



140.

4. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБІ В.1.2-14-2009. – [Чинні від 2009-12-01]. - К. Мінрегіонбуд України, 2009. (Державні будівельні норми України).

5. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2-5:2007. [Чинні від 2008-01-0] – К. Мінрегіонбуд України, 2007. (Державні будівельні норми України).

6. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва: ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. - [Чинний з 2013-09-01]. – К. Мінрегіон України, 2013. – 40 с. – (Національний стандарт України).

7. Науково-технічний моніторинг будівель і споруд / І.Д. Бслов, В.В. Гайдайчук, О.П. Дєдов, Н.С. Матіаш// Наука та будівництво. - 2015. - №3. – С.17-20.

Надійшло до редакції 13.04.2015 р.

Рецензент: д.т.н., доц. Кузьмінець М.П.

УДК 778.528.7

Е. В. Горда¹, доцент, к.т.н.,А. А. Пузько¹, аспірант¹Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЗНАКООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕФЕКТА ТИПА "ТРЕЩИНА"

АНОТАЦІЯ. У роботі наведені результати дослідження елементів дефектів типу "тріщина", а саме: кореня тріщини, ланки тріщини, точки розгалуження, точки росту тріщини, берегів, крайки, яру тріщини, – з точки зору утворення на їх основі ознак, що характеризують зони суміжності цих елементів на цифрових зображеннях. Такий підхід дозволяє врахувати в понятті дефект типу "тріщина" не тільки власне тріщину, але і породжені дефекти в області її суміжності. Особливу увагу приділено спостережливості ознакоутворюючих властивостей елементів ДТТ на цифрових зображеннях на основі яких можливо ефективно доступними засобами Web-камер моніторити і вимірювати в оптичному діапазоні. Отримані результати можуть бути використані при побудові систем моніторингу, розпізнавання та ідентифікації дефектів для оцінки стану об'єктів будівництва методами неруйнівного контролю. З іншого боку, їх можна застосовувати для формування вимог до комплексу технічних засобів систем спостереження процесу утворення тріщин на різних об'єктах.

Ключові слова: тріщина, цифрове зображення, елемент тріщини, спостережливість, ознака, моніторинг, ідентифікація.

ABSTRACT. The paper presents the results of a study of the elements of the defects of type "fracture", namely: root cracked, link crack, the branch points of the point of crack growth, the banks, edges, ravine cracks, from the point of view of formation on their basis of features that characterize the zones of adjacency of these elements on digital images. This approach allows us to consider the concept of defect type "crack" in the crack, but generated defects in the area of its adjacency. Special attention is paid to recognizability observability properties of the elements of RTI on digital images on the basis of which it is possible to effectively available by means of Web-cameras to monitor and measure in the optical range. The results can be used to build systems for monitoring, recognition and identification of defects to assess the status of construction projects by NDT methods. On the other hand, they can be applied to formation of requirements to complex of technical means of surveillance of the process of crack formation at different sites.

Keywords: crack, digital image, element cracks, observability, sign, monitoring, identification.

Актуальность. Мониторинг и распознавание дефектов типа «трещина» (ДТТ) методами неразрушающего контроля, особенно в оптическом диапазоне Web-камер позволяет с одной стороны, – определять наличие дефектов типа «трещина», а с другой, – иметь широкое применение и в задачах измерения параметров ДТТ. Исходя из этого, можно отметить, что определение признакообразующих возможностей элементов ДТТ в целях построения систем мониторинга, является актуальной задачей.

Постановка задачи. Для построения идентифицирующих признаков ДТТ в оптическом диапазоне на основе цифровых изображений необходимо:

- уточнить понятие ДТТ и его объем;
- выделить из наблюдающихся элементов ДТТ признакообразующие;
- для каждого признакообразующего элемента описать наблюдаемые признаки;
- для каждого признакообразующего элемента описать характерные ему признаки, наблюдаемые в его области смежности.

