

ZASTOSOWANIE ANALIZY OBRAZÓW W IDENTYFIKACJI ZMIAN CECH SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Anna TIMOFIEJCZUK

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska
Ul. Konarskiego 18 a, 44-100 Gliwice, fax: 237 13 60, atimofiejczuk@kpkmt.polsl.gliwice.pl

Streszczenie

Wyniki analizy sygnałów drganiowych, rejestrowanych podczas badania maszyn wirnikowych w zmiennych warunkach działania, zapisywane są w postaci zbiorów cech będących podstawą diagnozowania o stanie obiektu. Najistotniejszym elementem interpretacji wyników tej analizy jest identyfikacja zmian cech sygnałów, które mogą być symptomem wystąpienia określonego zjawiska lub niesprawności. Interpretacja ta jest często trudna gdyż obserwowane zmiany mogą być wynikiem nie tylko zmiany stanu, ale także zjawisk związanych z działaniem obiektu zjawisk zachodzących w jego otoczeniu.

Referat dotyczy sposobu interpretacji wyników analizy sygnałów z zastosowaniem prostych metod analizy obrazów pozwalających na identyfikację zmian. Prezentowane zagadnienia są fragmentem badań związanych z opracowywanym systemem automatycznego diagnozowania.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, identyfikacja zmian, analiza obrazów

Application of image analysis for identification of changes in varying conditions of diagnostic signal features

Summary

Results of analysis of vibrations recorded during an observation of operation of rotating machinery in varying conditions are yielded in a form of sets of features. They are fundamental to diagnosing of the machinery state. The most important problem of an interpretation of the analysis results is identification of changes that can be symptoms of a phenomenon or malfunction occurrence. Since, observed changes can be not only considered as effects of phenomena related to the object but also as results of phenomena occurring in the object neighbourhood, the interpretation of the results is often difficult.

The paper deals with a way of the interpretation of the signal analysis results with the use of simple methods of an image analysis that make it possible to identify changes. Described problems are a part of research concerning a system of automatic diagnosing, which is worked out.

Key words: diagnostics, change identification, image analysis

1. WSTĘP

Nieniszczące badania diagnostyczne maszyn wirnikowych przeprowadzane podczas działania obiektu polegają na obserwacji i analizie sygnałów resztkowych, z których najczęściej obserwowane są drgania. Wyniki analizy sygnałów zapisywane są zwykle w postaci zbiorów cech (np. wartości średnich, wartości średniokwadratowych, widm mocy), które są podstawą do diagnozowania o stanie obiektu. Należy podkreślić, że sygnały rejestrowane w czasie działania maszyny wirnikowej są w większości przypadków niestacjonarne, co oznacza, że ich cechy statystyczne są funkcjami czasu [6] [15]. Sygnały takie, oprócz wymienionych wyżej cech, wymagają zastosowania specjalnych metod ich analizy, których wyniki prezentowane są głównie w postaci charakterystyk. Przykładem są

charakterystyki czasowo-częstotliwościowe (wynik krótkoczasowej analizy Fouriera, ang. STFT) [4] [9] [15].

Najistotniejszym elementem interpretacji wyników analizy sygnałów jest identyfikacja zmian, które mogą być rozpatrywane jako zmiany w czasie mikro (w ramach jednej realizacji sygnału) lub w czasie makro (zmiany zidentyfikowane na podstawie analizy kilku realizacji sygnałów). Zmiany amplitudy lub częstotliwości sygnału mogą być symptomem wystąpienia określonego zjawiska lub niesprawności, które mogą powodować zmianę stanu technicznego maszyny [4] [9] [15].

Ze względu na ilość uzyskiwanych informacji, jednymi z najbardziej interesujących rodzajów badań diagnostycznych są obserwacje obiektów podczas ich działania w zmiennych warunkach. Zaletą tych badań jest to, że nie wymagają one

stosowania zewnętrznych wzbudników drgań. Wzbudnikiem drgań są w tym przypadku zawsze istniejące resztkowe niewyrównoważenia. [4] [9] [15]. Analiza sygnałów rejestrowanych podczas działania obiektu w zmiennych warunkach przy zastosowaniu metod pozwalających na jednoczesną identyfikację zmian w dziedzinach czasu i częstotliwości (np. analiza oparta na STFT) daje w większości przypadków bardzo złożone wyniki [9] [15]. Zbiór otrzymanych cech, a w szczególności obserwowane zmiany, są w tym przypadku nie tylko wynikiem zjawisk związanych z działaniem badanego obiektu ale także wynikiem zjawisk zachodzących w otoczeniu obiektu. Interpretacja takich wyników jest szczególnie trudna i jest obecnie przeprowadzana głównie w sposób wizualny.

Prezentowane w referacie badania są pierwszym etapem opracowywanego systemu automatycznego diagnozowania stanu maszyny opartego na koncepcji sceny dynamicznej [16] [17] [20]. Interpretacja wyników analizy sygnałów, w szczególności niestacjonarnych, polega w tym przypadku na zastosowaniu prostych metod przetwarzania i analizy obrazów pozwalających na identyfikację zmian analizowanych sygnałów drganiowych. W referacie opisano koncepcję sceny dynamicznej oraz wymieniono i krótko scharakteryzowano te metody analizy i przetwarzania obrazów, które mogą być przydatne dla opisywanych zagadnień. Kolejne etapy przetwarzania sygnałów i ich cech oraz identyfikacja zmian zostały pokazane na przykładzie wygenerowanych sygnałów testowych odpowiadających podstawowym rodzajom niestacjonarności sygnałów [4].

