



A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2017

EFICIENȚA DIFERIȚILOR ESTIMATORI AI DISIMILARITĂȚII UTILIZAȚI ÎN DETECTAREA DEFECTELOR

Ionela PELEA, Nicoleta GILLICH, Gilbert-Rainer GILLICH

THE EFFICIENCY OF SEVERAL DISSIMILARITY ESTIMATORS USED IN DAMAGE DETECTION

This paper deals with damage detection methods based on interpreting the results of vibration measurement. We briefly described an own method for damage evaluation, which takes into account a large number of frequencies achieved from weak axis bending modes. This allows the precise location of the defect location. We represented two histogram types, one with measurements and several resulted from calculations for possible damage scenarios. The damage location was determined with three estimators, among those the best results being attained with the Minkowski distance.

Keywords: damage, severity assessment, natural frequencies, vibration

Cuvinte cheie: defecte, evaluarea severității, frecvențe naturale, vibrații

1. Introducere

Evaluarea defectelor de structură, în special bazate pe metode globale, prezintă un mare interes pentru inginerii practicieni. Aceștia evidențiază integritatea structurii pe baza examinării modificărilor dinamice la răspunsul excitației sau comportamentul static sub sarcină. Metodele dinamice prezentate în literatura de specialitate [1,2] sunt

bazate pe următorii parametri modali: frecvențele naturale, formele modale, curbura modală și matricea de rigiditate.

Ideea este de a găsi anumiți indicatori ai defectelor care sunt sensibili la schimbările structurale. Se compară parametrii modali ai stării normale cu cei ai structurii presupus defecte, prin intermediul tehnicilor de recunoaștere [3-6] sau pentru a schimba parametri unui model în concordanță cu măsurătorilor efectuate pe structura afectată și identificarea elementelor din model care se modifică [7-10].

Cercetările anterioare elaborate de autorii acestui studiu conduc la o relație matematică care exprimă modificările de frecvență din cauza deteriorării structurii legate de poziția defectelor și severitatea acestora. Această lucrare prezintă o analiză a unor estimatori de disimilaritate implicați în localizarea automată defectelor, din care distanța Minkowski a dat rezultatele cele mai precise.

2. Metode pentru detectarea locațiilor la defecte

În cercetările anterioare [11],[12] am obținut soluția exactă pentru modificările de frecvență din cauza defectelor din grinzi, pentru orice mod de vibrație transversală și tip de suport al grinzii. Se face posibilă exprimarea frecvenței pentru modul i a grinzii defecte cu o fisură de adâncime a plasată la o distanța x de capăt, notată $f_{i-D}(x, a)$, în funcție de frecvența grinzii intacte $f_{i-U}(x, a)$ și doi termeni care controlează adâncimea și poziția defectului. Această relație este:

$$f_{i-D}(x, a) = f_{i-U} \left\{ 1 - \gamma(a) \left[\bar{\phi}_i''(x) \right]^2 \right\} \quad (1)$$

unde severitatea defectului $\gamma(a)$ reprezintă reducerea rigidității calculată în funcție de locația în care momentul are valoarea maximă (de exemplu pentru o grindă în consolă este la capătul încastrat) și $\bar{\phi}_i''(x)$ este curbura modală normalizată, care influențează reducerea rigidității în funcție de poziția defectului și forma modală.

Din relația (1) se poate calcula modificarea relativă frecvenței:

$$\Delta f_{i-D}(x, a) = \frac{f_{i-U} - f_{i-D}(x, a)}{f_{i-U}} = \gamma(a) \left[\bar{\phi}_i''(x) \right]^2 \quad (2)$$

Pentru orice locație x_j pe grindă putem obține valorile modificării relative a frecvenței pentru n moduri de vibrație. Normalizând valorile obținute cu termenul prin împărțirea acestora unul

câte unul la cea mai mare valoare a seriei, obținem coeficienții de localizare a defectelor (DLC), care sunt:

$$\Phi_i(x_j) = \frac{\Delta f_{i-D}(x_j, a)}{\max \{ \Delta f_{1-D}(x_j, a) \dots \Delta f_{n-D}(x_j, a) \}} = \frac{[\bar{\phi}_i''(x_j)]^2}{\max \left\{ [\bar{\phi}_1''(x_j)]^2 \dots [\bar{\phi}_n''(x_j)]^2 \right\}} \quad (3)$$

unde $i = 1 \dots n$ și $j = 1 \dots m$.