Изложение основного материала. Характерными элементами изображения дефекта типа трещина (ДТТ) являются: точка роста, берега, кромка, овраг [1]. На цифровом изображении перечисленные элементы могут наблюдаться с разной степенью проявления или не наблюдаться. Отображение элементов зависит от представления дефекта на снимке, а именно – дефект представлен полностью или фрагментарно и от условий съемки. Например, в зависимости от ракурса (рис. 1) овраг может перекрываться берегом трещины,

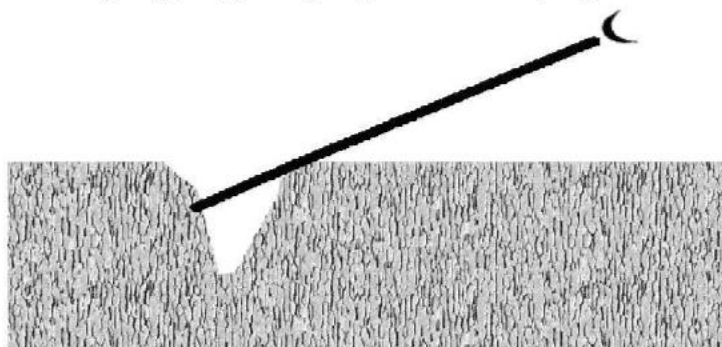


Рис. 1. Вид на трещину сбоку

точка роста (рис. 2) может не попасть в область мониторинга, кромки в силу значительной эрозии могут быть существенно размыты (рис. 3) и наконец, берега могут не наблюдаться в силу низкой контрастности изображения (рис. 4).

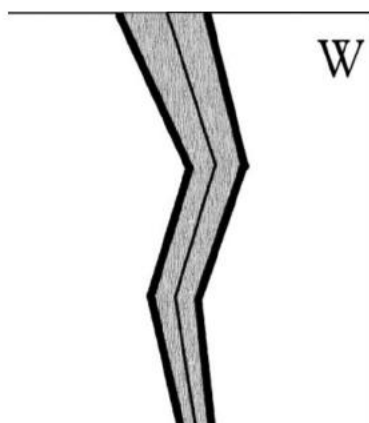


Рис. 2. Фрагмент трещины без точки роста

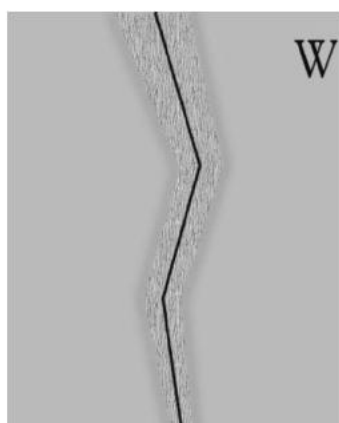


Рис. 3. Размытие кромки трещины

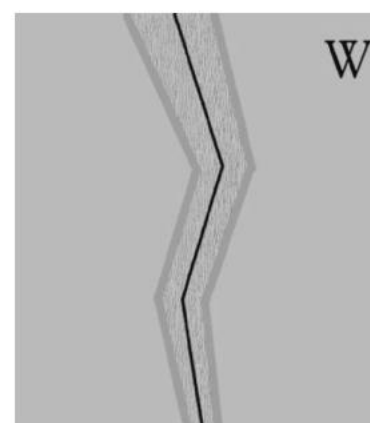


Рис. 4. Низкий контраст изображения трещины

Используя признак ДТТ распределения света или цвета вдоль пучка прямых [2] и, аппроксимируя на основе средних точек цветовых интервалов, восстановим скелет

трещины о котором можно утверждать следующее [3]: в области определяемой данным скелетом находится изображение трещины (изображение ДГГ находится в окрестности скелета) т. е. $\exists \varepsilon : Skil(\varepsilon) \supset Im \{IT\}$,

где

$$Skil(\varepsilon) : \left\{ (x, y) \mid \exists (x_0(x, y), y_0(x, y)) \in Skil : \left[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \right]^{1/2} < \varepsilon \right\}$$

В зависимости от дискретности шага по лучу и порога чувствительности признака, в котором построено изображение, получим совокупность линий скелета. Область фигуры данной совокупности будет содержать образ оврага ДГГ или образ оврага будет находиться в его окрестности (рис.5), что следует из определения оврага [1].

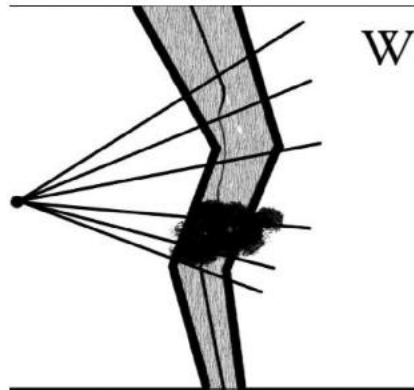


Рис. 5. Выход области оврага за пределы силуэта трещины

В точке роста ДГГ, в случае ее наблюдения на изображении, присутствует либо только линии раскрытия (рис. 6, а), либо линии раскрытия и входящая линия оврага (рис. 6б) в зависимости от материала объекта мониторинга и направления силы, образующей ДГГ.

