

УДК 004.932.2 : 678

Профессор А.А. Хвостов, аспирант Д.В. Складневский
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра информационных и управляющих систем.
тел. (473) 255-38-75

преподаватель А.А. Никитченко
(Воронеж, ВУИЦ ВВС ВВА) кафедра изыскания и проектирования аэродромов.
тел. (473) 226-38-05
E-mail: khvtol1974@yandex.ru

Professor A.A. Khvostov, graduate D.V. Sklyarevskii
(Voronezh state university of engineering technologies) Department of information and control systems. phone (473) 255-38-75
teacher A.A. Nikitchenko
(Voronezh, Zhukovskii-Gagarin Air Force Academy) Department of researches and designing airfields. phone (473) 226-38-05
E-mail: khvtol1974@yandex.ru

Методика оценки степени разрушения резинотехнических изделий с использованием алгоритмов машинного зрения

Methods of assessing the degree of destruction of rubber products using computer vision algorithms

Реферат. Для контроля технического состояния резинотехнических изделий (РТИ) существенное значение имеет усовершенствование методов видеометрического анализа степени разрушения и старения резины в агрессивной среде. Основным фактором, определяющим степень разрушения резинового изделия, является степень покрытия его трещинами, которая характеризуется количеством, суммарной площадью, периметром трещин, геометрической формой и рядом других параметров. В процессе создания методики оценки степени разрушения РТИ возникает задача разработки алгоритма машинного зрения для оценки степени покрытия образца трещинами, а также определения характеристик разрушения. Для разработки алгоритма обработки изображений проведен ряд экспериментальных исследований по искусственному состариванию ряда образцов изделий, изготовленных из различных резин. В ходе экспериментов была получена серия снимков ряда образцов вулканизатов в реальном времени. Для достижения поставленных целей изначально производится стабилизация освещенности полученного массива изображений с использованием фильтра Гаусса. После этого для каждого изображения применяется операция бинаризации. Для выделения контуров поверхностных повреждений образца применяется алгоритм Кэнни. Обнаруженные контуры преобразуются в массив точек. Однако одна трещина может быть выделена как несколько контуров. Поэтому был разработан алгоритм объединения контуров по критерию минимума расстояния между ними. В конце производится расчёт морфологических признаков каждого контура (площадь, периметр, длина, ширина, угол наклона, фрактальная размерность Минковского). Приводятся графики полученных с помощью методики параметров разрушения образцов РТИ. Разработанная методика позволяет автоматизировать оценку степени старения РТИ в телеметрических системах, исследовать динамику процесса старения полимеров, получать исходную информацию для математического моделирования процессов старения полимеров, прогнозировать изменение состояния РТИ с течением времени.

Summary. For technical inspection of rubber products are essential methods of improving video scopes analyzing the degree of destruction and aging of rubber in an aggressive environment. The main factor determining the degree of destruction of the rubber product, the degree of coverage is cracked, which can be described as the amount of the total area, perimeter cracks, geometric shapes and other parameters. In the process of creating a methodology for assessing the degree of destruction of rubber products arises the problem of the development of machine vision algorithm for estimating the degree of coverage of the sample fractures and fracture characterization. For the development of image processing algorithm performed experimental studies on the artificial aging of several samples of products that are made from different rubbers. In the course of the experiments it was obtained several samples of shots vulcanizates in real time. To achieve the goals initially made light stabilization of array images using Gaussian filter. Thereafter, for each image binarization operation is applied. To highlight the contours of the surface damage of the sample is used Canny algorithm. The detected contours are converted into an array of pixels. However, a crack may be allocated to several contours. Therefore, an algorithm was developed by combining contours criterion of minimum distance between them. At the end of the calculation is made of the morphological features of each contour (area, perimeter, length, width, angle of inclination, the At the end of the calculation is made of the morphological features of each contour (area, perimeter, length, width, angle of inclination, the Minkowski dimension). Show schedule obtained by the method parameters destruction of samples of rubber products. The developed method allows you to automate assessment of the degree of aging of rubber products in telemetry systems, to study the dynamics of the aging process of polymers to obtain initial information for mathematical modeling of aging processes of polymers, to predict changes in the state of rubber products over time.

Ключевые слова: резинотехнические изделия, машинное зрение, алгоритм, методика, климатическая камера.

Keywords: rubber products, machine vision algorithm, method, climate chamber.

