

## Kombinirani model za ocenjevanje stanja strojev na osnovi tehnike Isomap in globoke verjetnostne mreže

Aijun Yin<sup>1</sup> – Juncheng Lu<sup>1,\*</sup> – Zongxian Dai<sup>2</sup> – Jiang Li<sup>1</sup> – Ouyang Qi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Chongqing univerza, Kolidž za strojništvo, Državni laboratorij za mehanske prenose, Kitajska

<sup>2</sup> Chongqing akademija za meroslovje in kakovost, Kitajska

<sup>3</sup> Chongqing univerza, Kolidž za avtomatizacijo, Kitajska

Nadzor in vrednotenje trendov degradacije nekaterih ključnih strojnih delov kot so ležaji omogoča odpravo degradirane zmogljivosti ali napak še pred okvaro stroja. Ker pa količine zbranih podatkov o strojih postajajo vse obilnejše in ker so vse strožje tudi zahteve glede hitrosti in točnosti vrednotenja stanja strojev, tradicionalne metode ne jamčijo več za učinkovito delo.

Isomap kot tehnika za nelinearno globalno transformacijo dimenzionalnosti poišče rešitev preslikave z vrsto pretvorb, ki omogočijo predstavitev geodezične razdalje med vhodnimi točkami v izvirnem prostoru z evklidsko razdaljo v prostoru projekcije. Globoka verjetnostna mreža (DBN) kot probabilistični generativni model, ki uspešno zajema značilne informacije v surovih podatkih z raznimi nelinearnimi transformacijami in kompleksnimi aproksimativnimi nelinearnimi funkcijami, je primerno orodje za vrednotenje stanja strojev. Po primerjavi in analizi pomanjkljivosti obstoječih metod je v članku predstavljen novi kombinirani model vrednotenja (CAM), ki združuje WPT, Isomap in DBN za vrednotenje stanja obravnavanega stroja (oz. njegovih kotalnih ležajev).

Podatki o pospešeni degradaciji ležajev so bili zbrani s preizkušanjem ležajev pod stalno obremenitvijo do odpovedi na posebnem preizkuševališču, ki so ga izdelali na Univerzi v Cincinnatiju. Zaradi nestacionarnosti signalov vibracij, zbranih na strojih, in za odpravo naključnih dejavnikov so bile uporabljene klasične (analiza v časovni in frekvenčni domeni) in sodobnejše metode za določanje značilnosti (paketna valčna transformacija (WPT)). Po izboru je bilo izluščenih 11 originalnih značilnosti v časovni domeni (kot sta temenski faktor in vršna vrednost), 13 originalnih značilnosti kot sta standardna deviacija frekvence in koeficient sploščenosti, ter 14 originalnih značilnosti WPT. Nato je bila uporabljena tehnika Isomap za pretvorbo visokodimenzijskega originalnega polja značilnosti  $9810 \times 38$  v nizkodimenzijsko polje  $9810 \times 6$ , ki vsebuje več reprezentančnih značilnosti. Sledilo je učenje postavljenih modelov DBN z RBM po algoritmu kontrastivne divergence (CD). Po vrsti eksperimentov se je pokazalo, da je najboljši delovni model za vrednotenje stanja stroja DBN s petimi skritimi nivoji in arhitekturo 100–100–50–50–50. Pridobljeno šestdimenzijsko polje značilnosti je bilo vneseno v naučeno DBN za vrednotenje delovanja ležajev. Za celovito primerjavo in osvetlitev prednosti predlagane metode sta bili za izvedbo istih eksperimentov uvedeni tudi dve drugi priljubljeni metodi za zmanjšanje dimenzionalnosti (PCA in Laplaceove lastne mape) in dva pametna algoritma (HMM in nevronska mreža z vzratnim postopkom učenja (BPNN)). Primerjalni eksperimenti so dokazali, da je predlagani model CAM občutljivejši na začetne napake v kotalnih ležajih in učinkovitejši pri vrednotenju degradacije ležajev. Zaznal je prve znake degradacije v točki 530, razpoke in utrujenostno luščenje ter nekatere druge resne napake v točki 700, ter popolno odpoved po točki 940. To je v skladu z dejanskimi pogoji obratovanja ležajev.

CAM bi bilo mogoče v prihodnjih raziskavah uporabiti tudi pri vrednotenju ali klasifikaciji na drugih področjih, med drugim tudi za določevanje občutljivejših značilnosti vibracijskih signalov in za optimizacijo modela vrednotenja.

**Ključne besede:** Isomap, zmanjšanje dimenzionalnosti, globoko verjetnostno omrežje (DBN), stanje stroja, kombinirani model vrednotenja (CAM)

\*Naslov avtorja za dopisovanje: hongqing univerza, Kolidž za strojništvo, Državni laboratorij za mehanske prenose, Chongqing 400044, Kitajska, lj66mail@163.com