

УДК 778.528.7

к.т.н, доцент Горда Е.В.,
anaelg@ukr.net, orcid: 0000-0001-7380-0533,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

КАТЕГОРИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЕФЕКТА ТИПА «ТРЕЩИНА»

В работе определяется, строится и исследуется категория, порождаемая цифровыми изображениями, содержащими дефект типа «трещина» (ИЗОДТТ) для объектов строительства. Работа выполнена для ИЗОДТТ с целью определения возможности построения ее информационной модели с учётом разработки методов построения алгоритмов распознавания и идентификации трещин на строительных объектах. Исследована возможность построения категорий ИЗОДТТ на основе совокупности ИЗОДТТ, установлена возможность соответствующих визуализаций ИЗОДТТ как средства категоризации.

Ключевые слова: изображение, дефект, трещина, онтология, инвариант, категория, кластер, многообразие, полугруппа.

Вступление. При разработке и исследовании систем технической диагностики состояния объекта строительства применяются методы искусственного интеллекта, в частности, для цифровых изображений с целью выявления различных дефектов, включая трещины.

Для решения задач распознавания необходима математическая модель трещины, описывающая любые трещины объектов строительства, существование или построения которых неочевидно. Преодолеть эту сложность возможно посредством адаптивной аппроксимации в алгоритмической программной среде, структурно и параметрически задающей типы трещин как объекты.

Выше сказанное обуславливает актуальность данной исследовательской работы.

Анализ литературных данных. 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

монографій [4] [5] [6].

Так как трещина представляет собой сложный объект исследования, который может иметь многообразные формы проявления, что делает практически невозможным создание эталона, и его изображение 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]. Основываясь на полученных результатах, становится возможным определить, описать и исследовать преобразования ИЗОДТТ, как заключительный этап кластерного анализа ИЗОДТТ. Основываясь на полученных результатах становится возможным определить, описать и исследовать категорию ИЗОДТТ.

Цель и задачи. Целью работы является исследование построения категории ИЗОДТТ для решения задач распознавания и идентификации в рамках оптического метода неразрушающего контроля объектов строительства.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить и исследовать формализации ИЗОДТТ.
2. Определить и исследовать композицию ИЗОДТТ.
3. Описать и исследовать морфизмы ИЗОДТТ.
4. Определить и исследовать понятие категории ИЗОДТТ.

Основные результаты. Рассмотрим формализацию как средство построения модели на основе дискретных web-изображений. Исходными данными для формализации служат изображения поверхности мониторинга объекта строительства.

Рассмотрим двумерное изображение как текст, обладающий неким семантическим ядром, под которым будем подразумевать либо изображение трещины, либо установленное отсутствие такового.

Под качеством формализации цели будем понимать способность языка, на котором выполняется формализация, адекватно, с точки зрения решаемых задач, описывать как сам объект мониторинга, так и происходящие процессы, правильные интерпретации представленных и получаемых данных, отношения между ними.

Язык формализации должен быть способен сопоставить информационные модели образов на основе имеющихся цифровых изображений знаковым информационным моделям для их дальнейшего исследования.

При этом следует понимать, что в зависимости от целей информационного моделирования (прогнозирования, построения гипотез, получения новых данных, проверке непротиворечивости известным фактам) для исследуемого объекта выделяются те или иные свойства существенные для исследования, поэтому, как следствие, информационная формализованная модель объекта может быть неоднозначна, и представлять собой некоторый класс моделей.

Особо следует отметить зависимость формализации и построение информационной модели для анализа, обработки информации изображения от ограничений, от функциональных и технических особенностей формирующего тракта изображения. В дальнейшем понадобятся понятия для изображений из онтологии ИЗОДТТ:

1. $\{K_{\kappa}\}$ – изображения корней трещины;
2. $\{Z_z\}$ – изображения звеньев трещины;
3. $\{H_h\}$ – изображения сочленений звеньев трещины;
4. $\{V_v\}$ – изображения точек ветвления трещины;
5. $\{S_s\}$ – изображения точек слияния трещины;
6. $\{R_r\}$ – изображения точек роста трещины;
7. изображения элементов раскрытой трещины кромка;
8. изображения элементов раскрытой трещины берег;
9. изображения элементов раскрытой трещины овраг;
10. изображения элементов трещины область смежности;
11. изображения элементов трещины область примыкания;
12. скелет трещины раскрытой;
13. скелет трещины волосяной;
14. схема трещины;
15. G_T – граф трещины. Это плоский ориентированный граф, вершинами которого являются изображения корней трещины, листьями являются изображения точек роста трещины, узлами – изображения точек ветвления и слияния трещин, а дугами – последовательности изображений сочленённых смежных звеньев трещины;
16. Понятие уровня узла графа трещины. Уровень узла графа относительно данного корня графа трещины равен минимуму суммы точек ветвления и точек слияния вдоль всех цепей, соединяющих данный узел графа с данным корнем графа;
17. Точка пересечения разных трещин и образование уровня трещины. Узел, принадлежащий одновременно нескольким графам трещин, из-за которого увеличиваются на единицу уровни узлов, следующих соответственно в пересекающихся графах трещин;

