

Bogdan ŻÓLTOWSKI

e-mail: bogzol@utp.edu.pl

Wydział Inżynierii Mechanicznej, UTP Bydgoszcz

Analiza danych pomiarowych – miar stanu

Wstęp

Rozwój technik wirtualnych umożliwia wiele nowych rozwiązań w zakresie modelowania, symulacji oraz pozyskiwania i przetwarzania informacji diagnostycznej. Niektóre z tych możliwości sygnałnie przedstawiono w tym artykule, a dotyczy to przetwarzania sygnałów, optymalizacji statystycznej wyników i wnioskowania diagnostycznego.

Rola i znaczenie diagnostyki technicznej w każdej z faz istnienia maszyny jest bardzo istotna i ukazana została w licznych opracowaniach na tle zadań spełnianych przez wytwór w poszczególnych strategiach eksploatacji [2–6]. Ocena stanu technicznego maszyn za pomocą generowanych przez nie procesów fizycznych wymaga pozyskania istotnych informacji o stanie oraz właściwego skojarzenia parametrów funkcjonalnych ocenianego obiektu ze zbiorem miar i ocen procesów wyjściowych.

W diagnostyce maszyn badania ewolucji stanu technicznego konkretnego obiektu, która zachodzi w cyklu życia i czasie $0 \leq \theta \leq \theta_b$, wyznaczanym przez kolejną planowaną lub wymuszoną odnowę obiektu w θ_b , stanowią podstawę wielu poczynań naukowych. Diagnostyczną obserwację zaawansowania zużycia obiektu lub lepiej jego krytycznego podzespołu/elementu, prowadzi się mierząc różne symptomy stanu technicznego i porównując ich wielkość (natężenie, amplitudę) z ustalonymi wcześniej wielkościami dopuszczalnymi – dla konkretnego symptomu i w konkretnym zastosowaniu.

Proces zużywania się obiektu zazwyczaj nie jest jednowymiarowy, a wymiar przestrzeni uszkodzeń (istotny zużyciowo) rośnie wraz ze stopniem skomplikowania konstrukcyjnego maszyny. Zwiększa to radykalnie wymiarowość wektorów stanu, wektorów sygnałów oraz zakłóceń. Informacja diagnostyczna możliwa do pozyskania w badaniach stanu staje się nadmiarowa, skomplikowana wymiarowo i trudna do przetwarzania.

Rzeczywisty przełom w wartościowaniu zawartości i ekstrakcji informacji diagnostycznej z macierzy obserwacji dało dopiero centrowanie i normowanie odczytów symptomów do ich wartości początkowej, czyli dla wzorcowego stanu obiektu bez zużycia ($\theta = 0$).

Dostępna już wielowymiarowa reprezentacja symptomowa stanu technicznego obiektu i możliwość ekstrakcji tej informacji *on-line*, stwarza nowe perspektywy w diagnozowaniu obiektów. Dotyczy to w szczególności nowych lub modernizowanych konstrukcji i nowych uruchomień obiektów innowacyjnych, bez żadnych doświadczeń eksploatacyjnych.

W opracowaniu przedstawiono jako cel, główne problemy redukcji redundancji, oceny pojedynczych miar sygnału diagnostycznego oraz wielowymiarowe przetwarzanie informacji diagnostycznej.

Wstępne przetwarzanie danych

W praktycznych zastosowaniach przygotowanie wstępne pozyskanych z pomiarów danych jest bardzo istotnym etapem w klasyfikacji danych mającym wpływ zarówno na efektywność rozróżniania stanów, szybkość i łatwość budowy oraz uczenia modelu przyczynowo-skutkowego, jak również na jego późniejszą generalizację.

Zarejestrowany sygnał czasowy badanego procesu przeniesiony do arkusza Excel jest podstawą do dalszego przetwarzania, np. w dziedzinie czasu, częstotliwości i amplitud, dając wiele miar umożliwiających dekompozycję sygnału wyjściowego na sygnały poszczególnych rozwijających się uszkodzeń. Na proces decyzyjny składa się ciąg operacji od

momentu zdobycia informacji o stanie maszyny, przez jej gromadzenie i przetwarzanie, aż do momentu wyboru i przekazania ustalonej decyzji do realizacji.

