

System Taguchi Mahalanobisa T jako narzędzie prognostyczne do wykrywania uszkodzeń łożysk tocznych

By kama3 kama3
cze 10, 2025

System Taguchi Mahalanobisa T (System Maguchi (MTS) jako Pr S) jako narzędzie prognostyczne do wykrywania uszkodzeń łożysk tocznych.

W tym artykule przedstawiono nowy schemat wykrywania, izolowania i prognozowania usterek oparty na systemie Mahalanobisa-Taguchiego (MTS). Proponowany schemat oparty na danych wykorzystuje klasteryzację usterek opartą na odległości Mahalanobisa (MD) i progresję wartości MD w czasie. Progi MD uzyskane z analizy klasteryzacji są używane do wykrywania i izolowania usterek. Po wykryciu usterek inicjowany jest schemat prognostyczny, który monitoruje progresję wartości MD. Następnie, przy użyciu przybliżenia liniowego, szacowany jest czas do awarii. Wydajność schematu została potwierdzona za pomocą eksperymentów przeprowadzonych na łożyskach tocznych wewnątrz wrzeciona stanowiska testowego maszyny sterowanej numerycznie mikrokomputerowo (CNC).

Według Grupy Roboczej ds. Niezawodności Silników i Instytutu Badawczego Energii Elektrycznej 1, najczęstszym trybem awarii silników elektrycznych jest awaria łożysk, która stanowi ponad 40% wszystkich awarii maszyn. Dlatego monitorowanie, diagnoza i prognozowanie MDP awarii łożysk jest kluczowe dla niezawodnej pracy urządzeń przemysłowych. Łożyska toczne składają się z czterech oddzielnych części, jak pokazano na rys. 1: 1 rama zewnętrzna, 2 wewnętrzny wałek, 3 klatka i 4 elementy toczne.

Spośród różnych danych sensorycznych powszechnie używanych do celów monitorowania i oceny maszyn, np. drgań, emisji akustycznej, temperatury, siły i momentu obrotowego, sygnały drgań są bezpośrednio powiązane z dynamiką strukturalną maszyny i warunkami pracy.

(Silnik sam w sobie może być czujnikiem drgań i przesyłać sygnał przez zasilacz.)

Całka korelacji częściowej jest stosowana do danych dotyczących drgań łożysk, aby zbadać nieliniową dynamikę układu łożyskowego przez cały okres jego eksploatacji. Układ testowy w artykule obejmuje dwa łożyska pracujące pod

W miarę postępu awarii łożyska, cechy nieliniowe zaczynają być zdominowane przez cechy sygnału stochastycznego. Autorzy wnioskują, że częściowa całka korelacji i wykładnik wymiarowy dostarczają użytecznych informacji diagnostycznych i prognostycznych do monitorowania i wykrywania awarii wewnętrznej i zewnętrznej bieżni łożysk w maszynach obrotowych poprzez analizę złożoności danych dotyczących drgań łożyska.

Udoskonalili technikę rezonansu wysokiej częstotliwości, zwaną również analizą obwiedni, która jest ograniczona przez wymóg pracy łożyska przy stałej prędkości. Jednakże maszyny obrotowe mogą pracować z różnymi prędkościami ze względu na zmieniające się obciążenia, rozbiegi i wybiegi.

(Wyznaczanie parametrów nie w trybie stacjonarnym, lecz w trybach przejściowych.)

W większości przypadków drgania uderzeniowe generowane przez uszkodzenia łożysk wykazują niską energię i mogą być łatwo przytłumione przez hałas o wyższych poziomach energii z innych źródeł drgań, takich jak inne elementy konstrukcyjne badanej maszyny.

Ze względu na dużą różnorodność i złożoność maszyn w środowiskach produkcji przemysłowej, ocena stanu maszyny bezpośrednio z surowych sygnałów drgań lub sygnałów analizowanych w dziedzinie czasu lub częstotliwości może stać się skomplikowana. W niektórych przypadkach może być nawet całkowicie niewykonalna. Wynika to z ograniczeń analiza w aspekcie czasu i częstotliwości.

W związku z tym opracowano różne metody analizy czasowo-częstotliwościowej, w tym transformacje falkowe, w celu przezwyciężenia tych ograniczeń. Tse i in. 12, wykazali zalety falek, wykonując porównanie między podejściem opartym na falkach a szybkim podejściem ED transformacji Fouriera FFT z detekcją obwiedni w oparciu o dane eksperymentalne.

Lou i Loparo 13, zaproponowali nową technikę, która wykorzystuje przekształcenie falkowe połączone z adaptacyjnym neuronowym rozmytym systemem wnioskowania ANFIS. ANFIS to model, który mapuje dane wejściowe przez funkcje przynależności wejściowej MF i powiązane parametry, a następnie przez wyjściowe MF na dane wyjściowe.

Wszystkie dotychczas omówione prace dotyczą monitorowania i diagnostyki awarii łożysk. Diagnostyka, ze swej natury, jest podejściem reaktywnym. Aby zapobiec katastrofalnym awariom, w przemyśle zwykle stosuje się strategię konserwacji zapobiegawczej. Konserwacja maszyn jest wykonywana według harmonogramu, co ma tendencję do niepotrzebnego wydłużania przestojów, skracania żywotności maszyn i w ten sposób generuje zbędne koszty. Aby rozwiązać ten problem, konieczne jest przejście na bardziej proaktywne podejście, tj. konserwację predykcyjną. Prognozy są ważne dla konserwacji predykcyjnej i koncentrują się na pogorszeniu wydajności i oszacowaniu pozostałego okresu użytkowania komponentów. Dlatego też badania nad prognozami zyskują na popularności w ciągu ostatniej dekady; jednak w porównaniu z diagnostyką literatura na temat prognoz jest znacznie mniejsza.

