

Classificação automática e sem supervisão de rodas poligonizadas em veículos ferroviários de mercadorias com base num sistema de monitorização do lado da via

A Guedes¹, R Silva¹, D Ribeiro^{1,2}, C Vale¹, A Meixedo¹, A Mosleh¹, P Montenegro¹

¹CONSTRUCT-iRAIL, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, R. Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

²iBuilt, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto., R. Dr. António Bernardino de Almeida, 4249-015 Porto, Portugal

1. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia de classificação automática e sem supervisão de rodas poligonizadas num veículo ferroviário de mercadorias do tipo Laagrss. Para tal, foi adotado um modelo numérico de interação veículo-via para simular a passagem de um veículo sobre um sistema virtual de monitorização do lado da via composto por um conjunto de dois acelerómetros localizados nos carris. De seguida, com base nos dados numéricos adquiridos, foi realizada a extração de indicadores sensíveis ao efeito da roda poligonizada, utilizando a análise de componentes principais (ACP) e transformadas wavelet (TWC). Posteriormente, foram utilizadas técnicas de normalização de dados em relação aos fatores operacionais (baseadas em ACP). Por fim, a análise de Clusters permitiu a classificação da severidade do dano. A metodologia proposta mostrou-se eficaz na classificação de rodas poligonizadas relativamente a diferentes ordens de harmónicos e amplitudes de dano, com resultados bastante satisfatórios.

2. Metodologia para a classificação da poligonização das rodas

A metodologia baseada em Inteligência Artificial (IA) para a classificação automática de rodas poligonizadas é não supervisionada o que permite uma classificação dos dados de saída sem necessidade de uma rotulagem dos dados à priori, tal não seria possível com base num método supervisionado. A metodologia compreende seis etapas: (i) aquisição de dados captados por acelerómetros, (ii) transformação das respostas no domínio do tempo para o domínio da frequência usando uma FFT, (iii) extração de indicadores ACP e TWC de forma separada com base no registo de dois acelerómetros; o ACP é adequado para classificação em função da ordem dos harmónicos e o TWC para classificação da amplitude do defeito, (iv) normalização dos indicadores relativamente às variações operacionais operacionais com base na APC, (v) fusão de dados através da aplicação de distâncias de Mahalanobis (DM). Com base na DM, os indicadores de cada sensor são fundidos: primeiro nível de fusão. Além disso, os dados relativos a cada sensor são fundidos entre si aplicando uma nova DM: Segundo nível de fusão, (vi) para a classificação dos indicadores, é proposto uma análise de clusters que visa agrupar o conjunto de dados em diferentes grupos de acordo com o tipo de perfil poligonal e amplitude de dano. Neste estudo, é adotada a técnica de *clusters k-means*, utilizando a distância *city-block*.

5. Resultados

A classificação automática e sem supervisão das rodas poligonizadas é realizada por uma análise de clusters com base no algoritmo *k-means*.

Os diferentes *clusters* de dados gerados automaticamente e ilustrados na Figura 1 mostram a eficácia da metodologia proposta para a classificação das diferentes simulações com rodas poligonizadas. Os resultados são avaliados para um conjunto de 2 sensores (1 em cada lado) localizados no carril no meio vão entre duas travessas. A metodologia apresenta resultados muito bons na classificação dos grupos com e sem dano. Além disso, com base no modelo ACP, a metodologia consegue classificar em função do tipo de harmónicos

poligonais (Figura 1a), assim como, com base no modelo TWC, classificar em função da amplitude do dano (Figura 1b). Os resultados obtidos apresentam uma eficácia numérica de 100% em todos os casos, não sendo visíveis nenhum caso de falsos positivos e negativos.

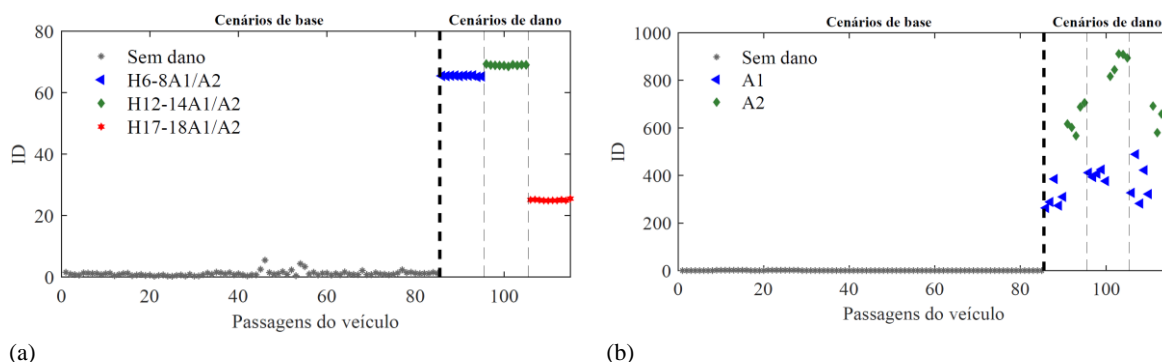


Figura 1. Análise de clusters para: (a) classificação baseada em harmónicos utilizando o modelo ACP e (b) classificação baseada em amplitude utilizando o modelo TWC.

6. Conclusões

Este trabalho propõe uma metodologia automática baseada em IA que pode classificar com precisão diferentes tipos de danos poligonais em rodas de veículos ferroviários de mercadorias. A metodologia compreende a utilização de duas técnicas de extração de indicadores por forma a transformar os registos de aceleração em indicadores sensíveis para a classificação de rodas poligonizadas, uma constituída pelo método ACP e a outra baseada no modelo TWC.

O método ACP demonstra ser a técnica de extração de indicadores mais eficaz para classificar rodas poligonizadas baseadas em harmónicos, com uma distinção clara, sem qualquer erro de identificação dos diferentes tipos de perfis de rodas poligonizadas. Os indicadores extraídos com base no modelo TWC provam ser mais sensíveis às amplitudes do dano, independentemente do tipo de perfil da roda poligonizada, demonstrando-se ser muito robusto para a classificação entre diferentes amplitudes do dano, sem qualquer falsa classificação.

Como desenvolvimentos futuros, a metodologia proposta será validada através de testes experimentais com base em medições no local.

Agradecimentos. Este trabalho foi suportado financeiramente pela Financiamento Base-UIDB/04708/2020 e Financiamento Programático-UIDP/04708/2020 do CONSTRUCT - Instituto de Estruturas e Construções, financiado por fundos nacionais através do FCT/MCTES (PIDDAC); e pela bolsa n.º2024.03922.BD, Bolsa de Investigação de Doutoramento financiada pela FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia). O artigo reflete a pesquisa desenvolvida no âmbito do projeto Way4SafeRail, NORTE-01-0247-FEDER-069595, financiado pela Agência Nacional de Inovação S.A., program P2020|COMPETE – Projetos em Copromoção.