

DOI: 10.6084/m9.figshare.9788477

УДК 778.528.7

Горда Елена Владимировна

Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий проектирования и прикладной математики, *orcid.org/0000-0001-7380-0533*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЕФЕКТА
ТИПА «ТРЕЩИНА»**

Аннотация. Рассмотрен подход к формализациям представлений изображений дефекта типа «трещина» (ИЗОДТТ) на объектах строительства с целью мониторинга технического состояния строительных сооружений и конструкций в рамках неразрушающего контроля. Проведено исследование ИЗОДТТ, как источника информации для дальнейшей формализации и моделирования представления дефекта типа «трещина» на основе цифровых изображений. Показана возможность построения различных формализаций ИЗОДТТ на основе онтологического графа, семантического графа и графа изображения дефекта типа «трещина». Определены и описаны проблемы, возникающие в процессе формализации и анализа ИЗОДТТ, для поиска изображений элементов трещины. Исследованы факторы, влияющие на формализацию. Описана и обоснована процедура отбора признаков для построения и реализации мониторинга ИЗОДТТ для объекта строительства. Определена смысловая структура ИЗОДТТ и эквивалентность графов ИЗОДТТ с учётом возможности введения мер схожести ИЗОДТТ различных трещин с учётом их типов.

Ключевые слова: формализация; изображение; дефект; трещина; онтология; инвариант; категория; кластер; многообразие; полугруппа

Актуальность

В настоящее время исследование цифровых изображений дефектов типа «трещина» строительных объектов ведётся в различных направлениях и на основе широкого спектра методов. Формализация, как подход, в данном случае актуальна и важна, т.к. определяет:

- мобильность обмена использованием информации, полученной при различных подходах в исследовании (обеспечение полноты, непротиворечивости и выводимости);
- механизм моделирования и преобразования информации в зависимости от языков формализации;
- глубину (полноту и степень) использования полученных результатов исследования;
- на основе широкой формализации возможность описания новых явлений, например, для ИЗОДТТ анизотропных деформаций первоначально изотропного материала.

Анализ литературных источников

Сложность задачи мониторинга поверхностей сооружений часто связана с доступностью важных конструкций и узлов сооружений, что делает методы оптического контроля на основе обработки цифровых изображений все более популярными [1].

Отдельные аспекты задачи выявления дефекта

типа «трещина» (ДТТ) рассматриваются в работах, связанных с исследованиями механики трещинообразования [2] и распространения их в сплошных средах [3].

Задача обработки цифровых изображений является частью теории распознавания образов, основные методы и модели которой изложены в ряде монографий [4 – 6].

Так как трещина представляет собой сложный объект исследования, который может иметь многообразные формы проявления, становится практически невозможным создание эталона, изображение которого на цифровых снимках может искажаться или перекрываться сопутствующими дефектами. Для его выявления и идентификации на основе цифровых изображений необходимо разработать комплексный подход с учетом специфики объекта исследования.

Предварительные исследования по данной тематике представлены в работе [7] – элементы ДТТ и конфигурации ИЗОДТТ, в [8] – топология ИЗОДТТ, преобразования ИЗОДТТ в [9], категория ИЗОДТТ [12]. Основываясь на полученных результатах, становится возможным определить, описать и исследовать формализацию, описать проблемы, возникающие в процессе формализации и анализа ИЗОДТТ для осуществления поиска изображений элементов трещины.

Цель статьи

Целью исследования является формализация цифрового изображения дефекта типа "трещина". Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. В целях формализации исследовать ИЗОДТТ как источник информации.
2. Определить логику поиска и описать проблемы анализа ИЗОДТТ.
3. Описать информационные элементы, смысловую структуру ИЗОДТТ, эквивалентности и меры на ИЗОДТТ.
4. Исследовать и описать особенности моделирования ИЗОДТТ на основе онтологий.
5. Исследовать и описать особенности представлений моделей ИЗОДТТ на основе графов.

