ISSN: 2594-6153

Detecção de ferrugem em imagens de ligas metálicas pela utilização de uma Rede de Análise Paraconsistente (RAP)

João Luís Lopes Freitas, Aldo Ramos Santos[1]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

E-mail: joaoluisfreitas@gmail.com

Resumo: Este trabalho descreve a construção de uma RAP capaz de realizar a classificação binária de imagens de ligas metálicas para a presença de ferrugem. Os parâmetros de entrada considerados seguiram as características de texturas estudadas por Haralick, e foram capazes de produzir uma taxa de acerto de 70% sem a realização das etapas de seleção de parâmetros e de ajustes dos limites estabelecidos.

Palavras-chave: Corrosão; Redes de Análise Paraconsistentes; Visão Computacional.

Rust detection in images of metal alloys using Paraconsistent Analysis Networks (PAN)

Abstract: This work describes the construction of a PAN capable of performing the binary classification of images of metal alloys for the presence of rust. The considered input parameters follow the texture characteristics studied by Haralick and were able to produce a 70% accuracy response rate without the execution of the steps of parameters selection and tuning.

Keywords: Corrosion; Paraconsistent Analysis Networks; Computer Vision.

Introdução

A corrosão é um fenômeno eletroquímico natural e espontâneo cujos efeitos são modulados pelas circunstâncias sob as quais um material é exposto ao ambiente, podendo ser influenciada pela presença de microrganismos – a chamada corrosão microbiológica.

Seus impactos na indústria com a ocorrência de falhas, paradas não-programadas, afastamentos de pessoal e danos ambientais são severos, com impactos financeiros globais atuais na ordem de 2,5 trilhões de dólares anuais entre as etapas de prevenção, identificação, análise, tratamento e sua remediação [1].

Abordagens tradicionais de estudo da corrosão utilizam modelos não-representativos da realidade de um processo corrosivo, que podem ainda ser enviesados por fatores como a demora no início do ataque eletroquímico ou outras dificuldades no processo de incubação.

Métodos matemáticos aperfeiçoados para melhorar este modelo levam em consideração a geometria e condutividade do corpo de prova de forma a aumentar a sensibilidade dos métodos numéricos [2] juntamente com a aplicação de Transformadas de Hough em imagens ópticas [3], enquanto a área de ciências dos materiais contribui com o

ISSN: 2594-6153

desenvolvimento de materiais inteligentes que permitem a detecção da corrosão – como a alteração de coloração observada em polímeros [4] –, e o aperfeiçoamento do uso de biomateriais e produtos "verdes" para sua inibição [5-6], além do desenvolvimento de materiais capazes de autorregeneração [7] com auxílio da nanotecnologia [8-9].

Avanços recentes nas áreas da inteligência artificial e da visão computacional permitiram a criação de sistemas de detecção da corrosão por meio de técnicas de redes neurais artificiais convolucionais [10], algoritmos de processamento digital de imagens [11] e utilização de técnicas de aprendizagem profunda [12], métodos que permitem funcionamento autônomo e diagnóstico remoto [13] de estruturas com grandes níveis de confiança e sensibilidade. Apesar de apresentarem resultados satisfatórios, as técnicas ligadas à aprendizagem de máquina e ao *deep learning* trazem o ônus da necessidade de utilização de equipamentos com grande capacidade computacional (muitas vezes sendo processados com GPUs), além de não raramente necessitarem acessarem modelos treinados disponibilizados em servidores remotos – requerendo capacidade de comunicação com sistemas externos.

Objetivos

O presente estudo busca apresentar a utilização das redes de análise paraconsistentes (RAPs) como ferramenta para a identificação de ferrugem em imagens de ligas metálicas. O uso da lógica paraconsistente nas etapas de processamento é de grande interesse uma vez que ela permite a diminuição das incertezas associadas a cada uma das fases de construção da classificação, apresentando potencial para melhoria da resposta dos sistemas construídos para este fim. A utilização de uma RAP, por sua vez, traz o benefício de permitir a realização da classificação das imagens através de algoritmos de baixa complexidade, que podem ser executados localmente por dispositivos menos robustos e de menor custo.

Material e Métodos

A RAP desenvolvida para este experimento foi composta por três Nós de Análise Paraconsistentes (NAP), todos utilizando o algoritmo de análise paraconsistente da LPA2v com saída de grau de certeza resultante em seus processamentos. Os graus de evidência favoráveis de entrada na RAP foram obtidos via análise de imagens de ferrugem obtidas por pesquisa em motor de busca na internet, sem marcação de direitos autorais.