2. KONCEPCJA SCENY DYNAMICZNEJ

Podstawą opracowywanego systemu automatycznego diagnozowania stanu maszyn jest zastosowanie koncepcji sceny dynamicznej [16] [17] [20]. W potocznym rozumieniu, scena dynamiczna jest zbiorem obiektów, których cechy charakterystyczne takie jak: położenie, kolor, wielkość są funkcjami czasu. W opisywanych badaniach obiektami sceny są cechy sygnałów drganiowych rejestrowanych podczas działania maszyny. Przykładami takich obiektów sceny mogą być: przebieg w czasie wartości średniej, wartości średniokwadratowej, widmo mocy sygnału, zmiany temperatury czynnika roboczego, zmiany obciążenia czy charakterystyka rozruchowa lub wybiegowa. Należy zwrócić uwagę, że wymienione cechy są wyznaczane w różnych dziedzinach (funkcje różnych parametrów, czasu lub częstotliwości) i mogą być zapisywane jako macierze lub wektory o różnych rozmiarach. W przypadku omawianej problematyki, dotyczącej badania maszyn podczas ich działania w zmiennych warunkach, obiekty takie dostarczają zazwyczaj informacji dotyczącej nie tylko zmiennego działania maszyny ale określona

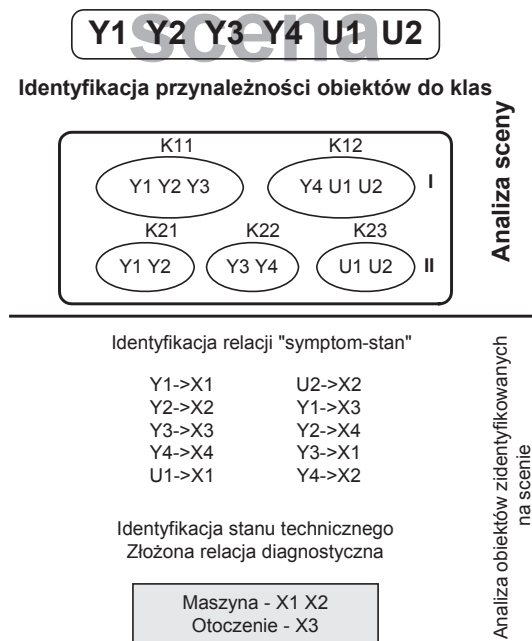
interpretacja ich zmian może także umożliwiać określenie oddziaływań zachodzących między maszyną i jej otoczeniem oraz zjawisk zachodzących w otoczeniu maszyny [9] [15] [16].

Opracowany sposób analizy sceny będącej zbiorem obiektów w postaci cech sygnałów diagnostycznych [18] oparto na analogii do analizy sceny w potocznym rozumieniu, która charakteryzuje się rozpatrywaniem obiektów z uwzględnieniem różnych grup kryteriów. Przykładem takiej interpretacji może być traktowanie pewnych obiektów jako pierwszoplanowych, innych jako drugoplanowych. Przejście do innej płaszczyzny spojrzenia na scenę pozwala na wyróżnienie kryterium związane z identyfikacją ruchu obiektów czy przynależnością obiektów do zbiorów będących tłem, zakłóceniem lub zbiorem obiektów dostarczających określonych informacji. Rozważając rozpatrywanie sceny z uwzględnieniem różnych grup kryteriów, interpretacja sceny może być rozumiana jako podział obiektów na określone klasy. Kryteria należące do różnych grup (np. dotyczące ruchu obiektu, jego koloru) są całkowicie niezależne, co jest także charakterystyczne dla sceny dynamicznej rozumianej jako zbiór wyników analizy sygnałów drganiowych. Powyższe rozważania prowadzą do wniosku, że biorąc pod uwagę wszystkie możliwe płaszczyzny kryteriów rozpatrywania sceny, obiekty sceny mogą należeć do kilku klas jednocześnie. W ramach jednej grupy kryteriów obiekt należy zawsze do jednej klasy. Przynależność jednego obiektu do kilku klas w określonych przedziałach czasu jest pierwszą charakterystyczną cechą opisywanej koncepcji.

Ponadto, w przypadku opisywanych badań, scena jest dynamiczna, co oznacza, że jest zbiorem obiektów charakteryzujących się zmiennym opisem w funkcji czasu, a więc przynależność do określonych klas może ulegać zmianie. Pewne obiekty (cechy sygnałów) są w określonych przedziałach czasu traktowane jako elementy określonych klas, podczas gdy w kolejnych chwilach czasu te same cechy mogą należeć do innych klas. Taki sposób rozpatrywania elementów sceny pozwala przede wszystkim na identyfikację zmian, która może być interpretowana jako zmiana przynależności do klasy określonego obiektu (cechy sygnału). Zmiana jest zidentyfikowana, jeżeli możliwe jest podanie wartości jej zmiany (np. w poziomach amplitudy) i chwili czasu, w której ta zmiana wystąpiła. Zadanie to może być realizowane na kilka sposobów, a jednym z nich są zaprezentowane w punkcie 3. proste metody przetwarzania obrazów. Zastosowanie koncepcji sceny dynamicznej w procesie diagnozowania stanu pokazano na rys. 1.