Изложение основного материала

Изображения поверхности объекта мониторинга для строительных объектов и конструкций (ИЗОДТТ) являются основой составляющей информационного массива для исследования в рамках оптических методов неразрушающего контроля.

Фактором, определяющим качество ИЗОДТТ с точки зрения проведения исследований, является доступность мониторинга наблюдаемого объекта. Доступность определяется техническими средствами наблюдения, структурой поверхности объекта наблюдения, внешними условиями формирования ИЗОДТТ, ориентацией и удалённостью поверхности объекта наблюдения и регистрирующей аппаратуры.

Наблюдаемость признаков элементов ИЗОДТТ так же зависит от доступности мониторинга объекта в совокупности с полученной предварительно информацией о его конструктивных, эксплуатационных и собственно материаловедческих данных на основе соответствующей документации.

Под информационным элементом ИЗОДТТ будем понимать информацию относительно наблюдаемых объектов на ИЗОДТТ. Информационные элементы могут соответствовать элементам трещин, шумам, другим изображениям различных объектов на ИЗОДТТ. Структура информационного элемента – это структура совокупности элементов на ИЗОДТТ, а также структура всей информации, полученной об этом элементе.

Под информационным пространством ИЗОДТТ будем понимать частично упорядоченное множество его информационных элементов, представленных на упорядоченном конечном дискретном множестве (пикселях ИЗОДТТ). Таким образом, суть структуры информационных элементов – это отношения на

декартовом произведении информационного пространства на его дискретный носитель.

В частности, к таким отношениям относятся классификаторы элементов ИЗОДТТ, фрагменты и типы ИЗОДТТ.

Опираясь на понятие информационного пространства ИЗОДТТ и свойство наблюдаемости, определяются признаки ИЗОДТТ, которые могут быть положены в основу мониторинга оптического контроля технического состояния объекта строительства.

Для каждого конкретного ИЗОДТТ (аналогично информационному пространству) на основе полученной совокупности признаков определяется признаковое пространство изображения элементов трещины.

По отношению к ИЗОДТТ априори существует задача определения наличия, типа и расположения на нём трещины. В процессе решения поставленной задачи возникает ряд проблем, в частности:

1. Поставленная задача неразрешима относительно данного ИЗОДТТ;
2. Задача на основе данного ИЗОДТТ для решения требует недопустимо большого периода времени;
3. Задача на основе данного ИЗОДТТ для постановки требует недопустимо большого временного ресурса;
4. Постановка задачи в целом на основе данного ИЗОДТТ принципиально грубо аппроксимирует решаемую задачу;
5. Постановка задачи в целом на основе данного ИЗОДТТ грубо аппроксимирует решаемую задачу, а дополнительное исследование требует не допустимо больших ресурсов;
6. Задача формализована так, что имеет множество решений, включающие альтернативные;
7. Задача имеет множество постановок, включающие неприводимые постановки в терминах данной ИЗОДТТ;
8. Отсутствие корректного механизма выводимости – решение одной и той же задачи в различных терминах данной ИЗОДТТ;
9. Наличие и использование невыявленных в ИЗОДТТ ошибок и артефактов;
10. Наличие и использование в ИЗОДТТ слабо детерминированных или мало значимых знаний;
11. Затруднённое получение или вывод необходимых исходных знаний, или для их получения требуются недопустимые ресурсы;
12. Отсутствие цели или навыков в решении подобных задач и, как следствие, – множественные корректировки постановки задачи;
13. Отсутствие понимания о необходимой совокупности знаний, отсутствие понимания механизма и способов его применения в исследовании

ИЗОДТТ и, как следствие, невозможность увеличить полноту знаний об ИЗОДТТ;

14. Решение «не тех» задач из-за неоднозначности понимания терминов;

15. Необходимость постоянного развития, а также агрегирующего – дезагрегирующего интерпретатора понятий и терминов для решения задач на основе знаний различных уровней.