Na początku jednak można wyróżnić trzy typy wstępnego przetwarzania danych: transformacje danych, uzupełnienie wartości brakujących i redukcja wymiarowości.

Transformacje danych

Analizowanie danych doświadczalnych związane jest z występowaniem różnego rodzaju skal pomiarowych, które mogą być symboliczne lub też numeryczne. Systemy przetwarzania informacji diagnostycznej charakteryzują się tym, że najczęściej wszystkie cechy opisujące analizowane obiekty muszą być numeryczne.

W przypadku modeli klasyfikacyjnych używających odległości jako miary podobieństwa bardzo często zdarza się, że poszczególne cechy charakteryzują jakiś stan fizyczny na podstawie różnych wielkości fizycznych, mających różne zakresy wartości, przez co mogą mieć one różny wpływ na odległość. Zastosować tu można kilka transformacji ujednolicejących wpływ poszczególnych cech do wartości odległości. Do najbardziej znanych należy normalizacja oraz standaryzacja.

Normalizacja. Przeprowadzana jest zgodnie z poniższym wzorem:

$$X_N = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (1)$$

gdzie: $x_{i\max}$ jest maksymalną wartością występującą w zbiorze dla i -tej cechy, $x_{i\min}$ minimalną wartością dla i -tej cechy.

W wyniku normalizacji otrzymuje się wektory, których wartości cech są z zakresu $[0, 1]$.

Transformacja ta nie uwzględnia rozkładu wartości danego symptomu, w związku z tym w przypadku wystąpienia kilku symptomów posiadających wartości znacznie różniące się, w wyniku normalizacji następuje ściśnięcie większości wartości w bardzo wąskim przedziale.

Standaryzacja. Wykorzystanie rozkładu wartości w poszczególnych symptomach prowadzi do transformacji zwanej standaryzacją, zgodnej z zależnościami (2).

$$X_S = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i(x)}; \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_j x_j^i$$

$$\sigma_i(x) = \frac{1}{n-1} \sum_j (x_j^i - \bar{x}_i)^2 \quad (2)$$

W wyniku tej transformacji otrzymuje się symptomy, których wartość średnia $x = 0$, natomiast odchylenie standardowe $\sigma = 1$, dzięki czemu wszystkie symptomy mają jednakowy wkład co do wartości informacji.

Stała precyzji – zapewnia bezwymiarowość, bo ma wymiar wielkości mierzonej, zgodnie z zależnością:

$$P_i = \frac{\bar{x}_i}{w_i} \quad (3)$$

Wrażliwość symptomów w_i wraz z wartością średnią ujęte w jedną liczbę zapewniają bezwymiarowość i zakres zmienności:

$$w_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{\bar{x}_i} \quad (4)$$

Zadbanie o możliwość wzajemnego, porównywalnego wagowo rozważania dalszego pozyskanych z pomiarów danych to jeden z ważnych i niezbędnych już na początku kroków do zrealizowania.

Metoda punktu idealnego – OPTIMUM

Mierzone sygnały diagnostyczne w różny sposób odwzorowują przebiegi obserwacji, a pośrednio rozwój uszkodzeń w maszynie. Korzystając z technik optymalizacyjnych można w oparciu o pomiary odległości od punktu idealnego scharakteryzować wrażliwość mierzonych symptomów na zmiany stanu.

Przedstawiony poniżej algorytm umożliwia ocenę pojedynczo opracowywanych (statystycznie) sygnałów diagnostycznych, dając w wyniku listę rankingową ich wrażliwości i przydatności. Kolejne kroki takiego postępowania to:

Wyniki pomiarów dla różnych stanów podlegają ocenie statystycznej za pomocą różnych kryteriów, np.:

- zmienność symptomów:

$$f_1 = \frac{S_j}{\bar{y}} \quad (5)$$

S_j – odchylenie standardowe,

\bar{y} – wartość średnia.

- ocena wrażliwości sygnału na zmiany stanu:

$$w_i = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{\bar{x}_i} \quad (6)$$

- skorelowanie ze stanem technicznym, przebiegiem:

$$f_2 = r(y, w)$$

Dla łatwości rozważań i możliwości prezentacji wyników na płaszczyźnie dwa wybrane wskaźniki jakościowe są wystarczające.