© Хвостов А.А., Складневский Д.В.,
Никитченко А.А., 2015

Для контроля технического состояния резинотехнических изделий (РТИ) существенное значение имеет усовершенствование методов видеометрического анализа степени разрушения и старения резины в агрессивной среде. Степень разрушения резины может быть оценена с использованием анализа фотоснимков изделия, полученных с помощью оптических и оптико-электронных систем. Основным фактором, определяющим степень разрушения резинового изделия, является степень покрытия его трещинами, которая характеризуется количеством, суммарной площадью, периметром трещин, геометрической формой и рядом других параметров.

Видеометрические методы анализа трещинности применяются для оценки степени изношенности дорожных покрытий [1], оценки повреждения металлоконструкций (с применением термографии) [2]. Известен способ обнаружения трещин каучукового дерева и их классификации с использованием оценки фрактальной размерности контура трещин [3].

При разработке новых типов РТИ проводят ряд испытаний образца на устойчивость к воздействиям различных агрессивных сред.

Для моделирования воздействия агрессивных сред используются климатические камеры. Распространение получили климатические камеры, позволяющие имитировать целенаправленное воздействие агрессивной среды для исследуемых образцов резины. Однако, обработка данных о степени повреждения образца, производимая в процессе исследований может представлять существенные трудности.

В связи с этим, разработка методики оценки степени разрушения РТИ с использованием алгоритмов машинного зрения, позволяющей автоматически выделить информационно-значимые объекты и оценить степень разрушения РТИ, является актуальной научно-технической задачей.

В процессе создания методики оценки степени разрушения РТИ возникает задача разработки алгоритма машинного зрения для оценки степени покрытия образца трещинами, а также определения характеристик разрушения.

Для разработки алгоритма обработки изображений проведен ряд экспериментальных исследований по искусственному составлению ряда образцов изделий, изготовленных из различных резин.

В ходе экспериментов была получена серия снимков ряда образцов вулканизатов (с разным содержанием наполнителей) в реальном времени (таблица 1). При этом образцы находились под воздействием ряда погодных факто-

ров (солнечный свет, влажность, атмосферные загрязнения – озон и оксиды азота), оказывающих на них разрушающее воздействие.

Прежде чем приступить к анализу степени разрушения образца, необходимо выполнить предварительную обработку снимков для обеспечения стабильной работы алгоритма распознавания трещин.

Таблица 1
Состав образцов РТИ

№ Состав	Обр.1	Обр.2	Обр.3
	Масс. ед.		
Каучук НК	50,0	50,0	50,0
Каучук СКС-30АРК	50,0	50,0	50,0
Сера	2,0	2,0	2,0
Альтакс	3,0	3,0	3,0
Оксид цинка	5,0	5,0	5,0
Стеариновая к-та	2,0	2,0	2,0
Мел	10,0	10,0	-
Белая сажа БС-120	-	-	15,0
Регенерат РШТ	-	15,0	-
Итого:	122,0	137,0	127,0

Для устранения неравномерной освещенности применяется алгоритм, основанный на усилении высоких частот [4] (рисунок 1).

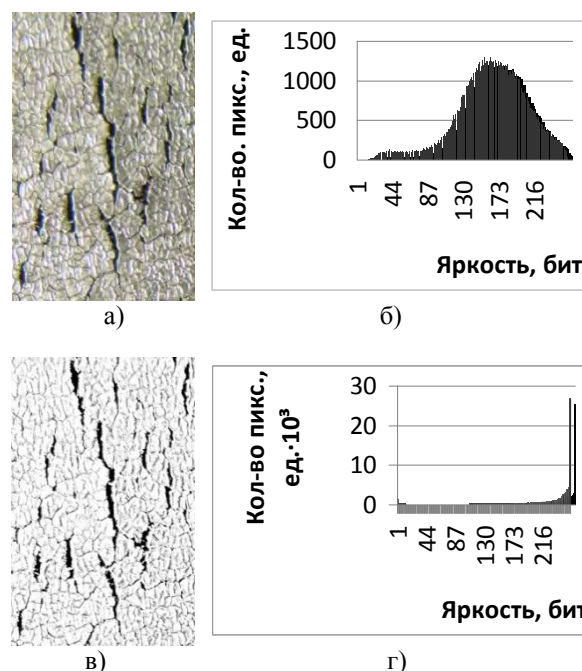


Рисунок 1. Результат применения алгоритма стабилизации освещенности:

- а) Исходное изображение;
- б) Гистограмма распределения яркости исходного изображения;
- в) Изображение со стабилизированной освещенностью;
- г) Гистограмма распределения яркости изображения со стабилизированной освещенностью.