Kolejne etapy analizy sceny związane są z wnioskowaniem diagnostycznym i mogą być także realizowane z zastosowaniem metod rozpoznawania obrazów, rozumianych w tym przypadku jako

metody rozpoznawania wzorców (ang. pattern recognition) [13].



Rys. 1. Schemat działania systemu automatycznego diagnozowania [16]

Na rys. 1 symbole Y1, Y2, Y3, Y4 odpowiadają cechom sygnałów. Symbole U1 i U2 oznaczają wartości innych parametrów (np. chwilową prędkość obrotową) zarejestrowanych podczas działania maszyny. Na rysunku wyróżniono dwie płaszczyzny rozpatrywania obiektów, z których pierwsza zawiera klasy K11 i K12, a druga K21, K22 i K23.

Celem drugiego etapu analizy sceny jest identyfikacja prostych relacji diagnostycznych. Na rys. 1 symbole X1, X2, X3 i X4 oznaczają stany jako wnioski określonych prostych (zawierających jedną przesłankę) relacji diagnostycznych. Przesłankami tych relacji są cechy, dla których określono czy wartość cechy w określonym przedziale czasu ulega zmianom. Trzeci etap polega na identyfikacji złożonego stanu technicznego na podstawie wcześniej zidentyfikowanych relacji prostych. Wyniki uzyskane w etapach pierwszym i drugim powinny umożliwić sformułowanie diagnozy pozwalającej na rozróżnienie zmian związanych z badanym obiektem, zmian związanych ze zmiennymi warunkami działania obiektu oraz zmian zachodzących w otoczeniu obserwowanego obiektu.

3. WYBRANE METODY PRZETWARZANIA DANYCH OBRAZOWYCH

Działania wykonywane na danych obrazowych, ze względu na cel ich stosowania można podzielić na metody przetwarzania, analizy i rozpoznawania obrazów [12] [13] [21], a ze względu na sposób przeprowadzania tych operacji na metody jednopunktowe i metody semantyczne i syntaktyczne [5] [7] [13]. Podział ten nie jest pełny

i został przyjęty tylko dla potrzeb opisywanych badań.

Przetwarzaniem obrazu nazywa się metody, których wynikiem są również dane w formie obrazu [13]. Celem zastosowania tych metod jest: polepszenie jakości obrazu, wyostrenie lub detekcja określonych elementów obrazu (kątowności, linii). Do metod przetwarzania obrazów należą filtracja, która polega głównie na usuwaniu zakłóceń, kwantyzacja polegająca na transpozycji poziomów szarości lub barw, wygładzanie obrazu, którego celem jest usunięcie szumu, wyostrenie i wykrywanie określonych elementów obrazu oraz binaryzacja polegająca na redukcji zakresu wartości parametrów opisujących obraz.

Analizą obrazu nazywa się operacje, które w wyniku dają opis obrazu [13]. Podstawową metodą analizy obrazu jest segmentacja, której celem jest oddzielenie i lokalizacja obiektów tworzących obraz. Segmentacja polega na nadaniu cechom charakteryzującym poszczególne obiekty unikalnych wartości. Celem segmentacji jest również identyfikacja ruchu, która jest rozpatrywana jako identyfikacja zmian zachodzących w obrazie.

Rozpoznawanie obrazu polega na określonej interpretacji opisu obrazu [13]. Celem metod rozpoznawania obrazów jest identyfikacja obiektów, które są elementami obrazu. Podstawą tego rodzaju metod nie jest obraz ale jego opis, będący wynikiem segmentacji. Uogólniając, rozpoznawanie obrazu można interpretować jako klasyfikację rozpatrywanych obiektów przy znanych klasach.

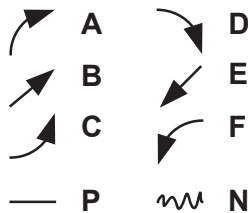
W opisywanych badaniach, analiza sceny została oparta na metodach należących do grup przetwarzania i analizy obrazów. Zastosowano dwa rodzaje algorytmów. Pierwszy bazuje na metodach „jednopunktowego” przetwarzania obrazów [10] [13] [14] [18] [19] a drugi na jego opisie semantycznym [11] [13] [14] [18] [19]. W obydwu przypadkach analiza zbioru cech sygnałów wymaga ich przekształcenia do postaci macierzy, które mogą być traktowane jak macierze odpowiadające obrazom zawierającym obiekty w postaci linii.

Metody jednopunktowego przetwarzania obrazów polegają na rozpatrywaniu kolejnych pojedynczych elementów macierzy i elementów je otaczających. Analiza określonego fragmentu macierzy związana jest z definicją tzw. maski, która jest macierzą kwadratową (zwykle 3x3 lub 4x4) określającą charakterystyczne, poszukiwane rozmieszczenie elementów macierzy. Zastosowanie maski związane jest z wyznaczeniem określonych współczynników, które pozwalają np. na identyfikację krawędzi czy narożników [13] [14]. Przykładem maski pozwalającej na identyfikację linii pionowych jest maska Sobela [13][21].

$$h4 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Z grupy metod jednopunktowego przetwarzania obrazów zastosowano algorytmy filtracji liniowej oraz metody gradientowe. Najlepsze wyniki uzyskano za pomocą zmodyfikowanego algorytmu filtracji liniowej [10].