Dokonując dalej maksymalizacji i normalizacji przyjętych wskaźników jakości sygnałów otrzymuje się charakterystyki statystyczne ich wrażliwości (f_1^* , f_2^*), co dalej pozwala wyznaczyć współrzędne punktu idealnego. To umożliwia wyznaczenie odległości poszczególnych miar sygnału od punktu idealnego, zgodnie z zależnością (7):

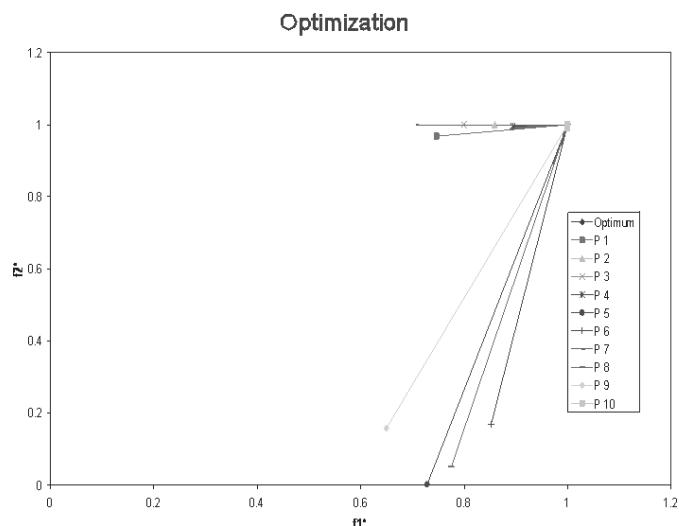
$$L = \sqrt{(1 - f_1^*)^2 + (1 - f_2^*)^2} \quad (7)$$

Ogólne współczynniki wrażliwości (wagi) dla każdego badanego sygnału są wyznaczane z zależności:

$$w_i = \frac{1}{L_i \sum_{i=1}^n L_i}, \text{ gdzie: } \sum w_i = 1 \quad (8)$$

Przedstawiony algorytm można łatwo zrealizować w programie *Excel*, uzyskując uszeregowanie jakościowe mierzonych symptomów. Na rys. 1 przedstawiono końcowy wynik działania opisanego procedury dla przykładowych danych pomiarowych. Punkty odległości poszczególnych miar od punktu idealnego (1,1) wskazują na wrażliwość ocenianych miar sygnału, przy czym punkty leżące najbliżej (1,1) to najlepsze miary.

Mając wyróżnione statystycznie dobre sygnały (lub miary sygnałów) można na nich budować modele przyczynowo-skutkowe na eta-



Rys. 1. Wynik działania metody punktu idealnego – OPTIMUM

pie wnioskowania o stanie. Jakość modelu zależy tu jednak od liczby uwzględnianych miar, co pośrednio w najprostszych modelach regresyjnych można oceniać współczynnikiem determinacji.

Wnioski

Problemy diagnozowania złożonych obiektów technicznych są ciągle rozwijane, a procedury pozyskiwania i przetwarzania informacji diagnostycznej są ciągle doskonalone. W tej pracy omówiono redukcję redundancji dla pojedynczych symptomów stanu, jak i dla wielowymiarowego badania stanu.

Omówiono szczegółowo zaproponowaną nową, prostą i skuteczną metodę oceny wrażliwości pojedynczych miar stanu – metodę OPTIMUM oraz istotę metody SVD. Ta ostatnia jest stosowana i ciągle jeszcze doskonalona dla potrzeb diagnostyki wielowymiarowej.

LITERATURA

- [1] R. D. Bishop, G.M. Gladwell, S. Michaelson: Macierzowa analiza drgań. PWN, Warszawa, 1972.
- [2] C. Cempel: Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, zeszyt 4 (44), 571 (1980).
- [3] F. Morrison: Sztuka modelowania układów dynamicznych. WNT, Warszawa, 1996.
- [4] B. Żółtowski: Badania dynamiki maszyn. ISBN-83-916198-3-4, Bydgoszcz, 2002.
- [5] B. Żółtowski, C. Cempel: Inżynieria diagnostyki maszyn. ITE Radom, 2004.
- [6] B. Żółtowski, H. Tylicki: Wybrane problemy eksploatacji maszyn. Wyd. PWSZ, Piła 2004.

Praca wykonana w ramach projektu POIG nr WND-POIG. 01.03.01-00-212/09.