

Automatyczny komputerowy układ diagnozujący tarcze i okładziny hamulca tarczowego

Niniejsza praca kontynuuje cykl artykułów opisujących nowe podejście w zakresie diagnostyki i nadzoru hamulców tarczowych. Przedstawiono program komputerowy diagnozujący z czterech kamer cztery tarcze i cztery okładziny hamulca tarczowego w ustalonych strefach pomiarowych.

1. Wstęp

Zagadnienia analizy obrazów w ogólności można podzielić na zasadnicze trzy grupy [1, 2, 3, 6, 8, 12]:

- pozyskanie obrazu
- przetwarzanie obrazu
- rozpoznanie obrazu

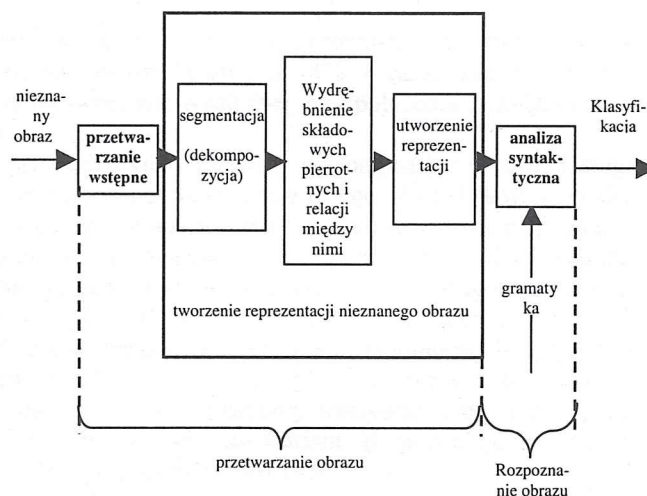
Metody pozyskania i przetwarzania obrazów w badaniach kontroli i diagnostyki hamulca tarczowego zostały opisane w pracach [1, 2, 3].

W pracy [6, 11] opisano definicje i metody dotyczące problematyki rozpoznania obrazów. Omówimy obecnie inne metody rozpoznawania obrazów, które mają zastosowanie w automatycznym komputerowym układzie diagnozującym zużywanie się tarcz i okładzin hamulca tarczowego. Artykuł ten, jest kontynuacją prac przedstawionych w [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] wykonanych w ramach projektu badawczego KBN nr 9T 12C 064 14 pt. „Wizyjny system kontroli i diagnostyki zjawisk trybologicznych wybranych zespołów pojazdów szynowych”.

2. Wprowadzenie w wybrane zagadnienia przetwarzania obrazów

Teoria rozpoznawania obrazów rozwinęła się na świecie wraz z badaniami związanymi ze sztuczną inteligencją. Ogólnie w zadaniach rozpoznania obrazu chodzi o rozpoznanie przynależności rozmaitego typu obiektów (lub zjawisk) do pewnych klas. Rozpoznanie to prowadzone jest w sytuacji braku informacji na temat reguł przynależności obiektów do poszczególnych klas, a jedyną informacją możliwą do wykorzystania jest zawarta w ciągu uczącym, złożonym z obiektów, dla których znana jest prawidłowa klasyfikacja. Zasadniczym elementem tego uczenia jest uogólnienie: komputer otrzymuje przykłady tylko niektórych obiektów (należących do ciągu uczącego) natomiast orzeka w czasie rzeczywistym o wszystkich. Obiekty podlegające rozpoznaniu mogą mieć różny charakter. Ujednolicone podejście do metod rozpoznania jest możliwe dzięki temu, że jako wstępny etap procesu wymienia się pomiar cech opisujących rozpoznane obiekty, zaś dalsze postępowanie polega na analizowaniu tych cech. Wydobywanie cech jest uzależnione od rodzaju rozpoznawanych obiektów, są