Бинаризация изображения достигается использованием адаптивного порогового фильтра (рисунок 2а). Для обнаружения контуров применяется алгоритм Кэнни [4]. Результат его работы представлен на рисунке 2б.

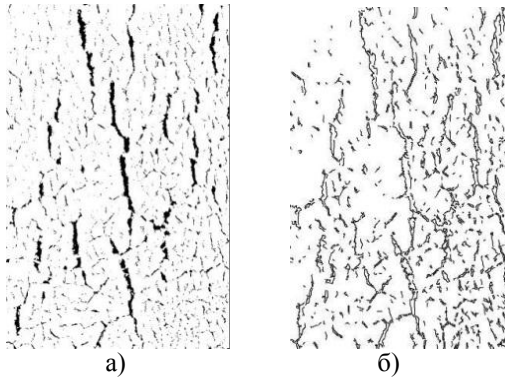


Рисунок 2. Результаты бинаризации изображения:
а) Изображение после применения адаптивного порогового фильтра;
б) Изображение после применения алгоритма Кэнни.

Для преобразования трещин на изображении в массив контуров применяется встроенная функция библиотеки компьютерного зрения OpenCV [5,6], использующая алгоритм аппроксимации ключевых точек контура Teh-Chin [6].

Однако, поскольку функция может определить одну трещину как несколько контуров в связи с наличием дефектов на бинарном изображении, то необходимо разработать метод, который позволит объединить ближайшие контуры по критерию минимума расстояния между ними (*):

$$\begin{cases} |D| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \longrightarrow \min, \\ |D| \leq D_{\min}, \end{cases} \quad (1)$$

где $D_{\min}$ – минимальное допустимое расстояние объединения контуров; x_1, y_1, x_2, y_2 – координаты ближайших точек первого и второго контуров соответственно.

Разработанный алгоритм объединения контуров описывается последовательностью этапов:

1) Производится перебор множества контуров. Контуры, имеющие площадь менее допустимой (например, помехи на изображении), отфильтровываются:

$$Cr' = \{Cr_i : S_i \leq S_{\min}, i = \overline{1, N}\}, \quad (2)$$

где Cr – исходное множество контуров; Cr' – множество контуров после фильтрации; i – порядковый номер контура; N – количество контуров; $S_{\min}$ – минимальная допустимая площадь контура.

2) Выполняется перебор точек каждой следующей пары контуров. Если найдена точка, удовлетворяющая критерию минимума расстояния между ней и точкой соседнего контура (рис. 3а, участок AB), то производится поиск смежных точек, для которых также выполняется данный критерий (рис. 3а, участки CD и EF). При обнаружении и исключении точки выполняется проверка перекрытия одного контура другим (рис. 3б, участок CMD_i). Это достигается построением линии от граничной точки одного контура к граничной точке другого контура.

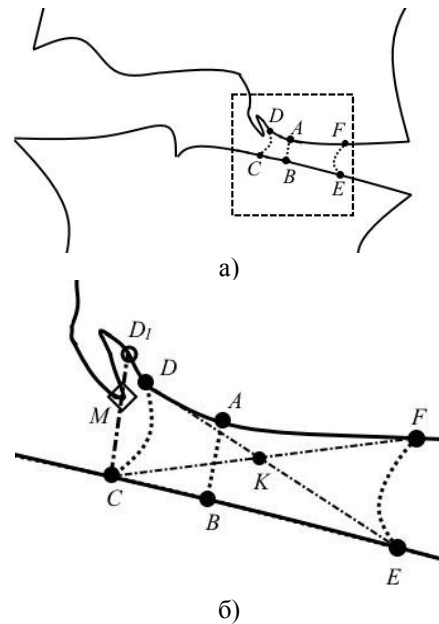


Рисунок 3. Объединение контуров:
а) Общий вид границ объединяемых контуров;
б) Укрупнённый участок объединения контуров.

3) Производится построение нового контура. Участки объединения дстраиваются квадратичными кривыми Безье (рисунок 3б, участки CD и EF с опорной точкой K):

$$\begin{aligned} Bz_{CD}(t) &= (1-t)^2 C + 2t(1-t)K + t^2 D, \\ Bz_{EF}(t) &= (1-t)^2 E + 2t(1-t)K + t^2 F, \end{aligned} \quad (3)$$

где $t \in [0, 1]$ – параметр кривой Безье.