Semantyczne metody analizy obrazów polegają na opisie obrazu za pomocą ciągu symboli. Analiza taka wymaga przyjęcia określonego zbioru symboli podstawowych, który jest traktowany jako alfabet [5] [7] [13]. Przykład alfabetu zdefiniowanego dla interpretacji wykresu funkcji pokazano na rys. 2 [5].

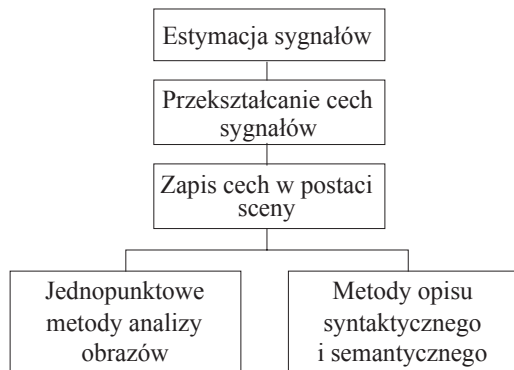


Rys. 2. Przykład alfabetu pozwalającego na interpretację wykresu funkcji [5]

Z grupy metod semantycznego opisu obrazu zastosowano metody oparte na kodzie łańcuchowym Freemana [7] [13]. Identyfikacja zmian polegała w tym przypadku na porównywaniu określonych sekwencji znaków. Metody te dały szczególnie dobre wyniki w przypadku analizy trajektorii np. ruchu środka czopa w łożysku hydrodynamicznym [11].

4. SCENA – ZBIÓR CECH SYGNAŁÓW

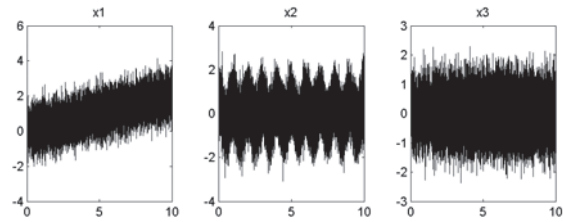
Identyfikacja zmian z zastosowaniem opisanych dwóch rodzajów metod została przeprowadzona w czterech krokach (rys.3) odpowiadających analizie sygnałów, ich przekształceniu, które polegało na operacjach analogicznych do kwantyzacji, zapisie elementów w postaci macierzy oraz zastosowaniu metod jednopunktowych lub metod semantycznego opisu obrazu [18].



Rys. 3. Etapy przetwarzania cech sygnałów

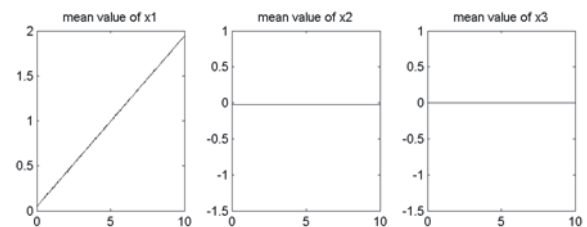
Kolejne etapy przetwarzania cech sygnałów pokazano na przykładzie wygenerowanych

sygnałów testowych, które odpowiadają trzem głównym rodzajom niestacjonarności sygnałów (rys.4).

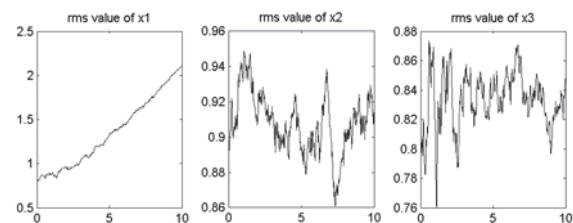


Rys. 4. Analizowane sygnały testowe

Analizowane sygnały charakteryzują się odpowiednio: $x1$ zmienną wartością średnią, $x2$ zmienną wartością średniokwadratową i $x3$ zmienną strukturą widmową (wartość częstotliwości zmienia się w czasie). Analiza sygnałów w dziedzinie czasu polegała na wyznaczeniu wartości średnich (rys.5) i wartości średniokwadratowych (rys.6).

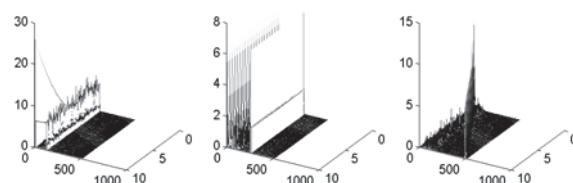


Rys. 5. Przebiegi wartości średnich wyznaczone dla sygnałów z rys. 4.



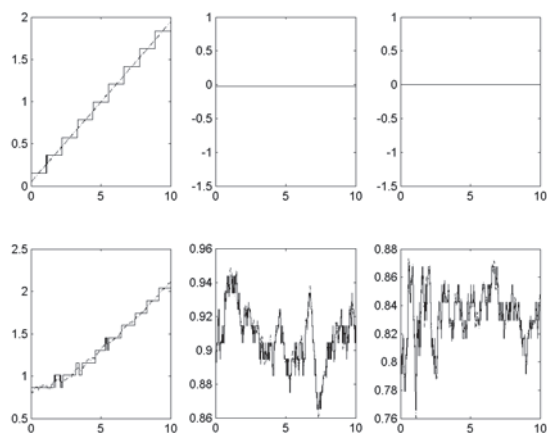
Rys. 6. Przebiegi wartości średniokwadratowych wyznaczone dla sygnałów z rys. 4

Analiza sygnałów w dziedzinie częstotliwości polegała na wyznaczeniu charakterystyk czasowo-częstotliwościowych (rys. 7) z zastosowaniem krótkoczasowego przekształcenia Fouriera (STFT).