Se observă că DLC depind numai de curbura modală, deoarece $\gamma(a)$ este independentă de locația x și prin urmare efectul severității este eliminat prin normalizare. O serie de coeficienții de localizare a defectelor DLC pentru o poziție a defectului se numește indicator de localizare a defectelor (DLI). Un DLI poate fi reprezentat printr-o histogramă. DLI caracterizează în mod unic poziția adimensională x/L a unui defect. În figura 1 se prezintă exemple de DLI pentru grinda în consolă.

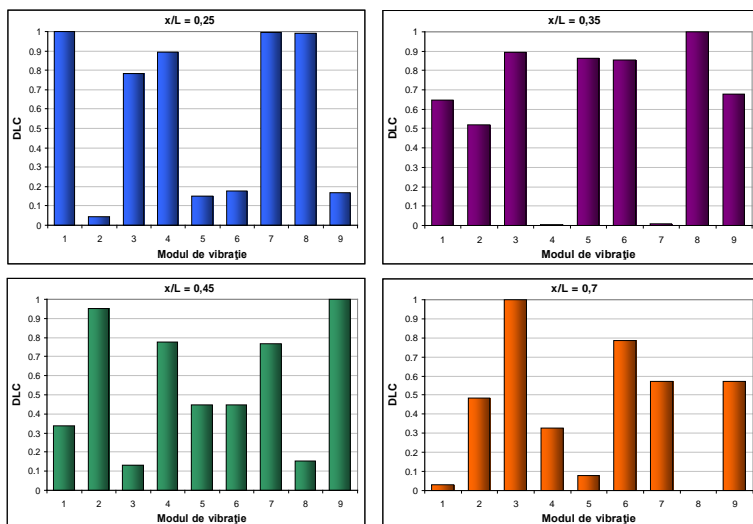


Fig. 1 Histograme pentru defecte situate într-o consolă a grinzii plasată la: $x/L = 0,25$; $x/L = 0,35$; $0,3$; $x/L = 0,45$ și respectiv $x/L = 0,7$

Să ne imaginăm că obținem modificarea relativă a frecvenței prin prelucrarea datelor din măsurători pentru n moduri de vibrație.

Această serie de n valori determinate de termenul stâng al relației (2) pot fi normalizate prin împărțirea la valoarea maximă a seriei, obținând:

$$\Psi_i = \frac{\Delta \hat{f}_{i-D}(x, a)}{\max \{ \Delta \hat{f}_{1-D}(x, a) \dots \Delta \hat{f}_{n-D}(x, a) \}} \quad (4)$$

semnul plasat deasupra frecvenței, $\Delta \hat{f}_{i-D}$, indică valori obținute din măsurători. Din nou, ca și în cazul DLI, efectul severității defectului este anulat prin normalizare.