więc zależne od konkretnego zadania i nie mogą być wybrane raz na zawsze. Na podstawie wieloletnich doświadczeń okazało się, że nawet zastosowanie rozbudowanych metod matematycznych rozpoznania obrazów w pewnych przypadkach jest nieskuteczne. Dotyczy to sytuacji, w których rozważane obrazy są bardzo złożone lub liczba klas jest bardzo duża. Trudności te eliminują metody syntaktyczne, gdzie złożony obraz jest dzielony na prostsze obrazy. W przypadku gdy podobrazy te nadal charakteryzują się dużą złożonością operacje podziału są kontynuowane tak długo, aż otrzymamy składowe pierwotne obrazy. Są to niepodzielne elementy obrazu, o których zakładamy że istnieją i je a priori możemy zdefiniować. W przypadku metod syntaktycznych przed przystąpieniem do właściwego rozpoznania należy wyodrębnić składowe pierwotne oraz relacje jakie zachodzą między nimi. Główną ideą syntaktycznego rozpoznania obrazu jest reprezentowanie obiektu przez ciąg, drzewo lub graf podobrazów, a następnie konstruowanie analizatora syntaktycznego A (automatu) dla gramatyki G (ciągowe, drzewowe lub grafowe) generującej cały obiekt z podobrazów [11]. Konstrukcja procedury rozpoznającej (automatu A) opiera się na definicji procedury generującej gramatykę G, a więc najpierw przedstawiamy gramatykę G, a później automat A.



Rys.1. Schemat toru przetwarzania obiektów rozpoznania [11]

Najczęściej stosowanym sposobem wyodrębniania składowych pierwotnych jest segmentacja obrazu.

3. Metody segmentacji obrazu

Istnieją dwa główne podejścia do problemu segmentacji obrazu: metody krawędziowe i progowe. Pierwsze opierają się na wydzieleniu krawędzi, które następnie łączone są tak, aby uformowały kompletne granice przedmiotów. W drugiej grupie metody znajdowane są obszary obrazu o jednorodnych właściwościach, przy czym przyjmuje się, że obszary o podobnych cechach należą do jednego obiektu. Obydwa podejścia uzupełniają się i mogą być do pewnego stopnia połączone. Szczegółowy opis metod segmentacji przedstawiono w pracach [3, 9, 10, 11, 12].

Omówimy obecnie ogólnie kilka podstawowych metod (progowe, gradientowe, rozrostu i łączenia obszarów, korelacyjne, neuronowe, rozmyte i szybkiej segmentacji) najczęściej stosowanych w rozwiązaniach praktycznych [10].

3.1. Metody progowe

Należą one do najstarszych i najprostszych. Jaskrawość danego punktu obrazu (piksel) porównuje się z pewnym poziomem progowym lub grupą poziomów progowych. W odniesieniu do poziomów progowych, dany punkt klasyfikuje się jako należący do tego lub innego obszaru. W metodzie tej trudność polega na wyborze odpowiedniego zbioru wartości progowych. Jedną z możliwości jest tutaj obliczanie histogramu jaskrawości punktów obrazu, a następnie wybór poziomów progowych w minimach tego progów [3, 6].

3.2. Metody gradientowe

Metody gradientowe polegają na wykrywaniu krawędzi przedmiotów i opierają się na założeniu, że przy przechodzeniu od jednego obiektu do drugiego jaskrawość obrazu ulega naglej zmianie. Większość tych metod wykorzystuje numeryczne metody obliczania modułu gradientu ∇ jaskrawości lub jego składowych (pochodne cząstkowe jaskrawości

$$\frac{\partial I}{\partial x} \quad \text{ i } \quad \frac{\partial I}{\partial y} \quad ,$$

$$|\nabla| = \left| \frac{\partial I}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial I}{\partial y} \right| \quad (1)$$

Dany punkt leży na krawędzi, jeśli wartość gradientu wyrażonego zależnością (1) przekracza określony poziom progowy. W dalszych etapach segmentacji krawędzie podaje się obróbcie dla wyznaczenia dokładnych granic poszukiwanych obiektów.

3.3. Metody rozrostu i łączenia obszarów

W etapie wstępnym dokonuje się wyboru punktów wyjściowych (startowych). Następnie do obszarów, w których na początku znajdują się tylko te punkty dołącza się punkty sąsiednie (piksele), których określone cechy (jaskrawość itd.) mało różnią się od cech punktów wyjściowych. Procedurę tę się powtarza dla nowo połączonych pikseli aż

wszystkie punkty obrazu będą przypisane do któregoś z obszarów.