18. Возврат на предыдущие уровни трещины. Наличие ориентированной цепи у графа трещины, у которой присутствует ориентированное звено, соединяющее последовательно узел большего уровня с узлом меньшего уровня;

19. Шаг на тот же уровень трещины. Наличие ориентированной цепи у графа трещины, у которой присутствует ориентированное звено соединяющее последовательно узел данного уровня с узлом этого уровня;

20. Шаг на следующий уровень как точка схождения ветвей трещины – граф трещины представим, как лес с общими узлами для смежных ветвей плоского ориентированного графа;

21. Точка слияния в рамках одной ветви графа трещины - точка, образованная звеньями одной ветви графа трещины в рамках одной ветви леса;

22. Точка слияния в рамках одного графа трещины - точка, образованная звеньями одной цепи ветви графа трещины в рамках одной ветви леса, причём ей предшествует точка ветвления в рамках этой же цепи;

23. Слияния между графами в рамках класса трещин – образование общего подграфа графов соответствующих трещин.

Определение понятий 1 -14 даны и исследованы в работах [7, 8, 9, 11].

Основной задачей формализации описания изображения, соответствующего 2-х мерным данным информации, является получение информации пригодной для получения знаний в целях построения систем контроля технического состояния объекта строительства и ее осмысления путем сопоставления с имеющимися результатами мониторинга или для формирования новых кластеров на основе принципов близости, схожести, смежности.

При формализации изображения происходит его преобразование в рамках формального языка в некоторые формальные тексты (кластеры, графы трещины, координаты, гистограммы, карты знаний, карты аргументации, диаграммы сущность-связь) с целью дальнейшей интерпретации для решения поставленной задачи в рамках выбранных исследователем моделей.

К условиям формализации при работе с изображениями относится необходимость автоматизации процесса, так как процесс должен осуществляться специалистом высокой компетентности, высокие требования к техническим средствам формирования изображения дефекта типа «трещина» (ИЗОДТТ), предварительным наработкам к шаблонам и прототипам, ограничения по информационной нагрузке. Следует отметить, с точки зрения информационной теории идентификации, за счет возможностей которой определяются структура и параметры настраиваемой модели по наблюдаемым

данным, необходимо обеспечить возможность использования алгоритмов учета априорной информации.

Опираясь на введенные выше понятия ИЗОДТТ и в рамках онтологии ИЗОДТТ [10], содержащие понятия, представленные образами, определим семантическое ядро ИЗОДТТ или фрагмента ИЗОДТТ как совокупность образов элементов ИЗОДТТ и связанных с ними представлений (параметрически заданных или дескриптивных).

Семантическое ядро ИЗОДТТ формализованное в рамках его онтологии будем называть семантической аннотацией.

Тогда система смыслов фрагментов ИЗОДТТ – это система их семантических как синтаксических семантических отношений аннотаций, в частности.

Из системы смыслов ИЗОДТТ за счет соотнесения по тем или иным критериям формируются группы (например, фон, помехи, ров, кромка), в своей совокупности, представляющие сцену ИЗОДТТ. Сцена ИЗОДТТ содержит дополнительно информацию по группам, их расположения на ИЗОДТТ, их параметрические и дескриптивные признаки, представляющиеся связанными семантическими аннотациями.

Особо отметим, для ИЗОДТТ определимо понятие композиции ИЗОДТТ – соединение, сочетание, составление фрагментов ИЗОДТТ в целое в соответствии с понятием трещина в данной онтологии, где под ИЗОДТТ подразумевается изображение формы, присущей трещине строительных объектов и передающей полную информацию о ней.

ИЗОДТТ задает эндоморфизм на дискретном конечном пространстве W : $\text{End}(\text{ИЗОДТТ}): W \rightarrow W$. Тогда под классами трещин будем подразумевать инварианты $\{I\}$ относительно некоторой группы преобразований $G: G(I) = I \subset W$, причем инварианты:

$$t_1 \text{ и } t_2 \in I_{G_i} \Leftrightarrow \exists g \in G: t_1 = gt_2,$$

где I_{G_i} – классы эквивалентности, порожденные на W группой допустимых преобразований с порождающим элементом t .

$$\text{Поскольку } |W| < +\infty, \text{ то } \exists T, |T| < +\infty \bigcup_{t \in T} I_{G_t} = W \text{ и}$$

$$I_{G_{t_1}} \cap I_{G_{t_2}} = \begin{cases} \emptyset; \\ \{t_H\}: g_{t_1}t_1 = g_{t_2}t_2 = t_H \Rightarrow g_{t_2}^{-1}g_{t_1} = \ell_{t_2}, \quad g_{t_1}^{-1}g_{t_2} = \ell_{t_1} \end{cases}$$

Из определения выше графа ИЗОДТТ следует:

$$F_1: \{\text{ИЗОДТТ}\} \rightarrow \{\text{граф ИЗОДТТ}\} \equiv K_1,$$

$$F_2 : \{\text{ИЗОДТТ}\} \rightarrow \{\text{схема ИЗОДТТ}\} \equiv K_2$$

есть функторы, причем, если F_1 задаёт структурную эквивалентность, то F_2 задает классы с точностью до кратности звеньев трещины, что позволяет ввести морфизмы между ИЗОДТТ как: $End(K_1)$ и $End(K_2)$, тем самым определить две категории для представления ИЗОДТТ.