Todas as imagens foram redimensionadas para um quadrado de lado 20px e transformadas em suas versões em escala de cinza e preto e branco. Três parâmetros foram

ISSN: 2594-6153

selecionados como entrada: a densidade de pixels para intensidade de cinza superior a 100, o cálculo da entropia e o cálculo do contraste das imagens (os últimos através das matrizes de co-ocorrência de níveis de cinza – GLCM – considerando apenas a correlação a 0°).

As funções de ativação para cada um dos parâmetros seguiram as relações mostradas no quadro 01, e a classificação binária da RAP considerou o valor-limite de 0,54 para o grau de certeza real.

Quadro 01. Funções de ativação utilizadas no cálculo dos parâmetros da RAP.

Parâmetro	Limite inferior	Valor intermediário	Limite superior
Densidade de pixels	0; se $0 \leq x \leq 0,1$	$2,5\,x - 0,25$; se $0,1 < x \leq 0,5$	1; se $0,5 < x$
Entropia	0; se $0 \leq x \leq 3$	$0,5\,x - 1,5$; se $3 < x \leq 5$	1; se $5 < x$
Contraste	0; se $0 \leq x \leq 200$	$0,005\,x - 0,5$; se $200 < x \leq 300$	1; se $300 < x$

O script foi inteiramente desenvolvido em linguagem Python 3.8.5 utilizando as bibliotecas OpenCV, Skimage e NumPy e os testes foram realizados em computador de uso pessoal com processador Intel Core i5-8265U CPU @ 1.600GHz 1.80 GHz com memória RAM de 8,00 GB, em sistema operacional Windows 10 Home Single Language.

Resultados

A realização dos testes em um conjunto de vinte imagens coletadas, sendo dez as figuras que apresentavam corrosão, apresentou uma taxa de acerto inicial de 70,0% e tempo médio de processamento de $82,19 \pm 26,75$ ms utilizando apenas a CPU.

No caso dos resultados falso-negativos, o grau de certeza de saída da RAP encontrado possui valor médio de $0,4984 \pm 0,0008$, um valor bastante próximo do limite estabelecido em 0,54. O grau de certeza médio de saída da RAP para os falso-positivos, por sua vez, foi de $0,7555 \pm 0,0536$, indicando um efeito de erro propagado maior para estas amostras.

No caso dos três falso-positivos observou-se que o valor do contraste na função de ativação foi igual ao limite superior; a entropia destes foi alta, da mesma maneira, apresentando valor médio de $0,91433 \pm 0,0596$ – também próximo a 1.

As figuras 01 e 02 mostram exemplos de resultados de classificação binária encontrados para diferentes imagens de ligas metálicas.

Figura 01. Resultado positivo para presença de ferrugem em imagem de liga metálica.

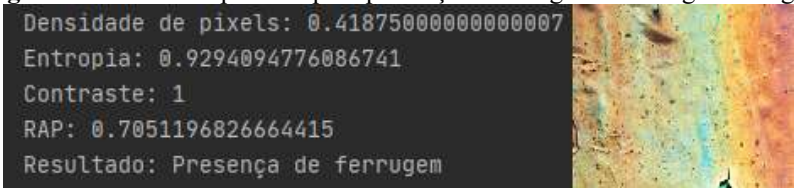
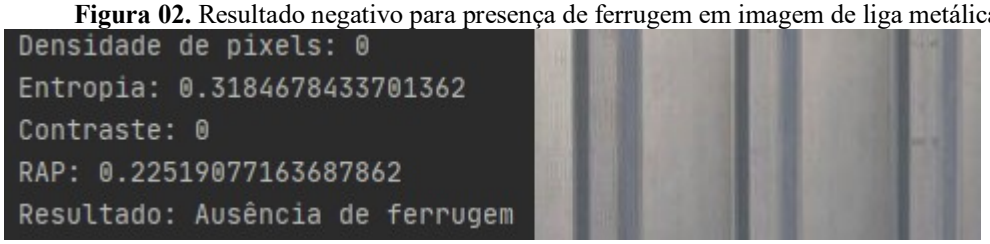


Figura 02. Resultado negativo para presença de ferrugem em imagem de liga metálica.



Discussão

A produção acadêmica recente sobre os métodos de identificação da corrosão em imagens indica grande prevalência do uso de técnicas de inteligência artificial – métodos computacionalmente intensivos, que podem exigir um tempo elevado de preparação e processamento. A utilização de uma RAP neste projeto, por outro lado, mostrou ser possível a execução de scripts de classificação binária similares com baixas necessidades computacionais e sem a necessidade de dados de treinamento.

A seleção dos parâmetros de entrada da RAP se baseou nos estudos de texturas de Haralick [14] visando identificar a não-uniformidade das imagens, assim como a ocorrência de contrastes entre pixels com valores máximos e mínimos, de forma a traduzir a existência de superfícies irregulares para os valores de graus de evidência favoráveis.