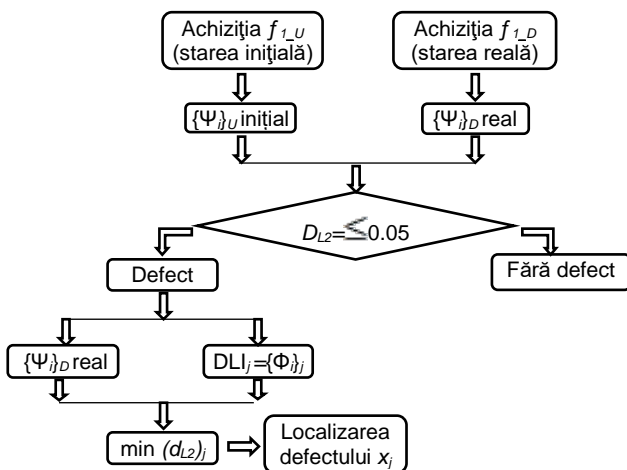


Fig. 2 Algoritm de localizare al defectelor

Putem compara rezultatele seriei obținute din relația (4), cu termenii fiecărui DLI, obținuți din relația (3). Coordonata j pentru care cele două histogramme $\Psi = \{\Psi_1 \dots \Psi_n\}$ și $\Phi_j = \{\Phi_1(x_j) \dots \Phi_n(x_j)\}$ sunt similare indică locația defectului. Algoritmul este descris în figura 2.

3. Testarea estimatorilor disimilarității utilizați la recunoașterea automată a locației defectului

Histograma $\Psi = \{\Psi_1 \dots \Psi_n\}$ este o reprezentare a datelor exclusiv pozitive pe n coloane. Există numeroase măsuri pentru evaluarea disimilarității între două histogramme Ψ și Φ .

Comparația se face pe coloane, adică se compară Ψ_i cu $\Phi_i(x_j)$ pentru toate cazurile $j = 1 \dots m$, dar nu și Ψ_i cu $\Phi_{i+1}(x_j)$.

În tabelul 1 se prezintă cei mai uzuali estimatori [15].

Tabelul 1

Distanța Minkowski	$d_{L_r}(\Psi, \Phi) = \left(\sum_i \Psi_i - \Phi_i ^r \right)^{\frac{1}{r}}$
Intersecția Histogramelor	$d_{\text{int}}(\Psi, \Phi) = 1 - \frac{\sum_i \min(\Psi_i, \Phi_i)}{\sum_i \Psi_i}$
Divergența Kullback-Leibler	$d_{\log}(\Psi, \Phi) = \sum_i \Psi_i \log \frac{\Psi_i}{\Phi_i}$

Mai întâi am testat acuratețea obținută prin utilizarea distanței Minkowski, pentru cazurile $r=2$, $r=3$ și $r=4$. Simularea a fost efectuată pentru o locație a defectelor situate la $x/L=0,35$. Din graficul prezentat în figura 3 se poate remarca faptul că acest estimator indică corect poziția defectului pentru grinda în consolă, oricare este valoarea lui r . Cea mai scăzută valoare a distanțelor Minkowski este obținută prin utilizarea $r=4$.

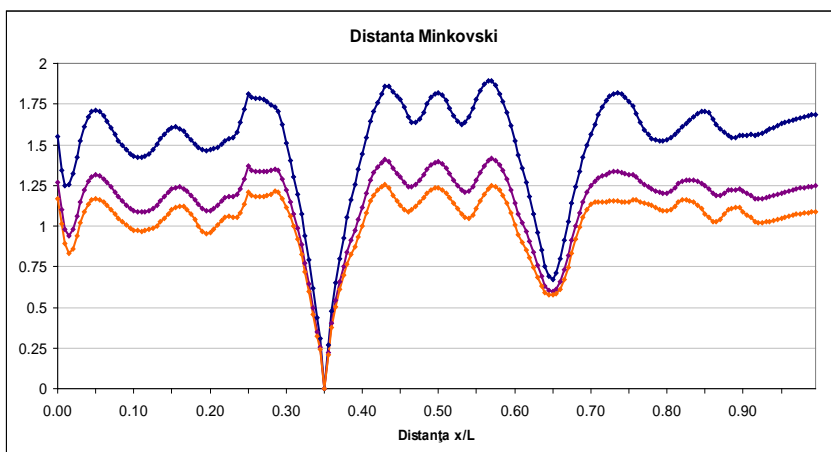


Fig. 3 Diagrama disimilarității pentru distanțele Minkowski $r=2$, $r=3$ și $r=4$

Apoi au fost testați ceilalți doi estimatori de disimilaritate, obținând graficele prezentate în figurile 4 și 5. Se poate observa că pentru grinda în consolă, Divergența Kullback-Leibler indică poziția defectului, dar prezintă și poziții false ale acestuia la capătul încastrat.