3.4. Metody oparte na teorii zbiorów rozmytych

Zbiór rozmyty A jest reprezentowany jako:

$$A = \{\mu_A(x_i) \mid x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

gdzie $\mu_A(x_i)$ jest miarą przynależności elementu x_i do zbioru A. Teoria zbiorów rozmytych może być stosowana w różnych etapach segmentacji i klasyfikacji dla przezwyciężenia problemów związanych z niejednoznacznością, niepewnością i brakiem informacji.

3.5. Metody korelacyjne

Metody te służą do określenia na analizowanym obrazie obecności lub braku obiektu o danym kształcie. Nie są to klasyczne metody segmentacji, a raczej technika z pogranicza rozpoznania obrazów. Dokonuje się tutaj dwuwymiarowej korelacji sygnału reprezentującego poszukiwany obiekt z samym obrazem. W przypadku gdy poszukiwany obiekt znajduje się na obrazie, wysoka wartość funkcji korelacji wyznacza jego położenie. Technika ta wymaga dużych nakładów obliczeniowych i znajomości kształtu poszukiwanego obiektu, ale jest za to bardzo odporna na zakłócenie.

3.6. Sieci neuronowe

Zaletą tych metod to możliwość uczenia się, odporność na zakłócenia i awarie elementów oraz szybkość działania. Można je wykorzystywać do bezpośredniego wyodrębniania obiektów z tła obrazu z zakłóceniami bądź do uzyskania parametrów potrzebnych w innych metodach segmentacji np. poziomów progowych.

3.7. Metody szybkiej segmentacji

Do metod tych należą metody działające w czasie rzeczywistym. Obrazy dostarczone z kamery pracują z szybkością 50 (lub 60) półobrazów na sekundę. Układ segmentacji musi dokonać podziału obrazu na obiekty w czasie krótszym od 20ms czyli zanim nadejdzie następny półobraz. W trakcie trwania każdego półobrazu jest obliczany jego histogram, zaś w trakcie impulsów wygaszania jest obliczona wartość poziomu progowego. W ten sposób próg obliczony dla poprzedniej ramki jest wykorzystywany do segmentacji bieżącej ramki obrazu. Metody te często są wykorzystywane w procesach automatycznej kontroli jakości i wykrywania defektów konstrukcji. Z szybką segmentacją związane są bardzo duże nakłady obliczeniowe. Powoduje to konieczność zastosowania systemów o bardzo dużej mocy obliczeniowej, takich jak transputery lub grupy procesorów równoległych bądź sieci neuronowych. Ogranicza to powszechność zastosowań takich segmentacji. Dalszy jej rozwój jest związany z rozpowszechnieniem komputerów o dużych mocach obliczeniowych oraz sieci neuronowych.

W realizowanym programie r.20 do rozpoznawania obrazów wykorzystuje się metody segmentacji progowej i gradientowej oraz metody szybkiej segmentacji.

4. Skalowanie obrazu

Zrealizowano dwie metody ustalania skali na obrazie. Biorąc pod uwagę, że stanowisko pomiarowe będzie umieszczone w stałej odległości od badanego obiektu, możliwe wydaje się określenie rozmiaru rzeczywistej sceny, która zostaje odzwierciedlona na obrazie w postaci szerokości i wysokości fotografowanej sceny. Rozwiązanie to jest jednak mało ogólne bowiem nie uwzględnia kąta, pod którym umieszczona jest kamera względem układu hamulcowego, czyli głębokości obrazu. Druga metoda ustalania rozmiaru obiektu znajdującego się na obrazie polega na zastosowaniu pewnych charakterystycznych i niezmiennych znaczników. Są to dwa laserowe punkty skierowane na okładzinę cierną hamulca tarczowego, oddalone od siebie na pewną stałą odległość oraz ustawione równolegle do jednego z boków okładziny cierniej. Ich odległość ma stanowić wzorzec odległości na obrazie. Detekcja tych punktów na etapie automatycznej analizy obrazu lub ich wskazanie podczas trybu pracy, w którym operator systemu podejmuje decyzje, pozwala wyskalować wyniki.

5. Automatyczny program komputerowy do diagnostyki hamulca tarczowego r.20

Program r.20 zastosowano do pomiarów geometrycznych hamulca tarczowego w ustalonych strefach pomiarowych. Powstał on we współpracy z firmą HARD soft Systemy Mikroprocesorowe.

