) задає конус локальних напрямків.

Результати отриманого дослідження можуть бути використані для побудови алгоритмів локалізації зображення власне на ІЗО ДТТ.

У четвертому розділі викладено опис інформаційної технології побудови локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні об'єктів будівництва на основі контрасту та модель інформаційної технології визначення локалізації елементів дефекту типу «тріщина» на базі сукупності дефектів області суміжності. Процедура контрастування дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні здійснюється з врахуванням точки білого та точки чорного.

Реалізація інформаційної технології побудови локалізації елементів дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні складається з наступних кроків:

1. Підготовка зображення.

Попередня обробка зображення включає в себе такі процедури, як: приглушення шумів, яскравісна фільтрація та контрастування.

2. Локалізація и порівняння дефектів з елементами каталогу ІЗО ДТТ.

На поперечному розрізі до напрямку поширення тріщини спостерігається ореол супутніх мікротріщин, утворений підповерхневим розтріскуванням або розшаруванням масиву матеріалу об'єкта. При виході на поверхню мікротріщини з даного ореолу формують на ІЗОДТТ область суміжності або прилягання (супутні дефекти) даної тріщини, а також беруть участь у формуванні околиці точки росту або точки розгалуження тріщини. Тому при локалізації важливо визначити всі елементи ДТТ і суміжні дефекти. Для розкритої тріщини характерна наявність берега, рову і кромки; для волосяної - наявність тільки кромки. При цьому на тріщині завжди будуть присутні три необхідних елемента - ланка, корінь і точка росту. Порядок проходження елементів наступний: корінь, ланка, точка розгалуження, ланка, точка злиття, ланка, точка росту. Тобто один корінь - одна тріщина. Тому, при порівнянні ДТТ з елементами каталогу ІЗО ДТТ, елементи волосяної тріщини визначаються по областям, розкритої - по відрізкам та областям.

3. Визначення елементів тріщини функція присутності яких зростає за рахунок зміни яскравості/ контрастності.

Гістограмні ознаки яскравості зображення у цифровому форматі дозволяє визначити елементи, що ростуть за рахунок зміни яскравості/контрастності і є дискретною функцією. Точка чорного є мінімальним значенням яскравості зображення та являється оптимальним порогом для процедури селекції.

4. Аналіз сукупності елементів тріщини на наявність дескрипторів за рахунок використання ознаки розподілу по променю.

Визначення елементів ДТТ відбувається на основі розподілу супутніх дефектів біля елементів тріщини.

5. Апроксимація елементів ДТТ.

Для кожного виділеного елемента будується ланцюг ланок за рахунок апроксимації кусково-безперервною лінійною функцією зі змінним напрямком.

6. Асоціювання ланок з елементами тріщини.

Для виконання задачі описуються всі елементи суміжні за їх спостережуваністю.

Ланка - лінійний елемент для якого характерна довжина, тому її важливо визначити. Після виявлення і визначення ланок по їх довжині відшукуються найдовші і визначається місцезнаходження кореня. Також можлива присутність точки розгалуження, точки росту і точки злиття, які також визначаються по довжині ланок. Далі кожен знайдений елемент ламаної ідентифікується за каталогом.

7. Вибір та синтез з 15 типів зображень тріщин, на основі області суміжності кожного елементу тріщини, в одну тріщину.
8. Побудова локалізації дефекту типу «тріщина» для отриманого об'єднання.
Після «склеювання» областей суміжності елементів тріщини в рамках ідентифікованої тріщини отримуємо локалізацію ДТТ.

ВИСНОВКИ

В даній роботі вирішено задачу локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні об'єктів будівництва на основі контрастності веб-камер, зокрема:

1. Досліджено концепцію умов спостережуваності дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності для об'єктів будівництва та запропоновано класифікацію розміщення супутніх дефектів, що включає 15 найбільш актуальних типів тріщин на об'єктах будівництва, дозволяючи розширити перелік вирішуваних задач моніторингу. Контраст як основа для розробки методів дослідження ІЗО ДТТ має значний потенціал для алгоритмів локалізації власне зображення ДТТ. На підставі проведеного аналізу показано, що застосування методів на основі контрастування для зображення ДТТ в реальних умовах виправдано, оскільки в процесі обробки можна отримати зображення придатне для подальшого визначення локалізації ДТТ.

2. Розроблено модель як основу інформаційної технології визначення локалізації елементів дефекту типу «тріщина» на базі сукупності дефектів області суміжності на основі аналітично-ознакової оцінки локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні на основі контрастності для об'єктів будівництва, яка дозволяє побудувати алгоритм визначення області локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні. Формалізована задача визначення локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях будівельних об'єктів. з метою побудови локалізації ДТТ для системи моніторингу технічного стану об'єктів будівництва.

