

Aplicação de uma Rede de Análise Paraconsistente (RAP) como sistema de classificação binário de imagens de ligas metálicas a partir de estudos de seleção de parâmetros

João Luís Lopes Freitas Orsi Kuntz, João Inácio da Silva Filho

Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil

E-mail: joaoluisfreitas@gmail.com

Resumo: Este trabalho descreve o estudo de seleção de parâmetros no processo de criação de uma Rede de Análises Paraconsistentes (RAP) capaz de realizar a classificação binária de imagens para a presença ou ausência de ferrugem em fotografias de ligas metálicas. Mostra-se que o processamento de descritores de propriedades de textura de Haralick através das estruturas previstas pela Lógica Paraconsistente (LP), com limiar determinado através de uma Curva Característica de Operação do Receptor (Curva COR), possibilita a criação de um sistema de classificação com acurácia de 75% e f-score calculado de 0,78.

Palavras-chave: Redes de Análise Paraconsistentes; Visão Computacional; Classificação de Imagens; Texturas de Haralick.

Application of a Paraconsistent Analysis Network (PANnet) as a binary classification system of metallic alloys images based on the studies of parameters selection

Abstract: This paper describes the study of parameters selection and the process of creating a PANnet capable of performing the binary classification of images for the presence or absence of rust in images of metallic alloys. It is shown that the processing of Haralick's texture feature descriptors by the structures provided by the Paraconsistent Logic (PL), with the threshold calculated via the Receiver Operating Characteristic Curve (ROC Curve), allows the creation of a classification system with 75% accuracy and a calculated f-score of 0.78.

Keywords: Paraconsistent Analysis Networks; Computer Vision; Images Classification; Haralick Textures.

Introdução:

A corrosão é um fenômeno eletroquímico natural e espontâneo com impactos financeiros globais calculados em 2017 da ordem de 2,5 trilhões de dólares anuais [1] para a indústria, e a aplicação da visão computacional no diagnóstico e monitoramento de estruturas para sua identificação vem sendo bastante difundida, por trazer vantagens como a possibilidade de operação a distância, sem contato e com baixa interferência [2]. A detecção de ferrugem via imagens, especificamente, já foi objeto de diversos estudos indo do processamento de imagens diretas [3] ou aéreas [4], ao processamento de imagens obtidas por instrumentação [5] até o desenvolvimento de aplicação de técnicas de inteligência artificial [6].

Este trabalho foi desenvolvido a partir da leitura de parâmetros retirados de matrizes de co-ocorrência de níveis de cinza (GLCM) geradas a partir de imagens de ligas metálicas com sinais visuais de ferrugem aparente e outras sem quaisquer resquícios de corrosão. O uso

da GLCM juntamente com os descritores de Haralick é bastante difundido no meio acadêmico, tendo sido utilizado no estudo de rugosidade de estruturas [7], detecção de padrões em imagens [8] e na classificação de conteúdos de fotografias [9], isto, levando em consideração apenas áreas relacionadas à corrosão.

Os parâmetros obtidos a partir dos descritores de propriedades de textura de Haralick foram selecionados, neste trabalho, através da execução de uma floresta randômica – método de aprendizagem de máquina supervisionado de excelente performance, amplamente utilizado em processos de seleção de parâmetros para classificação [10].

A viabilidade do estudo, por sua vez, foi avaliada pela utilização de uma Máquina de Vetores de Suporte (SVM) – método de aprendizagem de máquina supervisionado utilizado no reconhecimento de padrões e na realização de classificações – utilizando os parâmetros selecionados previamente. SVMs são frequentemente utilizadas em estudos como a base para a comparação de resultados de classificação de imagens em estudos sobre diagnóstico de equipamentos por meio de técnicas de inteligência artificial [11].

A RPA aqui considerada é uma técnica da LP que permite o processamento, por meio de algoritmos específicos. O uso da LP, uma lógica não-clássica, traz, como vantagem, o fato de considerar a contradição como uma informação relevante – o que permite a tomada de decisão com base em dados absolutamente reais.

Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral a demonstração da possibilidade do uso de uma RAP utilizada a partir de parâmetros baseados nos descritores de propriedades de textura de Haralick para imagens de ligas metálicas contendo ou não ferrugem em sua estrutura, apresentando os processos de seleção com base em análises estatísticas e a determinação de sua eficiência.