Program ten realizuje następujące funkcje:

- dokonuje wyskalowania wymiarów na obrazie na podstawie wybranych elementów obrazu lub zaznaczonych wskaźników,
- odnajduje automatycznie na obrazie punkty charakterystyczne istotne z pomiarowego punktu widzenia,
- automatycznie dokonuje pomiaru odległości (grubości) pomiędzy wybranymi punktami charakterystycznymi.

Metodę którą zastosowano do analizy obrazów hamulca tarczowego, to segmentacja obrazu, a właściwie metoda detekcji krawędzi tarcz i okładzin. Na rys.2, 3 i 4 przedstawiono tarcze i okładziny hamulca z zaznaczonymi strefami pomiarowymi. Występujące tam krawędzie są elementami bardzo wąskimi, stąd zmiany jasności pikseli występują dla niewielkiej liczby pikseli należących do bezpośredniego sąsiedztwa krawędzi. Kluczową rolę w przedstawionej metodzie stanowią eksperymentalnie dobrane parametry według których możliwe jest automatyczne rozpoznanie krawędzi okładziny i tarcz hamulca tzn.

- Wartości minimów poziomu jasności dla krawędzi. Zakładając, że krawędź nigdy nie będzie na obrazie przyjmować poziomów jasności większego niż przyjęte minimum możliwe będzie wyeliminowanie lokalnych minimów.
- Nachylenie krzywej profilu jasności przed i za ekstremum świadczy o nagłej zmianie tendencji w przebiegu jasności linii decydujące o tym, czy znalezione minimum należy do bardzo wąskiej krawędzi.
- Szerokość okna pomiarowego służącego do badania wartości jasności pikseli sąsiadujących z minimum, czyli ilość pikseli po obu stronach minimum, na podstawie

których badany jest przyrost jasności, czyli dynamika zmiany, co w połączeniu z progiem, od którego minimum zaliczane jest do należącego do krawędzi decyduje o tym, czy badany punkt jest zaliczany do poszukiwanej krawędzi.

Program r.20 charakteryzuje się tym, że można ustalić na obrazie znajdującym się na monitorze komputera strefy pomiarowe używane do określenia miejsc, w których mają być analizowane elementy obrazu. Opiszemy obecnie funkcje realizowane przez program r.20 i pokażemy to na pozyskanych przez kamerę obrazach rys.2, 3 i 4.

Strefy Pomiarowe

Strefy Pomiarowe przedstawione są na rys. 2, 3 i 4 jako prostokąty umieszczone na obrazie hamulca tarczowego. Strefy można przesuwając przy pomocy myszki oraz zmieniać ich rozmiar. Standardowe położenie stref można zapamiętać opcją SAVE POSITIONS. Program wyświetla wyniki pomiaru odległości w małym oknie. Wyświetlane są tam odległości w punktach obrazu (pikselach) oraz w milimetrach z dokładnością do 0,01 mm. Pomiar realizowany jest w czasie rzeczywistym i zapamiętywany na monitorze komputera aż do następnego pomiaru. Możliwości programu i jego podstawowe funkcje opisane są na pulpicie obrazu monitora komputerowego i opisane są poniżej.

Program r.20 posiada następujące narzędzia:

Tool Bar

Tool Bar jest belką sterującą, która może być umieszczona w dowolnym miejscu ekranu i zawiera przyciski do szybkiego wykonywania najczęściej używanych poleceń. W belce znajduje się również pole tekstowe, używane do tworzenia nazwy zapisywanych na dysku plików. W celu przyspieszenia procesu zapisu plików, nazwa pliku jest tworzona automatycznie przez dodanie do tego tekstu numeru kamery i kolejnego numeru zdjęcia.

Status Bar

Status Bar jest linią stanu, wyświetlaną w dolnej części okna. Linia stanu zawiera informacje o stanie kamery oraz współrzędnych szerokości obrazu wskazywanych przez kursor myszki.

Menu File

- LOAD Otwiera jeden wybrany plik w formacie Windows - (BMP).
- LOAD SHOT Po wskazaniu jednego pliku BMP, otwiera pliki wykonane przez dwie, trzy lub cztery kamery.
- SAVE BMP Zapisuje obraz znajdujący się w wybranym oknie jako BMP. Nazwa pliku jest ustalana automatycznie. Nazwa składa się z trzech członów: Nazwy ogólnej znajdującej się na belce sterującej (TOOLBAR), numeru kamery i kolejnego numeru zdjęcia w danej serii. Każdemu obrazowi zapisywanemu przez jakąkolwiek procedurę programu towarzyszy plik tekstowy zawierający podstawowe informacje o strefach pomiarowych i wynikach pomiaru szerokości okładzin i tarcz

hamulca. Plik ten ma taką samą nazwę i rozszerzenie TXT.