Acest lucru se observă și la Intersecția Histogramelor pentru cazuri particulare ale defectului.

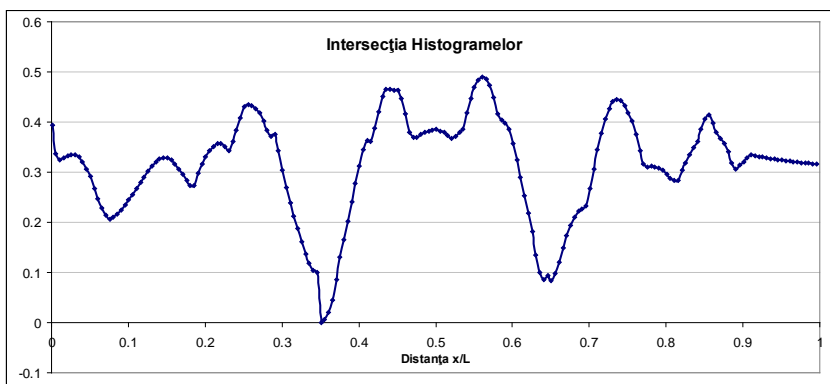


Fig. 4 Diagrama disimilarității pentru Intersecția Histogramelor

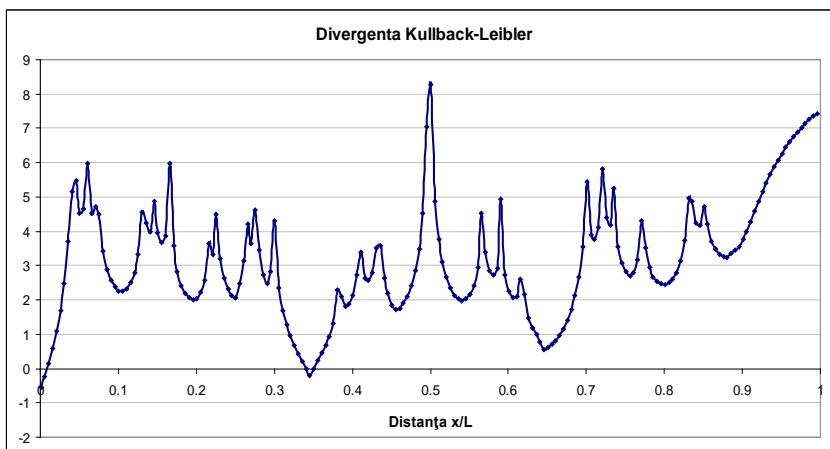


Fig. 5 Diagrama disimilarității pentru divergențele Kullback-Leibler

Analizând rezultatele, se poate concluziona că dintre toți estimatorii studiați, distanța Minkowski pare a fi cea mai fiabilă.

4. Concluzii

■ Lucrarea propune o metodă de evaluare a defectelor în grinzi, pe baza modificărilor frecvențelor naturale. Aceasta constă în

compararea modificărilor relative a frecvențele cu indicatorii defectelor calculați pe baza relației (3); acest lucru se poate realiza folosind mai mulți estimatori de disimilaritate.