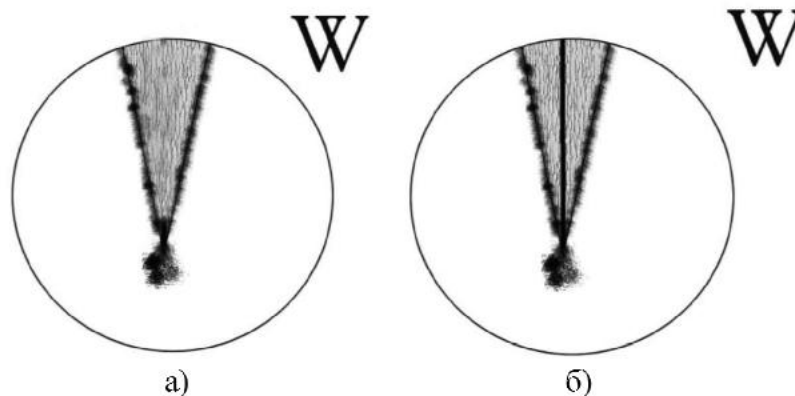


Рис. 6. Представление линий раскрытия трещины на цифровом изображении

Необходимо отметить, что для случая, представленного на рис. 6, а, зона деформации будет значительно превосходить зону деформации, представленную на рис. 6, б для образа одного и того же дефекта из того же материала и распределения сил, что может служить дополнительным диагностическим признаком.

Колометрические признаки по окрестности точки роста будут определять актуальные цвета для данного объекта и в дальнейшем будут основой для градиентных признаков, описаны далее. Следует отметить, что в случае волосяной трещины этот признак идентифицирует ДГГ в зоне прилегания.

Кромке трещины соответствует простая односвязная линия, разделяющая фон и собственно трещину и в зависимости от порогов чувствительности по цветам и яркости, а

также дискретности шкал, кромка восстанавливается со стороны областей фона и, как и в случае скелета ДТТ, определяется областью изображения, которая ее содержит (рис. 7).

Таким образом, подводя промежуточный итог, можно сделать следующее заключение: в плане локализации ДТТ можно определить описанными выше методами область ее содержащую, направление роста трещины, конфигурацию звена ДТТ, используя такие понятия как: точка роста, линия берега, звено и скелет ДТТ.

Более детально рассмотрим такой элемент трещины как берега. В формировании берегов принимает участие линии, рассмотренные ранее, а именно: часть изображения между простыми линиями кромки содержит берега ДТТ и, если, наблюдается, то овраг трещины (рис. 8).

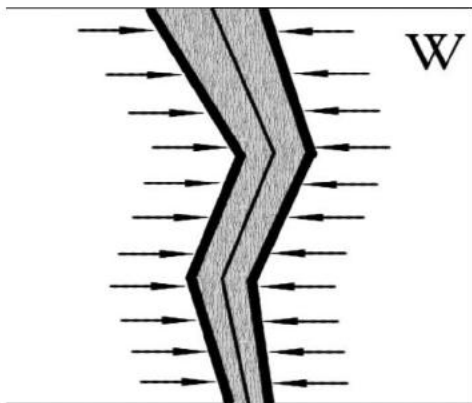


Рис. 7. Представление кромки трещины на цифровом изображении

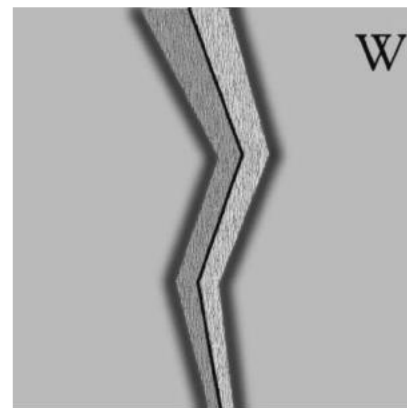


Рис. 8. Представление берегов трещины на цифровом изображении

Отметим, трещины могут быть поверхностными, т.е. их овраг полностью располагается в материале объекта, так и сквозные, т.е. ДТТ образует сквозной дефект (разрыв материала объекта) и в этом случае цвет псевдо рва может соответствовать цвету подстилающей поверхности под объектом. Отметим, что данное свойство можно положить в основу признака разделения трещин таких типов.