Вклад в проблематику вносят особенности моделирования ИЗОДТТ, как правило, на основе онтологии ИЗОДТТ. Первичными элементами онтологии являются светочувствительность, дискретность матрицы, а также такие понятия, как цвет, яркость, функция присутствия, в общем случае элементы топологии ИЗОДТТ.

Цветовой атлас ИЗОДТТ является основополагающим способом задания элементов на ИЗОДТТ, а структура цветового атласа ИЗОДТТ – способом задания отношений между элементами ИЗОДТТ. К особенностям моделирования ИЗОДТТ относится наличие на изображении различных характерных для строительных материалов градиентов, текстур и цветов.

Следует подчеркнуть, что для ИЗОДТТ, как для изображения, применимы понятия планов изображения: изображение поверхности объекта мониторинга есть передний план, изображение берега трещины – средний план, изображение рва трещины – дальний план, а также применимо понятие перспективы, реализующееся средствами формирования изображения и за счёт всевозможных ракурсов.

Смысловая структура ИЗОДТТ представляет собой его логический каркас, определяемый отношениями между элементами ИЗОДТТ и аналитическими понятиями, представляющими их семантику. Как следствие, композиция ИЗОДТТ является логизированной.

На основе ИЗОДТТ относительно ДТТ извлекается следующая информация:

- элементы трещины;
- связанные элементы трещины;
- совокупности смежных элементов трещины;
- локальные схемы узлов трещины;
- семантические графы фрагментов трещины;
- онтологические графы фрагментов трещины.

Перед тем как определять трещину на ИЗОДТТ, необходимо иметь предположение о типе ДТТ, и о наличии ДТТ в принципе. Такая процедура должна опираться на достаточное количество правильных и непротиворечивых предпосылок, впоследствии уточняемых и конкретизируемых. В результате выполнения процедуры поиска строится утверждение об ИЗОДТТ как области поиска, точность и смысл которого определяется понятийно-смысловой структурной формой в рамках онтологии ИЗОДТТ.

Логика поиска или вывода из предпосылок допускает формализацию, обеспечивающую образование и преобразование утверждений в рамках онтологии ИЗОДТТ. При этом обеспечивается реализация таких функций, как анализ, синтез, сравнение и абстрагирование.

Сильная форма эквивалентности – структурная. Цель анализа эквивалентности – определить с дальнейшей визуализацией группы случаев как кластеров. Следует отметить, что в ИЗОДТТ существует естественная мера на концептуальных графах в рамках онтологии. Построение меры в рамках онтологического графа ИЗОДТТ реализуется на основе изоморфизмов фрагментов онтологических графов. При этом подграфы, цепи, фрагменты являются измеримыми объектами в рамках классической теории графов и фрагментами или элементами ИЗОДТТ – с другой стороны.

Представлением ИЗОДТТ является планарный орграф, где узлы соответствуют элементам ДТТ (за исключением рёбер), а рёбрам – звенья изображения. На основе такого представления за счёт дальнейшей формализации классифицируются ИЗОДТТ.

ИЗОДТТ может соответствовать раскрытой трещине и представляться изображениями кромок и рва, ИЗОДТТ может соответствовать волосяной трещине и представляться отрезками дискретных линий, а также ИЗОДТТ может соответствовать комбинированной трещине и представляться комбинацией описанных выше способов.

В общем случае, звену можно сопоставить упорядоченный кортеж:

Звено:={исходящий узел, длина средней линии, азимут средней линии, схождение кромок}.

Такое представление позволяет строить меры схожести между ИЗОДТТ различных трещин с учётом их типов.

Если сопоставить

Звено:={исходящий узел, входящий узел},

то это задаст классификацию ИЗОДТТ с точностью до зеркальных симметрий соответствующих фрагментов сравниваемых трещин.