- CLOSE & SAVE Zapisuje obraz znajdujący się w wybranym oknie jako BMP oraz zamyka to okno.
- CLOSE Zamyka wybrane okno bez zapisywania danych na dysku.
- LOAD CONFIGURATION Program odczytuje z dysku uprzednio zapisaną konfigurację programu i kamery. Pliki konfiguracji mają rozszerzenie INI. W momencie startu programu automatycznie jest wczytywana konfiguracja zapisana w katalogu c:\windows.
- SAVE CONFIGURATION Program zapisuje na dysku aktualną konfigurację programu i kamery.
- PRINT Drukuje obraz z wybranego okna.
- EXIT Koniec pracy z programem. Program zapisuje aktualną konfigurację w katalogu c:\windows.

Menu View

- TOOL BAR Program włącza lub wyłącza wyświetlanie belki sterującej.
- STATUS BAR Program włącza lub wyłącza wyświetlanie linii stanu.
- IMAGE SIZE Program umożliwia wybranie wielkości wyświetlanych obrazów.
- LIVE VIDEO Zostaje wyświetlony obraz pochodzący z wybranej kamery. Obraz jest odświeżany on-line. Umożliwia to np. ustawienie ostrości lub jasności obrazu. Aby zakończyć działanie tej opcji należy zamknąć okno, klikając myszką w prawym górnym rogu okna.

Menu Mode Auto

- CONFIGURATION Konfiguracja procesu automatycznego zbierania danych.

Standard Pattern - określa rodzaj wzorca użytego do kalibracji wymiarów. TWO POINTS oznacza punkty z oświetlacza laserowego, HANDLE WIDTH - oznacza szerokość uchwytu okładziny hamulcowej. PATTERN SIZE - oznacza szerokość wzorca w milimetrach.

Mode Auto. Parametr INTERFRAME TIME oznacza czas pomiędzy kolejnymi obrazami (w sekundach). Jeżeli zostanie wybrana opcja STORING BMP FILES, wtedy każdy obraz będzie zapisany na dysku w formacie BMP łącznie z plikami informacyjnymi (TXT).

- START PROCESS Rozpoczęcie procesu pomiarowego zgodnie z opcjami CONFIGURATION. Na monitorze prezentowane są on - line oba obrazy. Wyniki pomiarów zapisywane są w pliku tekstowym LOGFILE.TXT.

- STOP Kończy wykonywanie automatycznego procesu pomiarowego.
- SAVE POSITIONS Zapisuje bieżące ustawienie stref pomiarowych jako ustawienie standardowe.

Menu Camera

- INSTALL CAMERA Program automatycznie sprawdza czy kamera jest podłączona i wykonuje standardowy test. Po wykonaniu testu wyświetlane jest okno zawierające informacje o podłączonych kamerach i rodzaju interfejsu.
- STANDARD SETTING Zostaną ustawione standardowe parametry kamer, umożliwiające podgląd obrazu w warunkach normalnego oświetlenia. Tej opcji można użyć w wypadku ręcznego rozprogramowania kamery i trudności w uzyskaniu obrazu.
- ANALOG Wyłącza system cyfrowej akwizycji obrazu w kamerze. Jeżeli ta opcja jest aktywna, nie można przesłać obrazu z kamery do komputera. Możliwy jest wyłącznie podgląd obrazu na monitorze analogowym podłączonym do kamery.
- DIGITAL Włącza system cyfrowej akwizycji obrazu w kamerze. W tym trybie możliwe jest przesyłanie obrazu z kamery do komputera.
- FREEZE Powoduje zapamiętanie bieżącego obrazu w pamięci kamery. Pamięć kamery nie jest dłużej odświeżana.
- UNFREEZE Powoduje odświeżanie zawartości pamięci obrazu w kamerze.
- TRANSFER Przesyła obraz z kamery do komputera.
- SOFT TRIGGER Symuluje sprzętowy impuls triggera dla kamery.
- CAMERA SETTING Otwiera okno z parametrami kamery.