■ Cercetările au demonstrat faptul că distanța Minkowski este stabilă și permite o evaluare precisă a defectelor, chiar și atunci când rezultatele măsurătorilor sunt afectate de erori, în timp ce Intersecția Histogramelor și divergența Kullback-Leibler furnizează predicții ambigue, chiar și în cazul măsurătorilor precise.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Doebling, S.W., Farrar, C.R., Prime, M.B., *A summary review of vibration-based damage identification methods*, Shock and Vibration Digest, 30(2), 1998, 91-105.
- [2] Gillich, G.R., Birdeanu, E.D., Gillich, N., Amariei, D., Iancu, V., Jurcau, C.S., *Detection of damages in simple elements*, Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium, Book Series: Annals of DAAAM and Proceedings 20 (2009) 623-624.
- [3] Zhu, X.Q., Law, S.S., Jayawardhan, M., *Experimental study on Statistical Damage Detection of RC Structures based on Wavelet Packet Analysis*, Journal of Physics: Conference Series 305 (2011) Paper: 012107.
- [4] Chou, J.H., Ghaboussi, J., *Genetic algorithm in structural damage detection*, Computers & Structures, 79(14) (2001) 1335–1353.
- [5] Cheung, A., Cabrera, C., Sarabandi, P., Nair, K.K., Kiremidjian, A., Wenzel H., *The application of statistical pattern recognition methods for damage detection to field data*, Smart Mater. Struct. 17 (2008) 065023.
- [6] Pourhoseini, Nejad, S.M., Ghodrati Amiri, Gh.R., Asadi, A., Afsharid, E., Tabrizian, Z., *Damage detection of skeletal structures using particle swarm optimizer with passive congregation (PSOPC) algorithm via incomplete modal data*, Comp. Meth. Civil Eng., 3(1) (2012) 1-13.
- [7] Sinou, J.-J., *A Review of Damage Detection and Health Monitoring of Mechanical Systems from Changes in the Measurement of Linear and Non-linear Vibrations*, in: Robert C. Sapri (Ed.), Mechanical Vibrations: Measurement, Effects and Control, (2009) 643-702.
- [8] Farrar, C.R., Jauregui, D.A., *Comparative Study of Damage Identification Algorithms Applied to a Bridge: I Experiment*, Smart Materials and Structures, 7 (1998) 704–719.
- [9] Jena, P.K., Thatoi D.N., Nanda J., Parhi D.R.K., *Effect of damage parameters on vibration signatures of a cantilever beam*, Procedia Engineering 38 (2012) 3318 – 3330.
- [10] Koh, C.G., Perry, M.J., *Structural Identification and Damage Detection using Genetic Algorithms*, Structures and Infrastructures Book Series, Vol. 6, CRC Press, 2009.
- [11] Gillich, G.R., Praisach, Z.I., *Robust method to identify damages in beams based on frequency shift analysis*, Conference on Health Monitoring of

Structural and Biological Systems, San Diego, CA, March 12-15, 2012, Article Number: 83481D.

[12] Gillich, G.R., Praisach, Z.I., *Robust method to identify damages in beams based on frequency shift analysis*, Conference on Health Monitoring of Structural and Biological Systems, San Diego, CA, March 12-15, 2012, Article Number: 83481D.

[13] Gillich, G.R., Praisach, Z.I., Onchis, D.M., *About the effectiveness of damage detection methods based on vibration measurements*, 3rd WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology/International Conference on Geography and Geology Corfu Island, Greece, Jul 22-24, 2010, 204-209.

[14] Onchis-Moaca, D., Gillich, G.R., Frunza, R., *Gradually improving the readability of the time-frequency spectra for natural frequency identification in cantilever beams*, 2012 Proceedings of the 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) Book Series: European Signal Proceedings Conference (2012) 809-813.

[15] Rubner, Y., Tomasi, C., Guibas, L.J., *The Earth Mover's Distance as a Metric for Image Retrieval*, International Journal of Computer Vision 40(2), (2000) 99–121.

[16] Gillich, G.R., Praisach, Z.I., Onchis, D.M., Gillich, N., *How to correlate vibration measurements with FEM results to locate damages in beams*, 3rd WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology/International Conference on Geography and Geology Corfu Island, Greece, Jul 22-24, 2010, 76-81.

Drd.Ing. Ionela PELEA
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, membru AGIR
e-mail: i.pelea@uem.ro

Prof.Univ.Dr.Ing Nicoleta GILLICH
Director Editura Eftimie Murgu
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, membru AGIR
e-mail: n.gillich@uem.ro

Prof.Univ.Dr.Ing.Ec. Gilbert-Rainer GILLICH
Director CSUD,
Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița, membru AGIR
e-mail: gr.gillich@uem.ro