A análise das classificações incorretas, principalmente no caso dos falso-positivos, indica a propagação de erros principalmente no contraste e na entropia; ambos os fatores poderiam ter sido atenuados por um pré-tratamento das imagens que diminuísse efeitos de brilho e luminosidade, retirada do fundo e seleção de um único canal de cores para trabalho.

O modelo geral apresentado apresenta uma boa resposta, e pode ser melhorado em trabalhos futuros pela inclusão de etapas de estudos de seleção de parâmetros e pela realização do *tuning* dos valores considerados; ambas as fases são comuns no trabalho com dados.

Conclusões

Este trabalho demonstrou a possibilidade da utilização de uma RAP para a realização de uma classificação binária de imagens de ligas metálicas com elevada taxa de acerto para a presença /ausência de ferrugem; seu uso permite, entre outras coisas, a diminuição dos custos de equipamentos utilizados em sistemas automatizados de identificação de corrosão. Sugerem-se a realização de estudos de aperfeiçoamento do método, por exemplo, pela

inclusão de etapas intermediárias de preparação das imagens e seleção de parâmetros – fatores que trazem perspectivas para trabalhos futuros de aprimoramento desta área do conhecimento.

Referências

1. Hou, B., Li, X., Ma, X. et al. The cost of corrosion in China. npj Mater Degrad 1, 4 (2017). https://doi.org/10.1038/s41529-017-0005-2.
2. Bilotta A, Turco E. Numerical sensitivity analysis of corrosion detection. Mathematics and Mechanics of Solids. 2017;22(1):72-88. doi:10.1177/1081286514560093.
3. Wang Y, Cheng G. Application of gradient-based Hough transform to the detection of corrosion pits in optical images. Applied Surface Science. Volume 366, (2016) 9-18. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.207.
4. G.S.Dholea, G.Gunasekarana, TanajiGhorpadea, MadhuVinjamurb . Smart acrylic coatings for corrosion detection. Progress in Organic Coatings Volume 110, September 2017, Pages 140-149
5. Umoren, SA, Eduok, UM. Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: A review. Carbohydrate Polymers. (2016) Volume: 140 Páginas: 314-341. 10.1016/j.carbpol.2015.12.038.
6. Yujie Qiang, Shengtao Zhang, Bochuan Tan, Shijin Chen. Evaluation of Ginkgo leaf extract as an eco-friendly corrosion inhibitor of X70 steel in HCl solution. Corrosion Science. Volume 133, (2018), 6-16. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.01.008.
7. D.G.Bekas, K.Tsirka, D.Baltzis, A.S.Paipetis. Self-healing materials: A review of advances in materials, evaluation, characterization and monitoring techniques. Composites Part B: Engineering. (2016) Volume 87, Pages 92-119. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.09.057.
8. Cheng Chena, Shihui Qiu, Mingjun Cui, Songlv Qin, Guoping Yan, Haichao Zhao, Liping Wang, Qunji Xue. Achieving high performance corrosion and wear resistant epoxy coatings via incorporation of noncovalent functionalized graphene. Carbon. Volume 114, (2017), Pages 356-366. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2016.12.044
9. Sepideh Pourhashem, Mohammad Reza Vaezi, Alimorad Rashidi, Mohammad Reza Bagherzadeh. Exploring corrosion protection properties of solvent based epoxy-graphene oxide nanocomposite coatings on mild steel. Corrosion Science.Volume 115, (2017), Pages 78-92. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.11.008.
10. Atha DJ, Jahanshahi MR. Evaluation of deep learning approaches based on convolutional neural networks for corrosion detection. Structural Health Monitoring. 2018;17(5):1110-1128. doi:10.1177/1475921717737051.
11. Kuo-Wei Liao, Yi-Ting Lee. Detection of rust defects on steel bridge coatings via digital image recognition. Automation in Construction. Volume 71, Part 2, November 2016, Pages 294-306. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.008.
12. Young-Jin Cha Wooram Choi Gahyun Suh Sadegh Mahmoudkhani Oral Büyüköztürk. Autonomous Structural Visual Inspection Using Region-Based Deep Learning for Detecting Multiple Damage Types. Computer-Aided Engineering. Vol 33, Issue 9 (2018). Pages 731-747. https://doi.org/10.1111/mice.12334.
13. Ortiz, A. Bonnin-Pascual, F. Garcia-Fidalgo, E. Joan P. Company-Corcoles. Vision-Based Corrosion Detection Assisted by a Micro-Aerial Vehicle in a Vessel Inspection Application. Sensors, Vol 16, 2118. doi:10.3390/s16122118.
14. Löfstedt T, Brynolfsson P, Asklund T, Nyholm T, Garpebring A. Gray-level invariant Haralick texture features. PLoSONE 14(2):e0212110. February 22, 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212110.