Таким образом, алгоритм обработки включает последовательность этапов обработки информации:

1. Получение массива исходных изображений, где каждое цифровое изображение можно представить в виде множества:

$$R = \{R_{i,j}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}\}, \quad (4)$$

где i – номер пикселя по горизонтали, j – номер пикселя по вертикали.

Полученное изображение R достаточно просто описать с использованием цветовой модели RGB.

Стабилизация освещенности изображения. Изначально производится получение компонента освещения низкочастотной фильтрацией изображения с использованием фильтра Гаусса [4]:

$$R'_{i,j} = \frac{1}{2\pi r^2} \sum_{u,v} e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2r^2}} R_{i+u,j+v} : \quad (5)$$

$$i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}, u = \overline{1, r}, v = \overline{1, r},$$

где r – радиус размытия; u – номер пикселя матрицы размытия по горизонтали; v – номер пикселя матрицы размытия по вертикали.

Выполняется восстановление исходного изображения по формуле:

$$Rh_{i,j} = \frac{R_{i,j}}{R'_{i,j}}. \quad (6)$$

2. Бинаризация изображения с применением адаптивного порогового фильтра:

$$Rb_{i,j} = \begin{cases} 255, & \text{если } Rh_{i,j} > P, \\ 0 & \end{cases}, \quad (7)$$

где P – пороговое значение яркости.

3. Применение алгоритма Кэнни для выделения контуров [4].

4. Формирование множества D_k объектов, соответствующих выявленным в результате работы алгоритма Кэнни контурам дефектов:

$$D = \{D_k, k = \overline{1, K}\}, \quad (8)$$

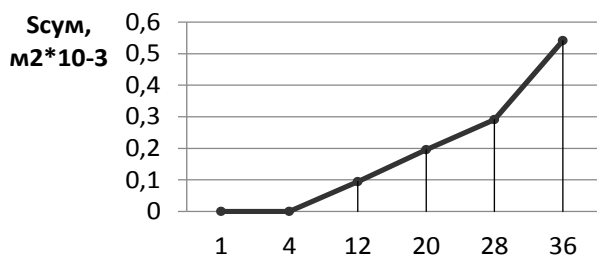
где K – количество объектов.

5. Объединение контуров по критерию минимума расстояния между ними (1) с помощью вышеописанного алгоритма.

6. Формирование множества Pr морфологических признаков, вычисленных по параметрам границ множества дефектов D :

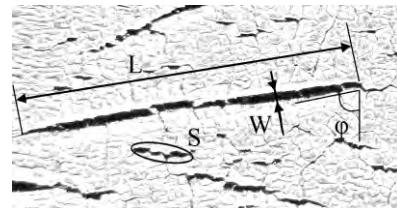
$$Pr = \{Pr_{k,l}, k = \overline{1, K}, l = \overline{1, L}\}, \quad (9)$$

где L – количество вычисляемых морфологических признаков.

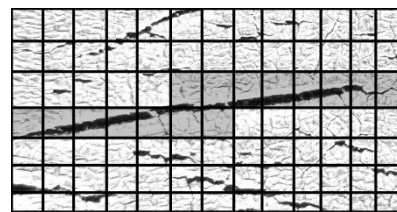


а)

Результатом работы алгоритма оценки степени разрушения РТИ методом контурного анализа будет набор параметров Pr , характеризующих морфологические признаки дефектов, обнаруженных на цифровом изображении и позволяющих судить о степени старения (разрушения) РТИ (рисунок 4а). В качестве таких признаков выступают: площадь S , ширина W , длина L , угол наклона ϕ , фрактальная размерность Минковского Fr [7] (рисунок 4б).



а)

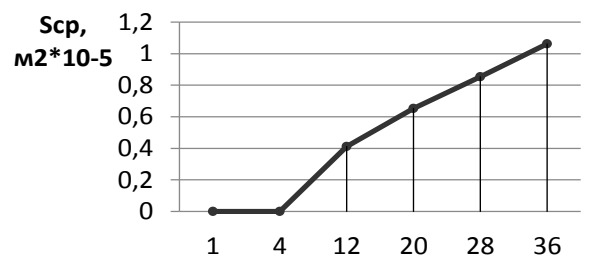


б)

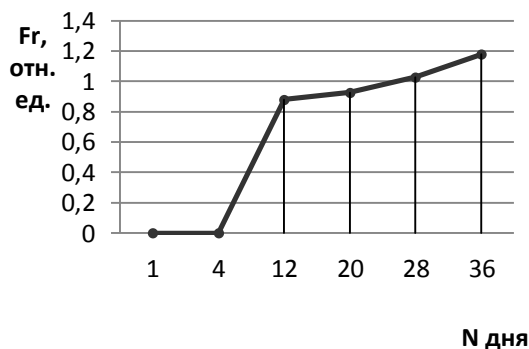
Рисунок 4. Морфологические признаки дефектов, позволяющие судить о степени старения (разрушения) РТИ:

- а) Геометрические признаки дефектов;
- б) Фрактальная размерность дефектов.