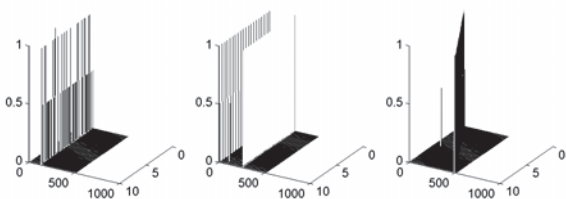
Rys. 7. Charakterystyki czasowo-częstotliwościowe wyznaczone dla sygnałów z rys. 4

Ze względu na szeroki zakres wartości wyznaczonych funkcji oraz na możliwość przekształcenia otrzymanych wykresów danych do postaci takich wykresów liniowych, które zawierają tylko poziome i pionowe odcinki prostych (względem układu współrzędnych) cechy sygnałów z rys. 5-7 poddano operacjom analogicznym do operacji kwantyzacji. Wyniki tych operacji dla cech wyznaczanych w dziedzinie czasu pokazano na rys.8.



Rys. 8. Wyniki operacji kwantyzacji dla cech wyznaczanych w dziedzinie czasu

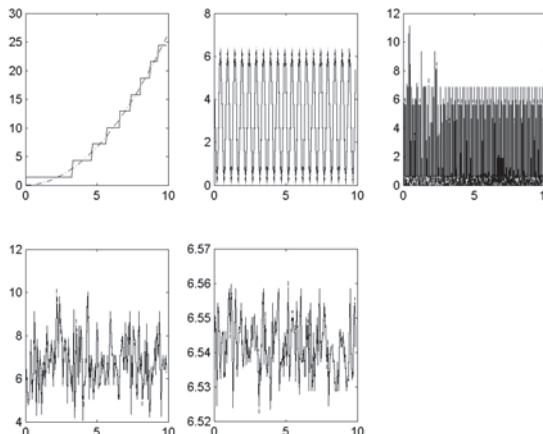
Charakterystyki pokazane na rys. 7 pozwalają na identyfikację zmian częstotliwości składowych harmonicznych sygnału oraz na określenie zmian amplitudy składowych. Taka interpretacja wymaga dwustopniowego rozpatrywania charakterystyki. Identyfikacja poszczególnych składowych oraz zmian ich częstotliwości polegała na przekształceniu wartości elementów macierzy odpowiadających charakterystyce do wartości 0 lub 1. Wartość 1 odpowiada składowej sygnału w danym paśmie częstotliwości (rys. 9).



Rys. 9. Identyfikacja składowych sygnału i zmian częstotliwości

Powyższy rysunek pokazuje, że sygnały x_1 i x_2 są kombinacjami liniowymi dwóch składowych harmonicznych o stałych częstotliwościach, sygnał x_3 zawiera jedną składową o zmiennej częstotliwości. Przekroje charakterystyk, odpowiadające składowym pozwalają na określenie zmian ich amplitudy. Na rys. 10 pokazano wynik takiego rozpatrywania składowych sygnałów. Wyodrębnione składowe poddano operacji

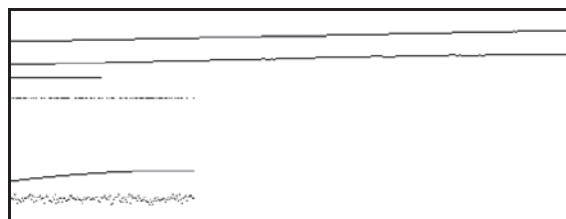
kwantyzacji wartości amplitud analogicznej do operacji przeprowadzonej dla cech wyznaczanych w dziedzinie czasu (rys. 8).



Rys. 10. Wyniki kwantyzacji składowych harmonicznych sygnału

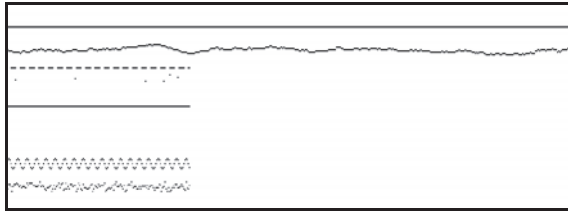
Wszystkie przekształcone cechy sygnałów mogą być zapisane w formie jednej macierzy, której elementy przyjmują wartości 0 lub 1. Macierz może być traktowana jak scena (obraz), której elementami są odpowiednio zapisane cechy sygnałów w postaci linii (rys. 11-13). Na rys. 11 i 12 widoczne są odpowiednio od góry przebiegi wartości średnich i średniokwadratowych, dwie składowe sygnału zidentyfikowane na podstawie charakterystyki czasowo-częstotliwościowej (częstotliwości składowych nie zmieniają się) oraz dwa „przekroje” charakterystyki odpowiadające składowym sygnałom, które umożliwiają obserwację zmian amplitudy składowych. Na rys. 13 widoczne są także przebiegi wartości średnich i średniokwadratowych, jedna zidentyfikowana składowa harmoniczna sygnału oraz odpowiadający jej „przekrój” charakterystyki. Częstotliwość składowej sygnału zmienia się w czasie.