Структура изображения берегов ДТТ может быть текстурной, гладкой, однотонной или цветной, что определяется материалом объекта мониторинга, дизайнерскими решениями, химическими свойствами окружающей среды, режимами нагружения и т. д. Так материал объекта определяет цветность, текстурность берегов трещины, кислотность среды определяет наличие кислотных пленок на берегах, а приложение силы – раскрытие берегов, наличие оврагов. так свойство изменения цвета берега в зависимости от времени и за счет окисления может быть положено в основу оценки времени трещинообразования или, как минимум, построения временных рядов, характеризующих время образования звеньев трещины. И на основе полученных временных оценок построения динамики роста ДТТ как дерева скелета трещины, где каждое звено имеет вес собственно время от появления до разветвления при общей хронологии (рис. 9).

Ветвление трещины объясняется неоднозначностью энергетического состояния как решения уравнений, описывающих развитие трещины [4] в данной точке в данное время. Модель изображения ДТТ в такой точке допускает наличие перемежающихся берегов и кромок входящих и исходящих трещин в точке ветвления. В основу методов восстановления берегов ДТТ в точке ветвления помимо средних линий, линий кромок, которые в общем случае могут быть разрывные, целесообразно и возможно положить использование градиентов или субградиентов по цветности или светлости по восстанавливаемым берегам в точке ветвления (рис. 10).

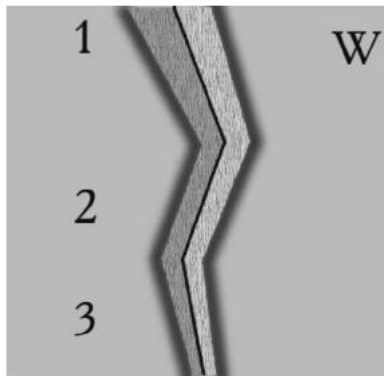


Рис. 9. Представление звеньев трещины на цифровом изображении

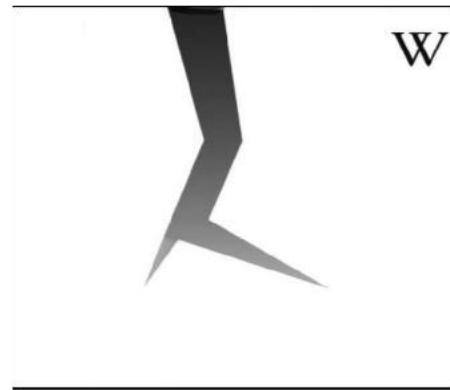


Рис. 10. Изменение цветности в области цифрового изображения трещины

Следует отметить, фрагмент объекта мониторинга в общем случае может отличаться от фрагмента плоскости и может размещаться на локально выпуклой или локально вогнутой поверхности. Исследование конфигурации берегов ДТГ на характерное anomальное сжатие или выпучивание относительно регулярного образа позволяет диагностировать рельефность объектов в зоне расположения ДТГ (рис. 11).

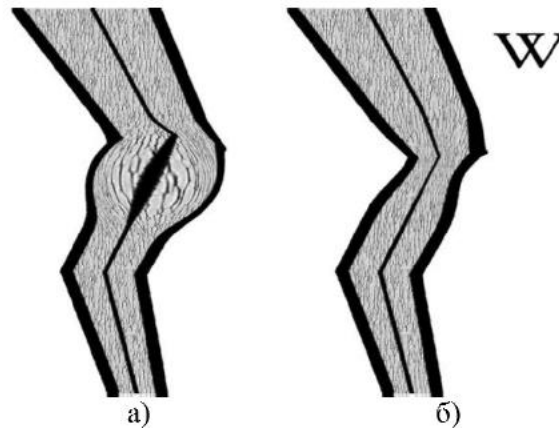


Рис. 11. Изменение конфигурации берегов трещины в зависимости от рельефа поверхности:
а) выпуклая поверхность, б) вогнутая поверхность

Для объектов, структура которых представляет собой гомоморфную среду, при импульсном приложении силы на поверхности наблюдается процесс образования ДТГ. Если рассмотреть последовательность цепей ДТГ, то их длины уменьшаются в соответствии с уменьшением воздействия импульса силы. Более точно, необходимо внести поправку, которая учитывает раскрытие трещины или образование зоны прилегания, а для построения оценки по двумерному изображению необходимо учитывать площади линейных элементов ДТГ в их соотношении с элементами трещины.