3. Удосконалено метод визначення області локалізації дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок супутніх дефектів.

4. Удосконалено метод визначення напрямку розвитку дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок контрастності для об'єктів будівництва, який, на відміну від існуючих методів, дозволяє виконувати прогнозування розвитку дефекту. Досліджено способи побудови локального класифікатора ІЗОДТТ, властивості сукупності локальних класифікаторів ІЗОДТТ відносно областей суміжності.

5. Удосконалено метод визначення локалізації дефекту типу «тріщина» за рахунок дислокації суміжних дефектів, який, на відміну від існуючих методів, дозволяє визначити наявність та розташування тріщини. Сукупність зображень областей суміжності для наявних ознакоутворюючих елементів утворює характерну область суміжності для даного ІЗОДТТ в цілому. Проведено дослідження зображень областей суміжності супроводжуваних ІЗОДТТ, в рамках

теорії інформаційної ідентифікації ІЗОДТТ, з метою визначення можливості побудови інформаційної моделі області локалізації ІЗОДТТ. На основі областей суміжності, супроводжуваних ІЗОДТТ та побудованих на ІЗОДТТ в просторі GrayScale з використанням контрастів, для основних видів тріщин об'єктів будівництва визначені структури областей суміжності ознакоутворюючих елементів ІЗОДТТ.

6. Отримала подальший розвиток модель виявлення локалізації дефекту типу «тріщина» з урахуванням неоднозначності та її представлення на цифровому зображенні, яка дозволяє спостерігати тріщини на цифрових зображеннях у складних умовах, наприклад, при затемненні та неправильному ракурсі. Досліджено випадки невизначеності в локалізації та ідентифікації елементів тріщина на ІЗОДТТ. Неоднозначність розповсюдження тріщини на ІЗО ДТТ залежить від умов функціонування формуючого тракту.

7. Розроблена модель контрастування дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні із врахуванням точки білого та точки чорного, яка дозволяє більш ефективно виділити елементи тріщини. Побудовано алгоритм локалізації елементів дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні за рахунок розподілу супутніх дефектів на основі контрасту.

8. Практичний результат наукових досліджень підтверджується довідками про впровадження, у Державному підприємстві «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С. Балицького» та в ТОВ «МЦТ-Інжиніринг» за напрямом організація будівництва та будівель.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в іноземних виданнях та наукових фахових виданнях:

1. Коломієць С.П. Визначення елементів дефекту типу «тріщина» на основі розташування супутніх дефектів [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // Colloquium-journal. – Warszawa, Poland, 2018. – №10 (21). – р. 54-58. [Видання індексується в міжнародних НБД, репозитаріях та пошукових системах: Index Copernicus International (ICI); РИНЦ; НЭБ elibrary.ru; Google Scholar; ISSU; Calameo In; SlideShare та ін.].

Автором визначено елементи дефекту типу «тріщина», проведено аналіз супутніх дефектів та їх розташування відносно елементів ДТТ. Дослідження проведено з метою побудови алгоритму локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва.

2. Коломієць С.П. Неопределенности при идентификации элементов трещина на изображении дефекта типа «трещина» [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // Scientific discussion. – Praha, Czech Republic, 2018. – № 21 (1). – р. 40-45. [Видання включено до НБД: Academic Resource Index; Scientific Indexing Services та ін.].

Автором визначені та досліджені випадки неоднозначності ідентифікації дефектів типу «тріщина» на зображенні. Визначено і досліджено механізм

виникнення неоднозначності, як такої, в процесі локалізації тріщини та її ідентифікації при врахуванні невизначеності дислокації точок скелета тріщини і визначення напрямку її розвитку, а також наявності не єдиного напрямку розвитку. За рахунок введення поняття навантаженості пікселя зображення проведено дослідження топології дефекту типу «волосяна тріщина». Дослідження проведено з метою побудови алгоритму ідентифікації дефектів типу «тріщина» на цифрових зображеннях будівельних об'єктів.

3. Коломієць С.П. Аналіз існуючих методів локалізації на цифровому зображенні [Текст] / Коломієць С.П. // International scientific journal «Internauka» – К., 2018. – № 17 (57), vol. 1. – р. 33-36. DOI: 10.25313/2520-2057-2018-17-4209.

Автором проведено огляд та аналіз існуючих методів локалізації на цифровому зображенні.

4. Коломієць С.П. Дислокация линейных объектов трещины на изображении дефекта типа «трещина» [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // Colloquium-journal. – Warszawa, Poland, 2017. – №11. – р. 37-42.