Выводы.

1. Уточнены и исследованы понятия, формализующие онтологию ИЗОДТТ.
2. Проведено исследование и формализация требований к процедуре формализации и средством формализации в рамках онтологии ИЗОДТТ.
3. Проведено исследование в рамках теории информационной идентификации средств онтологии ИЗОДТТ с целью определения возможности построения информационной модели ИЗОДТТ.
4. Исследовано построение категорий ИЗОДТТ на основе совокупности ИЗОДТТ, установлена возможность соответствующих визуализаций ИЗОДТТ как средства категоризации.

Список литературы

1. Тэплин Д. Механика разрушения. Разрушение конструкций. – М.: Мир, 1980. – 256 с.
2. Эрдоган Ф. Теория распространения трещин. т. 2. – М.: Мир, 1975. – 440 с.
3. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. – М.: Наука, 1984. – 256 с.
4. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
5. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. 2-е изд. – М.: ФАЗИС, 2012. – 429 с.
6. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений. - М.: Мир, 1982. - 310 с.
7. Горда О. В., Пузько О.О. Исследование изображений признакообразующих элементов дефекта типа «трещина». // Scientific Journal "Science Rise" Vol. 1/(42). 2018. С. 24-29.
8. Горда О.В. Моделирование метрик в просторі цифрового зображення дефекту типу «тріщина». // Управління розвитком складних систем. – 2014, Вип. 17. С. 112-120.

9. Горда Е.В. Преобразования цифрового изображения дефекта типа "трещина" [Текст] / Е.В. Горда // Управление развитием сложных систем. – 2017. – № 32. – С. 71 – 75.

10. 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.

11. Горда О.В., Пузько О.О. Вплив формуючого тракту на представлення дефекту типу «тріщина» на цифровому зображенні // Управління розвитком складних систем. – 2013, Вип. 13, – С.113-118.

кандидат технічних наук, доцент Горда О.В.,
доцент кафедри інформаційних технологій
проектування та прикладної математики,
Київський національний університет будівництва і архітектури

КАТЕГОРІЯ ЗОБРАЖЕННЯ ДЕФЕКТУ ТИПУ «ТРИЩИНА»

В роботі визначається, будується і досліджується категорія, породжувана цифровими зображеннями, що містять дефект типу «тріщина» (ЗОДТТ) для об'єктів будівництва. Робота виконана для ЗОДТТ з метою визначення можливості побудови її інформаційної моделі з урахуванням розробки методів побудови алгоритмів розпізнавання та ідентифікації тріщин на будівельних об'єктах. Досліджено можливість побудови категорій ЗОДТТ на основі сукупності ЗОДТТ, встановлена можливість відповідних візуалізацій ЗОДТТ як засобу категоризації.

Ключові слова: зображення, дефект, тріщина, онтологія, інваріант, категорія, кластер, різноманіття, підгрупа.

Candidate of Technical Sciences, Associate Gorda E. V.,
Professor of the Chair of Information Technologies of Design and Applied
Mathematics, Kyiv National University of Construction and Architecture

CATEGORY OF DEFECT IMAGE OF TYPE "CRACK"

In this paper, a category is generated, constructed and examined, generated by digital images containing a "crack" type defect (IDTC) for construction objects. Since a crack is a complex object of investigation, which can have multiple forms of manifestation, which makes it practically impossible to create a standard, and its image in digital images can be distorted, or overlap with concomitant defects. To

identify it and identify it based on digital images, it is necessary to develop a comprehensive approach taking into account the specifics of the object of research. Formalization as a means of constructing a model based on discrete web-images is considered. The initial data for the formalization are images of the monitoring surface of the construction site. A two-dimensional image is considered as a text having a certain semantic core, which means either an image of a crack or an established absence of a crack. Concepts formalizing the ontology of IDTC have been refined and investigated. A study and formalization of the requirements for the formalization procedure and a means of formalization within the framework of the IDTC ontology was carried out. The construction of IDTC categories based on the IDTC set was investigated, the possibility of corresponding visualization of IDTC as a means of categorization. A two-dimensional image is considered as a text having a certain semantic core, which means either an image of a crack or an established absence of a crack. The work was performed for IDTC with the aim of determining the possibility of constructing its information model, taking into account the development of methods for constructing algorithms for recognizing and identifying cracks in building objects. The possibility of constructing IDTC categories on the basis of a set of IDTCs was investigated, the possibility of corresponding visualization of IDTCs as a means of categorization was established.

Keywords: image, defect, crack, ontology, invariant, category, cluster, variety, semigroup.