Если эквивалентировать последовательности смежных звеньев между узлами трещины одним звеном, то граф трещины эквивалентруется классом схем графа, построенных на основе представлений элементов трещины за исключением последовательностей звеньев трещины. Каждая схема есть планарный граф. В случае отсутствия точек слияния в схеме граф трещины является планарным деревом – отсутствуют циклы.

Как мера важности в представлении графом ИЗОДТТ служат веса звеньев на схеме, определяемые либо через кратность рёбер на графе

трещины, либо как сера функции присутствия соответствующих звеньев на ИЗОДТТ.

Представление признаков ДТТ на ИЗОДТТ в допусках соответствующих эквивалентностей реализуется на основе концептуальных или семантических графов, построенных на базе графов ИЗОДТТ.

В терминах графов трещины (схем) формализуется такое понятие, как изображение растрескивания поверхности представлениями соприкосновения (вершинного или реберного) планарного графа, а также в системе нескольких планарных графов, представляющих различные трещины на ИЗОДТТ.

Выводы

1. Обоснована необходимость и актуальность исследования формализаций для ИЗОДТТ.
2. Исследованы факторы, влияющие на формализации ИЗОДТТ.
3. Исследован выбор признаков для построения мониторинга ИЗОДТТ объекта строительства.
4. Определены и описаны проблемы, решаемые в процессе исследования ИЗОДТТ.
5. Определена и описана смысловая структура ИЗОДТТ.
6. Описаны формы эквивалентности графов ИЗОДТТ с учётом введения мер схожести.

Список литературы

15. Тэплин Д. Механика разрушения. Разрушение конструкций. – М.: Мир, 1980. – 256 с.
16. Эрдоган Ф. Теория распространения трещин. Т. 2. – М.: Мир, 1975. – 440 с.
17. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. – М.: Наука, 1984. – 256 с.
18. Ванник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
19. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. 2-е изд. – М.: ФАЗИС, 2012. – 429 с.
20. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 310 с.
21. Горда О. В., Пузько О.О. Исследование изображений признакообразующих элементов дефекта типа «трещина» // *Scientific Journal "Science Rise" Vol. 1/(42)*. – 2018. – С. 24 – 29.
22. Горда О.В. Моделирование метрик в просторе цифрового изображения дефекту типу «трещина». // *Управління розвитком складних систем*. – 2014. – Вип. 17. – С. 112 – 120.
23. Горда Е.В. Преобразования цифрового изображения дефекта типа "трещина" [Текст] / Е.В. Горда // *Управление развитием сложных систем*. – 2017. – Вып. 32. – С. 71–75.
24. Горда Е.В., Михайленко В.М. Онтология цифрового изображения дефекта типа «трещина» на объектах строительства. // *Управління розвитком складних систем*, – 2017. Вип. 30. – С. 142 – 145.
25. Горда О.В., Пузько О.О. Вплив формуючого тракту на представлення дефекту типу «трещина» на цифровому зображенні // *Управління розвитком складних систем*. – 2013. – Вип. 13. – С. 113 – 118.
26. Горда Е.В. Категория изображения дефекта типа «трещина». // *Містобудування та територіальне планування*. – 2018. – Вип. 67. – С. 127 – 134.

Статья поступила в редколлегию 19.03.2019

Горда Олена Володимирівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики,
orcid.org/0000-0001-7380-0533

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ДЕФЕКТУ ТИПУ "ТРИЩИНА"

Анотація. Розглянуто підхід до формалізації уявлень зображень дефекту типу «трещина» (ЗОДТТ) на об'єктах будівництва з метою моніторингу технічного стану будівельних споруд і конструкцій в рамках неруйнівного контролю. Проведено дослідження ЗОДТТ, як джерела інформації для подальшої формалізації та моделювання уявлення дефекту типу «трещина» на основі цифрових зображень. Показано можливість побудови різних формалізацій ЗОДТТ на основі онтологічного графа, семантичного графа і графа зображення дефекту типу «трещина». Визначено та описано проблеми, що виникають в процесі формалізації та аналізу ЗОДТТ з метою здійснення пошуку зображень елементів трещини. Досліджено фактори, що впливають на формалізацію. Описано і обґрунтовано процедуру відбору ознак для побудови і реалізації моніторингу ЗОДТТ для об'єкта будівництва. Визначено змістову структуру ЗОДТТ і еквівалентність графів ЗОДТТ з урахуванням можливості введення заходів схожості ЗОДТТ різних трещин з урахуванням їх типів.