Material e Métodos

As imagens de ferrugem utilizadas foram coletadas aleatoriamente em motor de busca na Internet, sem marcação de direitos autorais, utilizando termos em português e inglês até somarem 65 fotografias de ligas metálica com a presença de ferrugem e outras 65 sem qualquer tipo de processo corrosivo. As cópias seguiram o fluxo de processamento, que inclui a conversão das imagens para a escala de cinza e sua quantização com redimensionamento para um quadrado de 20px de lado.

Os scripts para manipulação e coleta das propriedades das imagens assim como para a realização dos estudos estatísticos e execução das RAPs foram desenvolvidos em linguagem Python 3.8.3 utilizando as bibliotecas Matplotlib 3.2.2, NumPy 1.18.5, OpenCV 4.5.0, Pandas 1.0.5, Scipy 1.5.0, Seaborn 0.10.1, Scikit-Image 0.18.0, Scikit-Learn 0.23, além do módulo Statistics na versão corrente da linguagem; todos foram executados em sistema operacional Windows 10 Pro instalado em computador de uso pessoal com processador Intel Core i5-8265U CPU @ 1.600GHz 1.80 GHz e memória RAM de 8,00 GB.

Os cálculos do GLCM foram realizados para cada uma das imagens considerando apenas a correlação a 0° e distância de 1px (apenas entre pixels adjacentes à direita); seus valores foram normalizados de forma que a soma equivalesse a 1 e, a partir deles, calculadas as propriedades para os seguintes descritores de texturas de Haralick: contraste, dissimilaridade, homogeneidade, ASM, energia, entropia e correlação.

Os descritores das propriedades de textura de Haralick foram extraídos e seus valores estudados individualmente através de uma análise exploratória para avaliação da normalidade de suas distribuições. Valores médios muito próximos dentro de um mesmo conjunto de parâmetros para conjuntos de fotografias apresentando corrosão e sem a presença de corrosão foram ainda avaliados através de um Teste U de Mann-Whitney para identificação de possíveis relações e/ou interdependências. A correlação entre cada um dos parâmetros também foi medida para cada um dos conjuntos de cópia, através da técnica do Coeficiente de Correlação de Postos de Spearman, e utilizada para a geração de mapas de calor para cada grupo de fotografias.

A determinação da contribuição global de cada um dos parâmetros foi realizada através da execução de um algoritmo de floresta randômica, e seus valores utilizados na seleção das propriedades mais relevantes. Em seguida, diferentes combinações das propriedades selecionadas foram avaliadas por uma SVM implementada como um C-SVC (*C-Support Vector Classification*), escolhido por apresentar melhor performance que implementações com *kernel* – isto é, o plano matemático utilizado durante nas computações – linear, de forma a se avaliar a factibilidade de seus usos como parâmetros em um processo de classificação binária.

A RAP foi criada a partir da combinação de 2 Nós de Análise Paraconsistentes (NAP), e com 3 entradas. De acordo com os princípios da LPA2v, cada nó recebeu duas observações como entrada – definidas grau de evidência favorável (μ) e grau de evidência desfavorável (λ) – e executou o algoritmo de análise paraconsistente da LPA2v, apresentando como saída um grau de evidência resultante (μ_{er}) já normalizado.

Os resultados encontrados na execução da RAP para cada uma das fotos foram avaliados em uma matriz de confusão e pela determinação de seus indicadores: acurácia, precisão, recall e f-Score. Determinou-se que a RAP seria considerada satisfatória caso apresentasse taxa de acerto maior ou igual ao valor encontrado pelo C-SVC.

Resultados e Discussão

A análise exploratória dos dados das matrizes de resultados para cada um dos descritores mostrou uma tendência geral para existência de dados com distribuição não-normal para os valores, o que exigiu que qualquer análise estatística decorrente utilizasse técnicas não-paramétricas. Já a hipótese nula de que os valores apresentados se referirem às mesmas amostras ou possuírem alguma dependência, avaliada seguindo um Teste U de Mann-Whitney, foi refutada.

A execução do algoritmo de floresta randômica selecionou alguns atributos que mais contribuem de forma global para a classificação da imagem. Seus resultados foram combinados no algoritmo de C-SVC para uma amostra aleatória contendo 20% dos dados e apresentou taxa de acerto máximo de 0,6923076923076923 a partir dos parâmetros de contraste, dissimilaridade e entropia.

A distribuição de frequências dos resultados encontrados para a RAP na topologia considerada, tendo como parâmetros de entrada para as imagens com corrosão e sem corrosão, foi estimada via código e utilizada para definir os limiares ótimos considerados para o processo de classificação utilizando a RAP. O limiar de classificação ótimo para este caso (determinado pela análise da Curva COR) foi estabelecido em 0,3500.