Dla macierzy wyznacza się dodatkowo sygnatury będące wektorami wartości, które odpowiadają kolejnym chwilom czasu lub pasmom częstotliwości (numer kolumny w macierzy) i poziomom kwantyzacji wartości cech (numer wiersza w macierzy). Zmiany zachodzące w scenie mogą być rozpatrywane jako zmiany w czasie mikro i makro, gdzie czas mikro jest związany z rejestracją sygnału, a czas makro jest związany z czasem eksploatacji maszyny [15].

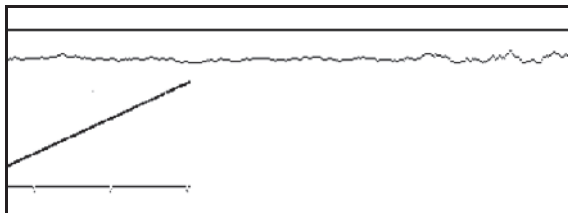


Rys. 11. Scena dynamiczna zawierająca cechy sygnału x_1

Zmiany w czasie w czasie mikro są identyfikowane na podstawie pojedynczej sceny (macierzy będącej wynikiem rejestracji i analizy jednej realizacji sygnału). Zmiany w czasie makro są wynikiem porównania kilku scen.



Rys. 12. Scena dynamiczna zawierająca cechy sygnału x_2



Rys. 13. Scena dynamiczna zawierająca cechy sygnału x_1

W referacie pokazano identyfikację zmian w czasie mikro z zastosowaniem metod przetwarzania i analizy obrazów.

Należy zwrócić uwagę, że prezentowany sposób zapisu cech sygnałów diagnostycznych jest jednym z wielu opisywanych w literaturze. Opisywana koncepcja zapisu wyników analizy sygnałów w formie obrazów została oparta na kilku znanych i opisanych koncepcjach macierzowego zapisu symptomów diagnostycznych. Cechy sygnałów diagnostycznych mogą być kodowane na kilka sposobów, czego przykładem jest zapis symptomów diagnostycznych w macierzach obserwacji interpretowanych z zastosowaniem metody SVD (ang. singular value decomposition) [1] [2] [3] lub w postaci binarnych macierzy diagnostycznych [8]. Celem opisywanych badań jest zastosowanie prostych metod interpretacji wyników analizy sygnałów diagnostycznych. Z wielu powodów zapis symptomów diagnostycznych w formie wymienionych macierzy nie nadaje się do zastosowania wraz z metodami analizy obrazów. Możliwość zastosowania opisu semantycznego cechy sygnału, bądź jej analiza za pomocą jednopunktowych metod przetwarzania obrazów wymaga przekształcenia zbioru cech sygnałów do postaci macierzy analogicznych do macierzy zawierających dane związane z potocznie rozumianym obrazem cyfrowym.

5. IDENTYFIKACJA ZMIAN

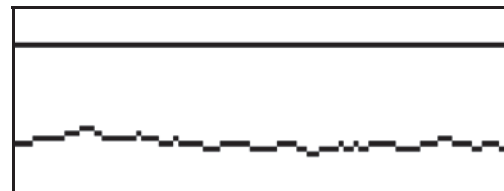
Identyfikacja zmian w czasie mikro została przeprowadzona za pomocą wybranych metod

z grupy jednopunktowej analizy obrazów [9] [18] i metod polegających na semantycznym opisie obrazu [10]. Należy zwrócić uwagę, że zadanie to jest znacznie uproszczone poprzez opisany w poprzednim punkcie sposób przekształcania cech sygnałów i ich zapis w jednej macierzy.

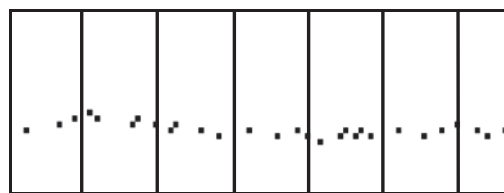
5.1. Zastosowanie metod jednopunktowych

Podczas badań zastosowano kilka metod jednopunktowej analizy obrazów wykorzystujących kilka różnych rodzajów masek [9] [18]. Metody polegające na wyznaczeniu gradientów i laplasjanu oraz ich modyfikacje nie dały poprawnych i jednoznacznych wyników [9]. Najlepsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu metod polegających na filtracji. Wynik zastosowania algorytmu bazującego na filtracji liniowej pokazano na rys. 15 [9] [18]. Zastosowanie algorytmu pokazano dla fragmentu sceny, której obiektami są cechy sygnału x_3 . Scena została pokazana na rys. 13. Efektem zastosowania algorytmu filtracji liniowej, z wykorzystaniem maski Sobela (1) [9] [18] [21], jest obraz zawierający pojedyncze punkty odpowiadające chwilom czasu, w których poziom określonej wartości cechy uległ zmianie.

Elementy macierzy odpowiadającej takiemu obrazowi przyjmują wartość 0 lub 1, gdzie wartość 1 oznacza zmianę wartości określonej cechy wyrażaną w poziomach.



