

ELECTROMECHANICAL IMPEDANCE-BASED DAMAGE DETECTION AND LOCALIZATION EMPLOYING DATA FUSION TECHNIQUES

Shishir Kumar Singh

Streszczenie

Prowadzone są aktywne badania w obszarze monitorowania stanu technicznego (ang. SHM – structural health monitoring) lekkich konstrukcji w celu wykrywania uszkodzeń o niewielkich rozmiarach. System SHM powinien być ekonomicznie efektywny, odpowiedni do ciągłego monitorowania i zdolny do wykrywania niewielkich uszkodzeń w zmiennych warunkach otoczenia. Metoda impedancji elektromechanicznej (ang. EMI – electromechanical impedance) wykazuje zdolność do wykrywania uszkodzeń. Ponadto, ze względu na pracę w zakresie wysokich częstotliwości, metoda jest odporna na szумы otoczenia. Technika EMI została zastosowana do wykrywania i klasyfikacji uszkodzeń w lekkich konstrukcjach ze względu na możliwość wykrywania uszkodzeń niewielkich rozmiarów. Jednakże, opracowanie metody przetwarzania danych, która jest wrażliwa nawet na powierzchniowe uszkodzenia jest trudnym zadaniem.

Niniejsza praca skupia się na zwiększeniu wydajności oceny uszkodzeń dla struktur wykonanych z materiałów metalowych, kompozytowych, a nawet dla skomplikowanych struktur powstających w wyniku drukowania 3D, dla różnych przypadków uszkodzeń z wykorzystaniem rozmaitych technik fuzji danych. Po pierwsze, zbadano i porównano szeregowo i równoległe połączenia czujników dla uszkodzonej stalowej belki dla zmiennych warunków temperaturowych. Połączenie równoległe wykazało przewagę nad pojedynczymi i szeregowymi połączeniami przetworników w warunkach zmiennej temperatury otoczenia, przy jednoczesnym skróceniu czasu pomiaru detekcji uszkodzeń. Po drugie, w pracy wprowadzono nowatorską skaloną wielkość F na podstawie danych rezystancji (R) i konduktancji (G) czujnika w wybranym paśmie częstotliwości. Zastosowano ją do kwantyfikacji i klasyfikacji uszkodzeń w konstrukcjach wykonanych z materiałów metalowych i kompozytowych. Nowa parametr został następnie oceniony w różnych warunkach uszkodzenia przy użyciu ustalonych wskaźników, takich jak wskaźnik odchylenia średniokwadratowego (RMSD), średnie bezwzględne odchylenie procentowe itp. Następnie, zintegrowane podejście wspólnego poziomu odniesienia zostało wykorzystane do wykrywania uszkodzeń i klasyfikacji w technice EMI. Analiza głównych składowych (ang. PCA - principal component analysis) została przeprowadzana dla danych z sieci czujników, a odpowiedni indeks uszkodzenia jest obliczany w celu zbadania informacji o impedancji ($|Z|$), admitancji ($|Y|$), R i G przetwornika piezoelektrycznego w dziedzinie częstotliwości. Zaproponowano nowe, zoptymalizowane podejście do fuzji danych, które zostało zrealizowane na poziomie czujników przy użyciu PCA oraz na poziomie zmiennych przy użyciu map samoorganizujących się (ang. SOM - self-organizing maps). W procesie tym, scentralizowany bazowy wektor własny połączonych danych jest przygotowywany dla pomiarów referencyjnych, a dane odpowiadające stanowi uszkodzonemu są rzutowane na ten model bazowy. Statystyczne, oparte na danych metryki

uszkodzeń są obliczane i porównywane ze wskaźnikiem RMSD i wykorzystywane w klasyfikacji danych opartej na fuzji przy użyciu SOM. Badania porównawcze SOM zrealizowano przy użyciu statystyki Q i statystyki T^2 Hotellinga. Proponowana metodologia została przetestowana i walidowana dla płyty aluminiowej z wieloma otworami o różnej wielkości i lokalizacji. Metoda wykazuje znaczny wzrost czułości na uszkodzenia dla lokalizacji otworów i wielkości otworów niezależnie od stosowanego zakresu częstotliwości. Po trzecie, w niniejszej rozprawie zaimplementowano lokalizację z wykorzystaniem zmodyfikowanej funkcji wagi prawdopodobieństwa.

Porównawcza metoda obrazowania uszkodzeń została zastosowana do płyty kompozytowej z uszkodzeniem udarowym dla wielkości F będącej fuzją G i R, bezpośrednio sprzężonej impedancji mechanicznej (z ang. DCMI - direct-coupled mechanical impedance) i znormalizowanej sygnatury G. Podejście jest dalej rozszerzone do jednoczesnego wykrywania wielu uszkodzeń przy użyciu sieci czujników i stosowane do lokalizacji uszkodzeń w płycie z akrylonitrylu butadienu styrenu (ABS). Wyniki pokazują, że zaproponowany algorytm rzeczywiście działa i poprawia lokalizację uszkodzeń przy użyciu techniki EMI. Ponadto, przy użyciu metodologii analitycznej stworzono bazę danych wskaźników uszkodzeń dla licznych sytuacji uszkodzeń. Na podstawie kilku dopasowań stworzono model analityczny dla powiązania odległości i kąta ze wskaźnikiem uszkodzenia (liniowy i wykładniczy). Scenariusz uszkodzeń o najniższym błędzie wskaźnika uszkodzeń jest określany poprzez porównanie wskaźników uszkodzeń otrzymanych z eksperymentów z tą bazą danych. Wyniki pokazują, że zaproponowany algorytm działa i poprawia lokalizację uszkodzenia przy użyciu techniki EMI.

Jednakże wymagającym zadaniem w metodzie EMI jest wybór właściwych zakresów częstotliwości. Aby rozwiązać ten problem, do wyboru efektywnych zakresów częstotliwości zastosowano innowacyjne podejście oparte na odchyleniu standardowym. Nowatorski charakter podejścia oparty jest na różnicy pomiędzy danymi dotyczącymi stanu nieuszkodzonego i uszkodzonego. Ponadto, wprowadzono wskaźnik C oparty na fuzji danych do wykrywania i klasyfikacji uszkodzeń przy użyciu danych analitycznych i eksperymentalnych w tym efektywnym zakresie częstotliwości. Zastosowanie tego wskaźnika dla czterech próbek wykonanych z metalu i kompozytów z różnymi scenariuszami uszkodzeń zademonstrował skuteczność metody. Metoda jest odpowiednia do jednoczesnej identyfikacji miejsca i stopnia uszkodzenia.