Como forma de validação da efetividade do sistema de classificação, os vinte registros retirados aleatoriamente foram classificados de acordo com os valores definidos nos passos anteriores. A análise da matriz de confusão para os resultados apresentou valores de acurácia de 0,75, precisão de 0,69, recall de 0,90 e um f-score global de 0,78.

Métodos de Inteligência Artificial (IA) têm sido aplicados com sucesso na indústria em tarefas de monitoramento de corrosão; estes, computacionalmente intensos, normalmente construídos com base em Redes Neurais Artificiais (RNAs) ou, quando mais detalhados, por meio de algoritmos de Aprendizagem Profunda.

Ao contrário das técnicas de IA aplicadas, o modelo trabalhado aqui não lida com padrões, mas trabalha diretamente com características encontradas na própria imagem sendo, por tanto, um classificador mais simples, porém mais rápido. Neste caso, o uso da LP é

extremamente positivo, visto esta considerar a contradição como um dado relevante e, portanto, ser capaz de minimizar os efeitos das incertezas.

Conclusões

Neste trabalho foi apresentada a utilização de uma RAP na análise de imagens originadas de fotografias de materiais metálicos com o objetivo de realizar uma classificação binária delas para a presença ou ausência de ferrugem com um nível elevado de acurácia a partir da seleção de parâmetros ótimos, apresentando taxas de acerto superiores aos resultados análogos encontrados por uma SVM – método bastante difundido e utilizado em processos de classificação.

Ainda que o resultado apresentado seja extremamente positivo, o campo da visão computacional vem evoluindo rapidamente, e isto abre perspectivas interessantes para futuros estudos de aplicações da LP nesta área do conhecimento, através da aplicação de lógicas não-clássicas a inovações aplicadas nos métodos de reconhecimento.

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. Dong, Chuan-Zhi & Catbas, Necati. (2020). A review of computer vision-based structural health monitoring at local and global levels. *Structural Health Monitoring*. 147592172093558. 10.1177/1475921720935585.
3. Diaz, JAI., Ligeralde, MI., Jose, JAC., Bandala, AA. Rust Detection using Image Processing via Matlab. *TENCON 2017 – 2017 IEE Region 10 Conference*. Páginas 1327-1331. Novembro, 2017.
4. Li, YD., Kontsos, A., Bartoli, I. Automated Rust-Defect Detection of a Steel Bridge Using Aerial Multispectral Imagery. *Journal of Infrastructure Systems*. Volume 25. Edição 2. Número do artigo 04019014. Junho, 2019. 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000488.
5. Gallion, JR., Zoughi, R. Millimeter-Wave Imaging of Surface-Breaking Cracks in Steel With Severe Surface Corrosion. *IEEE Transactions On instrumentation and Measurement*. Volume 66. Edição 10. Páginas 2789-2791. Outubro, 2017. 10.1109/TIM.2017.2735658.
6. Elbeheri, A., Zayed, T. Automated Steel Bridge Coating Inspection using Neural Network Trained Image Processing. *Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges*. 9th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IBAMAS). Páginas 2545-2551. Julho, 2018.
7. Patel, DR., Thakker, H., Kiran, MB., Vakharia, V. Surface Roughness Prediction of Machined Components Using Gray Level Co-occurrence Matrix and Bagging Tree. *FME Transactions*. Volume 48. Edição 2. Páginas 468-475. 2020. 10.5937/fme2002468P.
8. Srivastava, D., Rajitha, B., Agarwal, S., Singh, S. Pattern-based image retrieval using GLCM. *Neural Computing & Applications*. Volume 32. Edição 15. Páginas 10819-10832. Agosto, 2020. 10.1007/s00521-018-3611-1.
9. Garg, M., Dhiman, G. A novel content-based image retrieval approach for classification using GLCM features and texture fused LBP variants. *Neural Computing & Applications*. Junho, 2020. 10.1007/s00521-020-05017-z.
10. Ma, L; Li, MC; Ma, XX; Cheng, L; Du, PJ; Liu, YX. A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Volume 30. Páginas 277-293. Agosto, 2017. 10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001
11. Wen, L; Li, XY; Gao, L; Zhang, YY. A New Convolutional Neural Network-Based Data-Driven Fault Diagnosis Method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Volume 65. Edição 7. Páginas 5990-5998. Julho, 2018. 10.1109/TIE.2017.2774777.