Rys. 14. Fragment sceny z rys. 13



Rys. 15. Zmiany cech sygnałów zidentyfikowane za pomocą filtracji liniowej

Zastosowanie metod bazujących na jednopunktowej filtracji liniowej obrazu pozwala na uzyskanie poprawnych i prostych wyników. Ich reprezentacja, w postaci macierzy z rys. 15 wymaga jednak dalszego przetwarzania. W opracowywanym systemie (rys. 1) założono, że danymi wejściowymi będą zidentyfikowane zmiany w postaci przesłanek odpowiednich relacji diagnostycznych. Przesłanka powinna zawierać informacje o chwili czasu, w której nastąpiła zmiana i o wartości tej zmiany.

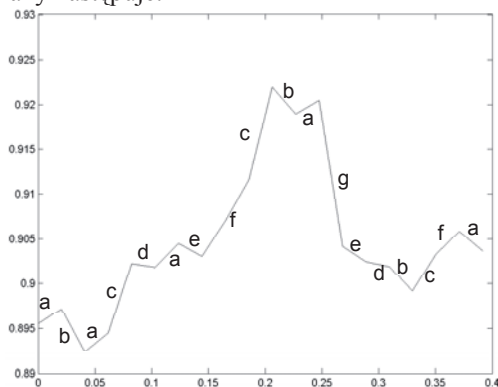
W celu uproszczenia wyników z rys. 15 zakłada się, że scena (macierz) będzie rozpatrywana w przedziałach czasu, w których określona zostanie zmiana wartości kolejnych cech. Na rysunku wyróżniono 7 przedziałów czasu, w których rozpatrywano zmiany dwóch cech: wartości średniej i średniokwadratowej. Określenie wartości zmiany polega na wyznaczeniu różnicy między pierwszym i ostatnim punktem na obrazie odpowiadającym zmianie cechy. Różnica jest wyrażana w liczbie poziomów. Wartości zmian wyznaczone dla fragmentu obrazu z rys. 14 zapisano w macierzy zmiany.

$$zmiany = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & -2 & -2 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Przyjmuje się, że chwila czasu odpowiadająca zmianie jest wyznaczana jako średnia z chwil początkowej i końcowej kolejnych przedziałów. Taki sposób wyznaczania zmian związany jest z kilkoma problemami. Obecne i przyszłe prace związane z ich rozwiązaniem zostały omówione we wnioskach.

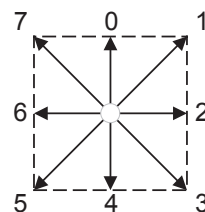
5.2. Zastosowanie metod semantycznych

Zastosowanie metod semantycznego opisu obrazu oparto na kodowaniu łańcuchowym, co związane było ze zdefiniowaniem odpowiedniego alfabetu. Symbolami zastosowanego alfabetu są litery [11] [18]. Alfabet może być zdefiniowany na kilka sposobów. Kolejne symbole alfabetu mogą odpowiadać określonym zmianom amplitudy obserwowanych wielkości lub określać charakter tych zmian, związany z kątem nachylenia linii reprezentującej obserwowane wielkości. Przykład zapisu fragmentu obrazu z rys. 13 (przebieg zmian wartości średniokwadratowej) pokazano na rys. 16. Zastosowany alfabet uwzględnia jedynie charakter zmian, bez uwzględniania wartości amplitudy i długości przedziału czasu, w którym dany rodzaj zmiany następuje.



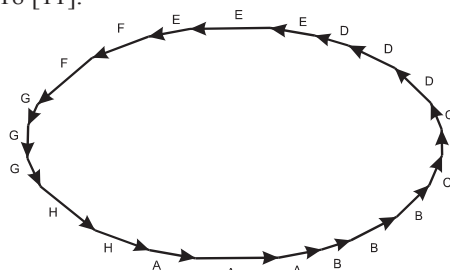
Rys. 16. Semantyczny zapis cechy

Opis obrazu pokazany na rys. 16 oparto na kodzie Freemana [7] (rys. 17), który stosowany jest od określania charakteru identyfikowanych zmian.



Rys. 17. Kod Freemana [7]

Alfabet tego rodzaju nie nadaje się do zastosowania wprost do opisu scen (obrazów) pokazanych na rys. 11-13 i wymaga pewnych modyfikacji, o których wspomniano we wnioskach. Oprócz opisu danych prezentowanych w postaci wykresów liniowych podjęto próbę zastosowania semantycznego opisu trajektorii ruchu środka czopa w łożysku. Przykład opisu trajektorii za pomocą alfabetu opartego na kodzie Freemana pokazano na rys. 18 [11].



Rys. 18. Przykład alfabetu stosowanego do opisu trajektorii [11]

Trajektoria pokazana na rys. 18 została wygenerowana na podstawie wygenerowanych sygnałów testowych. Zastosowanie semantycznego opisu trajektorii dało bardzo dobre wyniki, szczególnie w przypadku analizy „zapętleń” trajektorii obserwowanych podczas występowania niektórych niesprawności maszyn wirnikowych.

W tym przypadku także, podobnie jak przy zastosowaniu metod jednopunktowej analizy obrazów, ciąg uzyskanych symboli wymaga dodatkowego przetworzenia. Dobrym rozwiązaniem wydaje się być sposób opisany w [5] polegający na łączeniu symboli w słowa, co wymaga jednak określenia zbioru słów wzorcowych. Słowa zdefiniowane w określonych przedziałach czasu mogą stanowić dane wykorzystywane w przesłankach reguł diagnostycznych.