Следует отметить, степень изотропности среды объекта мониторинга с одной стороны определяется, а с другой – определяет степень равнозначности градиентов по берегам трещины: Если они равновелики или одинаковы – то материал объекта изотропен. Это свойство ДТГ может быть положено как идентифицирующий признак (рис. 12).

Если в течение действия силы образующей ДТГ трещина проходит разнородные участки материала объекта, то наблюдается картина множественного расхождения звеньев трещины, изменение направления магистральной трещины, остановка роста магистральной трещины с увеличением зоны деформации в точке ее роста. Эти характеристики дерева трещины могут быть положены в основу атласа однородных областей материала объекта мониторинга (рис. 13).

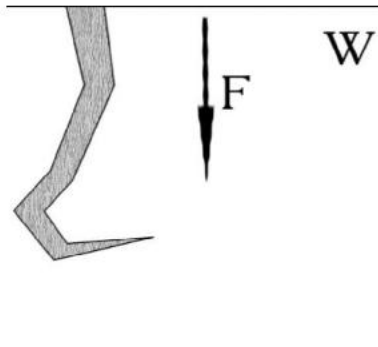


Рис. 12. Распределение цвета для изотропного материала

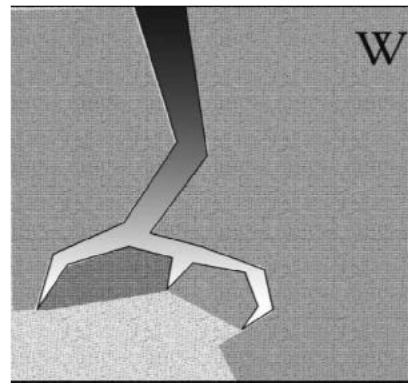


Рис. 13. Атлас областей однородности

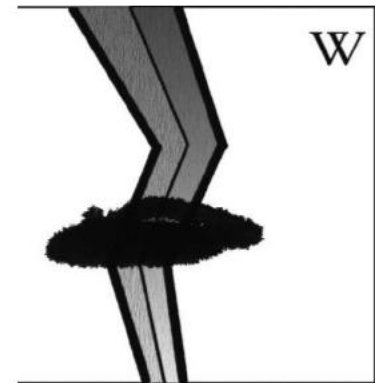


Рис. 14. Перекрытие дефектов на цифровом изображении трещины

В часто встречающейся ситуации, характеризующейся тем, что трещина не сквозная, наблюдаются раскрытие и берега, в случае сохранения продолжительного действия силы порождающей трещину, наблюдается градиент яркости в направлении перпендикулярном кромке трещины и вдоль берега. Помимо описанных ранее возможностей диагностики на основе градиентов по берегам трещины, становится возможным определение степени перекрытия одного берега другим и невозможности наблюдения оврага ДТГ из-за ракурса наблюдения дефекта (рис. 14).

Выводы.

Описанные признакообразующие свойства элементов ДТГ, с одной стороны позволяют эффективно их мониторить и измерять, а с другой – на их основе строить идентифицирующие признаки и изучать в оптическом диапазоне поведение ДТГ как явления.

Литература

1. Горда О.В. Визначення дефекту типу «тріщина» в оптичному діапазоні // Гірничі. будівельні, дорожні та меліоративні машини. – №74. – 2009. – С. 89-93.
2. Вадутов О.С. Математические основы обработки сигналов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. - 212 с.
3. Петров М.Н. Компьютерная графика/ М.Н.Петров, В.П. Молочков – С-Питербург, 2003. - 736 с.
4. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. – М.: Наука, 1984. - 256 с.
5. Горда Е.В. Особенности визуализации дефектов строительных машин, оборудования и сооружений на основе изображений оптического диапазона // Теорія і практика будівництва. - №7. - 2011. – С. 22-24.
6. Горда О.В. Дослідження функції присутності дефекту типу «тріщина» на цифрових зображеннях об'єктів будівництва // Управління розвитком складних систем. – Вып. 10. – 2012. – С. 112-114.

Надійшло до редакції 9.02.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сівко В.Й.