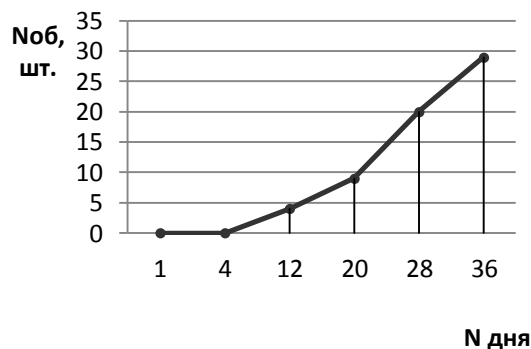
На рисунке 5 представлена динамика изменения суммарной площади $S_{\text{сум}}$ (м^2), средней площади $S_{\text{ср}}$ (м^2), фрактальной размерности и количества объединений контуров тестового образца резинотехнического изделия, построенная по изображениям с использованием разработанного алгоритма. Следует отметить, что после фиксации конечного изображения произошёл разрыв образца.



б)



в)



г)

Рисунок 5. Динамика изменения показателей разрушения образца:

а) Суммарная площадь повреждений $S_{\text{сум}}$, м^2 ; б) Средняя площадь повреждений $S_{\text{ср}}$, м^2 ; в) Фрактальная размерность Минковского;

г) Количество объединений ближайших контуров.

Разработанная методика позволяет автоматизировать оценку степени старения РТИ в телеметрических системах, исследовать динамику процесса старения полимеров, получать

исходную информацию для математического моделирования процессов старения полимеров, прогнозировать изменение состояния РТИ с течением времени.

ЛИТЕРАТУРА

1 Li L., Sun L., Ning G., Tan S. Automatic pavement crack recognition based on BP neural network // Promet – Traffic&Transportation. 2014. V. 26. № 1. P. 11-22.

2 Broberg P., Runnemalm A. Detection of Surface Cracks in Welds using Active Thermography // 18th World Conference on Nondestructive Testing, Durban, South Africa. 2012. P. 16-20.

3 Boonprakong P., Chamnongthai K. Bark Rubber Tree Crack Detection and Classification using Fractal Dimension // Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Robotics, Control & Manufacturing Technology, Hangzhou, China, April 15-17. 2007. P. 229-232.

4 Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 620 с.

5 Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV. O'Reilly, 2008. 580 p.

6 OpenCV 2.4.11.0 documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.opencv.org/>.

7 Шуплецов Ю.В., Ампилова Н.Б. Алгоритм вычисления размерности Минковского для полутонных изображений // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2014. № 165. С. 99-106.

REFERENCES

1 Li L., Sun L., Ning G., Tan S. Automatic pavement crack recognition based on BP neural network // Promet – Traffic&Transportation, 2014, vol. 26, no. 1, pp. 11-22.

2 Broberg P., Runnemalm A. Detection of Surface Cracks in Welds using Active Thermography. 18th World Conference on Nondestructive Testing, Durban, South Africa. 2012, pp. 16-20.

3 Boonprakong P., Chamnongthai K. Bark Rubber Tree Crack Detection and Classification using Fractal Dimension. Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Robotics, Control & Manufacturing Technology, Hangzhou, China, April 15-17. 2007, pp. 229-232.

4 Gonsales R., Wuds R., Eddins S. Digital image processing using MATLAB. 1th ed. New York, Pearson Education, 2004. 620 p.

5 Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV. O'Reilly, 2008. 580 p.

6 OpenCV 2.4.11.0 documentation. Available at: <http://docs.opencv.org/>.

7 Shuplntsov Yu.V., Ampilova N.B. Algorithm for computing the Minkowski dimension for halftone images. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [Proceedings of the Russian State Pedagogical University. A.I. Herzen], 2014, no. 165, pp. 99-106. (In Russ.).