Ключові слова: зображення; дефект; трещина; ознака; спостереження; перетворення; інваріант; кластер; багатовид; підгрупа

Gorda Elena

Assistant professor of information technology design and applied mathematics department, orcid.org/0000-0001-7380-0533
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

FORMALIZED PRESENTATION IMAGE DEFECTTYPE "CRACK"

Abstract. The paper considers an approach to the formalization of representations of defect images of the "crack" type (IZODTT) at construction sites in order to monitor the technical condition of building structures and structures as part of non-destructive testing. IZODTT was studied as a source of information for further formalization and modeling of the representation of a crack-type defect based on digital images. The possibility of constructing various formalizations of an ISODTT based on an ontological graph, a semantic graph and an image graph of a crack-type defect is shown. The problems arising in the process of formalizing and analyzing ISODTT in order to search for images of crack elements are identified and described. The factors influencing the formalization are investigated. The procedure for selecting signs for the construction and implementation of monitoring of an IZODTT for a construction object is described and justified. The semantic structure of an ISODTT and the equivalence of graphs of an ISODTT are determined, taking into account the possibility of introducing measures of similarity between ISODTTs of various cracks according to their types.

Keywords: image; defect; crack; attribute; observability; transformation; invariant; cluster; manifold; semigroup

References

1. Teplin, D. (1980). *Mechanics of destruction. Destruction of structures.* [Text]. Moscow: Mir, 256.
2. Erdogan, F. (1975). *The theory of propagation of fractures.* [Text]. Moscow: Mir, 440.
3. Morozov, N.F. (1984). *Mathematical problems in the theory of cracks.* [Text]. Moscow: Nauka, 256.
4. Vapnik, V.N., Chervonenkis, A.Ya. (1974). *Theory of Pattern Recognition.* [Text]. Moscow: Nauka, 416.
5. Fomin, Ya.A. (2012). *Pattern Recognition: Theory and Applications.* [Text]. Moscow: PHASIS, 429.
6. Pratt, U. (1982). *Digital image processing.* [Text]. Moscow: Mir, 310.
7. Gorda, O., Puz'ko, O. (2018). Investigation of images of flag-forming elements of a "crack" type defect. *Science Rise, 1. 1/(42), 24 – 29.*
8. Gorda, O. (2014). Modeling of the metrics in the spacious digital image defect type "crack". *Management of development of complex systems, 17, 112 – 120.*
9. Gorda, E.V. (2017). Transformation of digital image defecttype "crack". *Management of Development of Complex Systems, 32, 71–75.*
10. Gorda, E.V., Mikhaylenko, V.M. (2017). Ontology of the digital image of a "crack" type defect at construction sites. *Management of development of complex systems, 30, 142 – 145.*
11. Gorda O., Puz'ko O., (2013). Inflating the tract on the represented defect type "crack" on the digital image. *Management of development of complex systems, 13, 113 – 118.*
12. Gorda, E.V. (2018). Image category of the crack-type defect. *Mistobuduvnaya and Territorial planing, 67, 127 – 134.*

Ссылка на публикацию

APA Gorda, Elena. (2019). Formalized presentation image defecttype "crack". *Management of Development of Complex Systeme, 38, 71 – 75, dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9788477.*

ГОСТ Горда Е.В. Формализация представления изображения дефекта типа "трещина" [Текст] / Е.В. Горда // *Управление развитием сложных систем.* – 2019. – № 38. – С. 71 – 75, [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9788477](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9788477).