6. WNIOSKI

Opisane w referacie sposoby przetwarzania i interpretacji wyników analizy sygnałów o zmiennych w czasie cechach są fragmentem badań związanych z opracowaniem systemu automatycznie diagnozującego stan obiektu. Przewiduje się, że opisywane metody będą stosowane w przypadku złożonych danych, co związane jest z koniecznością rozwiązania kilku istotnych problemów.

W przypadku metod jednopunktowej analizy obrazów identyfikacja zmiany rozpoczyna się

właściwie od wyznaczenia liczby poziomów kwantowanej cechy, co może znacznie wpływać na poprawność otrzymanych wyników. Duże znaczenie ma także długość przedziału, w którym określana jest zmiana (rys. 15). Długość ta powinna być dobrana w taki sposób aby chwilowe zmiany nie wpływały znacząco na otrzymany wynik.

Najpoważniejszą wadą opisu semantycznego, o której nie wspomniano wcześniej, jest utrata informacji o wartościach amplitud, co jest związane z koniecznością zastosowania metod syntaktycznych. Poważną wadą zastosowanego alfabetu jest także brak przyjęcia przedziałów, w których wyznaczane są zmiany, co w skrajnym przypadku może prowadzić do opisu zmian jednej cechy za pomocą jednego symbolu (np., gdy wartości cechy wzrastają ze stałym krokiem lub są stałe w czasie).

7. LITERATURA

- [1] Cempel C., Signals, Symptoms, Faults Condition Oriented Multi Dimensional Monitoring of Systems in Operation, XXVIII Ogólnopolska Konferencja Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2001.
- [2] Cempel C., Reduction of Redundancy of Symptom Observation Space in Systems Condition Monitoring. Buletin of the Polish Academy of Sciences. Vol. 49, no. 2.
- [3] Cempel C., Multidimensional condition monitoring of systems in operation. 4th International Conference Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques, Compiègne 16-18 October, 2001, France.
- [4] Cempel C., Tomaszewski F. (red.), Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne. Przykłady zastosowań. Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego. Radom 1992.
- [5] Chodasiewicz W., Analiza możliwości wykorzystania syntaktycznych metod rozpoznawania obrazów w diagnostyce wibroakustycznej maszyn. Praca NB-91/RMT-4/83. Politechnika Śląska Katedra PKM. Gliwice 1983.
- [6] Cholewa W., Moczulski W., Diagnostyka Techniczna Maszyn. Pomiary i analiza sygnałów. Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1758. Gliwice 1993.
- [7] Fu K. S., Syntactic pattern recognition and applications. Purdue University West Lafayette, Indiana 1982.
- [8] Kościelny J., M., Diagnostyka automatycznych procesów produkcyjnych, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT 2001
- [9] Moczulski W., Metoda wibroakustycznych badań maszyn wirnikowych w warunkach rozruchu lub zatrzymania. Praca doktorska. IMiPKM Politechniki Śląskiej. Gliwice 1984.
- [10] Markiewicz K., Timofiejczuk A., Application of simple methods of image analysis in identification of changes of diagnostic signals
- [11] Molerus M., Timofiejczuk A., Application of semantic and syntactic description in identification of changes of diagnostic signals. 3th Symposjum on Artificial Intelligence Methods, Gliwice 2002.
- [12] Pavlidis T., Algorytmy przetwarzania grafiki i obrazów, WNT Warszawa 1987
- [13] Tadeusiewicz R., Systemy wizyjne robotów przemysłowych, WNT Warszawa 1992
- [14] Timofiejczuk A., Identyfikacja ruchu obiektów na podstawie szeregu jego obrazów. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Śląska. Katedra PKM. Gliwice 1995.
- [15] Timofiejczuk A., Metoda badania maszyn wirnikowych w warunkach rozruchu, rozbiegu i wybiegu, Zeszyty Politechniki Śląskiej, nr 133, Gliwice 1999.
- [16] Timofiejczuk A., The conception of description of rotating machinery action in the form of dynamic scenes, II International Congress of Technical Diagnostics, 19-22.09.2000 Warsaw.
- [17] Timofiejczuk A., Dynamic scene: a basis of identification of a technical state of machinery, Conference on Component and Systems Diagnostics, Prognosis and Health Management, 16-17.04.2001, Orlando, proceedings of SPIE, s. 287- 196.
- [18] Timofiejczuk A., Zastosowanie metod analizy obrazów w identyfikacji zmian cech sygnałów diagnostycznych. XXIX Ogólnopolskie Sympozjum "Diagnostyka Maszyn", Węgierska Górka 04-09-03.2002, s. 339-344.
- [19] Timofiejczuk A., Methods of detection of changes of complex machinery states. 16th AeroSense Meeting on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Control, Orlando, 01-05.04.2002, s. 110-121.
- [20] Timofiejczuk A., Application of diagnostic system based on dynamic scene identification. 16th AeroSense Meeting on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Control, Orlando, 01-05.04.2002, s. 72-79.
- [21] Wróbel Z., Koprowski R., Przetwarzanie obrazów w programie MATLAB, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2001.



Anna Timofiejczuk jest adiunktem w Katedrze PKM Politechniki Śląskiej. Jej naukowe zainteresowania to: metody analizy sygnałów niestacjonarnych, analiza i przetwarzanie obrazów, metody wnioskowania diagnostycznego.