Автором здійснено аналіз дислокації лінійних об'єктів відповідних тріщині на зображенні дефекту типу "тріщина" з метою побудови, в рамках неруйнівного контролю, діагностики стану будівельних об'єктів і конструкцій на основі цифрових зображень в колірному просторі.

5. Коломієць С.П. Анализ совокупности кластеров на ИЗОДТТ на основе контрастности [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // Scientific Journal «ScienceRise». – Kharkiv, 2017. – №9(38). – С. 32–38. DOI: 10.15587/2313-8416.2017.111182 .

Автором проведений аналіз сіток розтріскування суміжних з ознакоутворюючими елементами дефекту типу «тріщина» з метою побудови систем технічної діагностики будівельних об'єктів і конструкцій на основі цифрових зображень. Для побудови сіток розтріскування використовується канал яскравості цифрового зображення в цифровому просторі GrayScale, методика побудови структур колірною атласу на зображенні дефекту типу "тріщина". Отримані результати дослідження можуть бути використані для побудови алгоритмів локалізації зображення власне на цифровому зображенні дефекту типу "тріщина".

6. Коломієць С.П. Исследование контраста цифровых изображений дефекта типа «трещина» [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // Scientific discussion. – Praha, Czech Republic, 2016. – № 1 (1). – р. 26-30. [Видання включено до НБД: Academic Resource Index; Scientific Indexing Services та ін.].

Автором досліджено різні типи контрасту з урахуванням умов формування зображення дефекту типу "тріщина" (ДТТ), їх спостережуваність, вибір найбільш інформативних контрастів для локалізації та ідентифікації ДТТ.

7. Коломієць С.П. Застосування процедури бінаризації для визначення образу дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні [Текст] / Горда О.В., Пузько О.О., Коломієць С.П. // Управління розвитком складних систем. – К.,

2013. – №14. – с. 127-131. [Видання індексується в міжнародних НБД, репозитаріях та пошукових системах: Index Copernicus International (ICI); Bielefeld Academic Search Engine (BASE); Ulrichsweb Global Serials Directory; Google Scholar; Наукова періодика України та ін.].

Автором запропоновано та досліджено технологію визначення геометричних характеристик дефекту типу «тріщина» на поверхнях об'єктів будівництва з урахуванням їх особливостей з точки зору утворення, прояву та представлення на зображенні.

Матеріали наукових конференцій:

8. Коломієць С.П. Про проблему локалізації дефекту типу «тріщина» на основі контрастів цифрового зображення [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // «Управління розвитком технологій»: П'ята міжнародна науково-практична конференція: тез. доп. – К.: КНУБА, 2018. – 64-66 с.

Автором розглядається проблема локалізації дефекту типу «тріщина» на основі контрастів цифрового зображення.

9. Kolomiets S. “The information sources ontology of the digital image of the defect type “crack” [Text] / Gorda E., Kolomiets S., Puzko A. // Management of the development of technologies: Fourth international conference: proceedings. – Kyiv, 2017. – 8-9 с.

Автором здійснено аналіз джерел інформації онтології цифрового зображення типу дефекту «тріщина».

10. Коломієць С.П. Аналіз впливу яскравості на якість цифрового зображення [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // «Управління розвитком технологій»: Третя міжнародна науково-практична конференція: тез. доп. – К.: КНУБА, 2016. – 36-41 с.

Автором проведено огляд впливу рівня яскравості на вибір порогу для процедури бінаризації.

11. Коломієць С.П. Аналіз існуючих методів локалізації на цифровому зображенні [Текст] / Коломієць С.П. // «Буд-майстер-клас 2015»: Перша всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів: тез. доп. – К.: КНУБА, 2015. – 188-189 с.

Автором здійснено аналіз існуючих методів локалізації на цифровому зображенні.

12. Коломієць С.П. Застосування методів бінаризації для задач виділення об'єктів на цифрових зображеннях різних колірних моделей [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // 75-а Науково-практична конференція КНУБА: доп. – К.: КНУБА, 2014. – 113 с.

Автором розглядається застосування методів бінаризації для задач виділення об'єктів на цифрових зображеннях різних колірних моделей.

13. Коломієць С.П. Технологія визначення геометричних параметрів дефекту «тріщина» на поверхнях об'єктів будівництва [Текст] / Горда О.В., Коломієць С.П. // «Інформаційні технології в економіці, менеджменті та бізнесі. Проблеми науки, практики і освіти»: XVIII Міжнародна науково-практична конференція: тез. доп. – К.: Європ. ун-т, 2012. – 193-197 с.