W literaturze istnieją dwa podejścia do oszacowania pozostałego okresu użytkowania. Pierwsze podejście wykorzystuje fizykę modeli awarii, które uwzględniają warunki pracy w celu śledzenia uszkodzeń, jakich doświadczają komponenty. Modele te wymagają specyficznej wiedzy mechanistycznej i teorii odnoszącej się do badanych komponentów.

W swoich pracach Li i in. 16,17 wykorzystali dwa modele propagacji defektów opracowane za pomocą modelowania mechanistycznego w celu oszacowania RUL dla łożysk tocznych. Li i in. 18 wprowadzili pojedynczy model propagacji defektów powierzchniowych wraz z adaptacyjną metodologią prognostyczną do przewidywania wzrostu defektów łożysk. W symulacji komputerowej i testach w warunkach rzeczywistych wykazali, że ich adaptacyjna metodologia jest w stanie skutecznie przewidywać propagację defektów łożysk bez potrzeby a priori znajomości parametrów modelu prognostycznego. Luo i in. 19 przedstawili zintegrowany proces prognostyczny oparty na interaktywnym podejściu wielu modeli. Proces prognostyczny jest wyprowadzany z symulacji opartych na modelach w warunkach nominalnych i zdegradowanych.

Prognozowanie pozostałej żywotności jest wykonywane przez mieszanie prognoz żywotności opartych na trybach za pomocą uśrednionych w czasie prawdopodobieństw trybów. Drugie podejście do szacowania RUL obejmuje

modele rozpoznawania wzorców, które są wyprowadzane z danych historycznych zebranych z badanego systemu. Techniki sztucznej inteligencji, takie jak sieci neuronowe, systemy wnioskowania neuro-rozmytego

i mapy samoorganizujące się, zostały zastosowane do przewidywania RUL przez wielu badaczy. Wang i Vachtsevanos 20

omówili składniki architektury prognostycznej, takie jak struktura sieci, algorytmy uczenia się i ocena wydajności w swoim badaniu. Opracowali schemat prognostyczny, który

opiera się na dynamicznych sieciach neuronowych. Przetestowali wadliwe łożysko z pęknięciem wewnętrznej bieżni i potwierdzili zdolność prognostyczną swojego schematu. Qiu i Lee 21 zastosowali transformację falkową i mapy samoorganizujące się w celu ułatwienia prognostyki łożysk.

Wyniki pokazują, że poprzez monitorowanie trajektorii warunków łożysk w ramach samoorganizujących się map SOM, możliwe jest przewidzenie pozostałego okresu eksploatacji łożysk.

Na koniec, Chinnam i Baruah 22 przedstawili neuro-rozmyte podejście w sytuacji, gdy dane o awariach i modele definicji awarii są niedostępne, ale dostępna jest wiedza ekspertów z danej dziedziny z silną wiedzą empiryczną.

Należy zauważyć, że większość prac wykonywanych w tym obszarze skupia się na konkretnych przypadkach awarii stworzonych w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych lub za pomocą symulacji komputerowych. W niektórych przypadkach, kilka usterek łożysk może występować w tym samym czasie, z których jedna ostatecznie doprowadzi do awarii. Niemniej jednak, wszystkie usterki muszą być monitorowane jednocześnie, aby uzyskać skuteczną prognozę RUL. Ponadto, zazwyczaj znacznie

łatwiej jest wykryć uszkodzenie niż ocenić jego ciężkość i postęp. Zarówno fizyka awarii, jak i modele postępu uszkodzeń/degradacji wydajności napotykają trudności, gdy rozpatrywany system jest złożony i podlega wpływom warunków pracy i środowiska. Prace w literaturze przedstawiają kilka sygnałów i cech, które są wyprowadzane z tych sygnałów i które należy monitorować. Jeśli te sygnały/cechy wykazują dużą zmienność między eksperymentami, trudno jest wybrać odpowiednie progi do zastosowania w łożysku tocznym MDP.

Ponadto, istniejący zbiór prac nie przedstawia systematycznej metody, która może zidentyfikować najbardziej istotne zmienne i wyeliminować te zbędne, w celu zmniejszenia narzutu analizy. Dlatego też, konieczna jest nowa metoda wielowymiarowa w celu zidentyfikowania zmiennych wejściowych, które należy monitorować pod kątem wykrywania błędów, analizy przyczyn źródłowych i prognozowania błędów.

W tym artykule łożyska toczne są wykorzystywane jako studium przypadku, w celu opracowania systemu Mahalanobisa-Taguchiego opartego na MTS, wykrywania błędów, izolacji i schematu prognostycznego do podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym. MTS to narzędzie do rozpoznawania wzorców wielowymiarowych, które zapewnia tło do łączenia wszystkich istotnych informacji o systemie w jedną metrykę przy użyciu odległości Mahalanobisa, a także przedstawia metodyczny sposób określania kluczowych cech wymaganych do analizy, korzystając z metod Taguchiego.

MTS jest szeroko stosowany w różnych aplikacjach diagnostycznych, które zajmują się klasyfikacją danych. W MTS odległość Mahalanobisa MD jest używana do identyfikacji stopnia nieprawidłowości danych, podczas gdy metody Taguchiego, które wykorzystują tablice ortogonalne

OA i stosunek sygnału do szumu S/N , są używane do oceny dokładności przewidywań i optymalizacji systemu

Dasgupta 34 opracował ujednolicone ramy do osiągnięcia kontroli procesu i poprawy w trakcie fazy wdrażania six sigma. Proponowane ramy wykorzystują adaptowalność MTS jako narzędzia klasyfikacji, wyboru zmiennych i monitorowania. Ramy są wyjaśnione na przykładzie symulowanym.

[Read more](#)