Автором проведено огляд технології визначення геометричних характеристик дефекту типу «тріщина» на поверхнях об'єктів будівництва з врахуванням їх особливостей з точки зору утворення, прояву та представлення на зображенні.

АНОТАЦІЯ

Коломієць С.П. Моделі та методи локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 "Інформаційні технології". – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2019.

Проведено дослідження методів і моделей локалізації цифрового зображення на об'єктах будівництва та особливості їх застосування щодо характеристик якості знімка на основі контрастності. Досліджено випадки невизначеності в ідентифікації елементів тріщини на ІЗОДТТ і проведено розподіл супутніх дефектів за елементами тріщини. Визначено і показано механізм виникнення неоднозначності як такої в процесі визначення тріщини та її ідентифікації за рахунок невизначеності дислокації точок скелета тріщини і визначення напрямку її розвитку, а також наявності не єдиного напрямку розвитку. За рахунок введення поняття навантаженості пікселя зображення проведено дослідження топології дефекту типу волосяна тріщина. Проведено аналіз сіток розтріскування суміжних з ознакоутворюючими елементами дефекту типу «тріщина». Для побудови сіток розтріскування використовувався канал яскравості цифрового зображення в цифровому просторі GrayScale, методика побудови структур кольорного атласу на зображенні дефекту типу "тріщина". Проведено аналіз дислокації лінійних об'єктів відповідних тріщині на зображенні дефекту типу «тріщина» в кольорному просторі. На підставі проведеного аналізу встановлено, що застосування методів на основі контрастності для зображення ДТТ в реальних умовах виправдано. Запропоновано методика локалізації дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва на основі контрастності.

Ключові слова: модель, дефект, тріщина, зображення, локалізація, контрастність.

ABSTRACT

Kolomiyets S.P. Models and methods of localization of a "crack" type defect on digital images of construction objects. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the technical sciences candidate degree (philosophy doctor in specialty 05.13.06 "Information technologies". – Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, 2019.

The research of methods and models of localization of digital image on construction objects and their peculiarities in relation to the quality characteristics of the image on the basis of contrast is carried out. Investigations of cases of uncertainty in the identification of elements of the crack on DIKTD and the distribution of accompanying defects on the elements of the crack. The mechanism of occurrence of ambiguity, as such, in the process of crack localization and its identification with the consideration of the uncertainty of the dislocation of the crack skeleton points and determination of the direction of its development, as well as the presence of a single direction of development, is determined and investigated. Due to the introduction of the notion of loading pixel of the image, the study of the topology of the defect such as "hair split" has been carried out. The analysis and construction of cracking grids adjacent to the sign-forming elements of the "crack" type defect with the use of the channel of digital image brightness in the digital space of GrayScale and the method of constructing the color atlases in the image of a "crack" type defect is carried out. An analysis of the dislocation of linear objects of corresponding cracks in the image of a "crack" type defect in the color space has been carried out. On the basis of the analysis it was determined that the use of contrast-based methods for the KTD image in real conditions is justified. The method of locating a "crack" type defect on the digital images of construction objects based on contrast is proposed.

Keywords: model, defect, crack, image, localization, contrast.

АННОТАЦИЯ

Коломиец С.П. Модели и методы локализации дефекта типа «трещина» на цифровых изображениях объектов строительства. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.13.06 "Информационные технологии". – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2019.

Проведено исследование методов и моделей локализации цифрового изображения на объектах строительства и особенности их применения относительно характеристик качества снимка на основе контрастности. Исследованы случаи неопределенности в идентификации элементов трещины на ИЗОДТТ и проведено распределение сопутствующих дефектов по элементам трещины. Определен и показан механизм возникновения неоднозначности как таковой в процессе определения трещины и ее идентификации за счет неопределенности дислокации точек скелета трещины и определения направления ее развития, а также наличия не единственного направления развития. За счет введения понятия нагруженности пикселя изображения

проведено исследование топологии дефекта типа волосяная трещина. Проведён анализ сеток растрескивания смежных с признакообразующими элементами дефекта типа «трещина». Для построения сеток растрескивания использовался яркостной канал цифрового изображения в цифровом пространстве GrayScale, методика построения структур цветового атласа на изображении дефекта типа "трещина". Проведен анализ дислокации линейных объектов соответствующих трещине на изображении дефекта типа «трещина» в цветовом пространстве. На основании проведенного анализа установлено, что применение методов на основе контрастности для изображения ДТТ в реальных условиях оправдано. Предложена методика локализации дефекта типа «трещина» на цифровых изображениях объектов строительства на основе контрастности.

Ключевые слова: модель, дефект, трещина, изображение, локализация, контрастность.