Menu Window

- CASCADE Wyświetlane okna zostaną poukładane w taki sposób, aby były widoczne wszystkie belki okien zawierające ich nazwy.
- TILE Wyświetlane okna zostaną poukładane w taki sposób, aby były widoczne wszystkie obrazy znajdujące się w oknach.
- ARRANGE ICONS Jeżeli okna są zmini-malizowane, odpowiadające im ikony zostaną uporządkowane i wyświetlone w kolejności.
- ZOOM Umożliwia wprowadzenie współczynnika powiększenia wyświetlania obrazu.
- ZOOM IN Powiększa wyświetlany obraz.

- ZOOM OUT Zmniejsza wyświetlany obraz.
- CLOSE ALL Zamyka wszystkie otwarte okna, bez zapisywania obrazów na dysku.

Menu Help

- ABOUT Wyświetla informacje o programie.
- HELP Wyświetla tekst Pomocy.

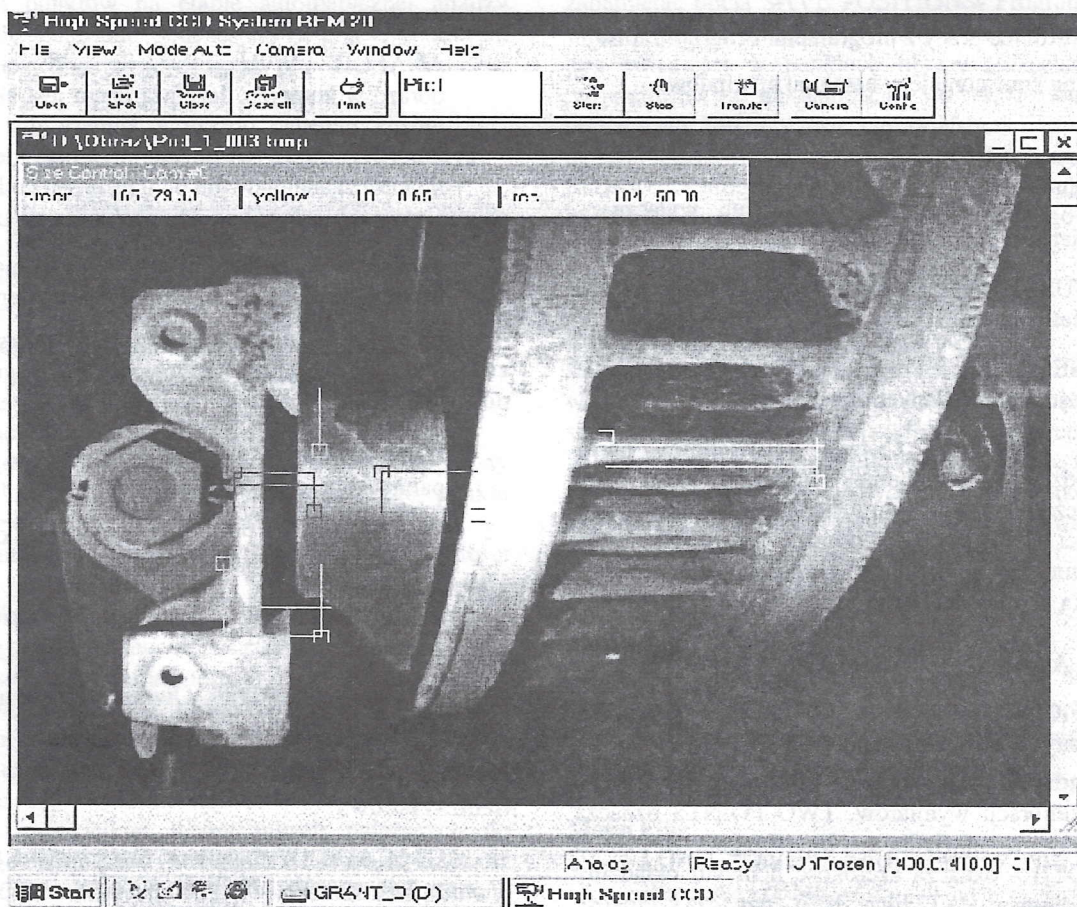
Klawisze Funkcyjne

Klawisze funkcyjne umożliwiają szybkie wydawanie poleceń z klawiatury:

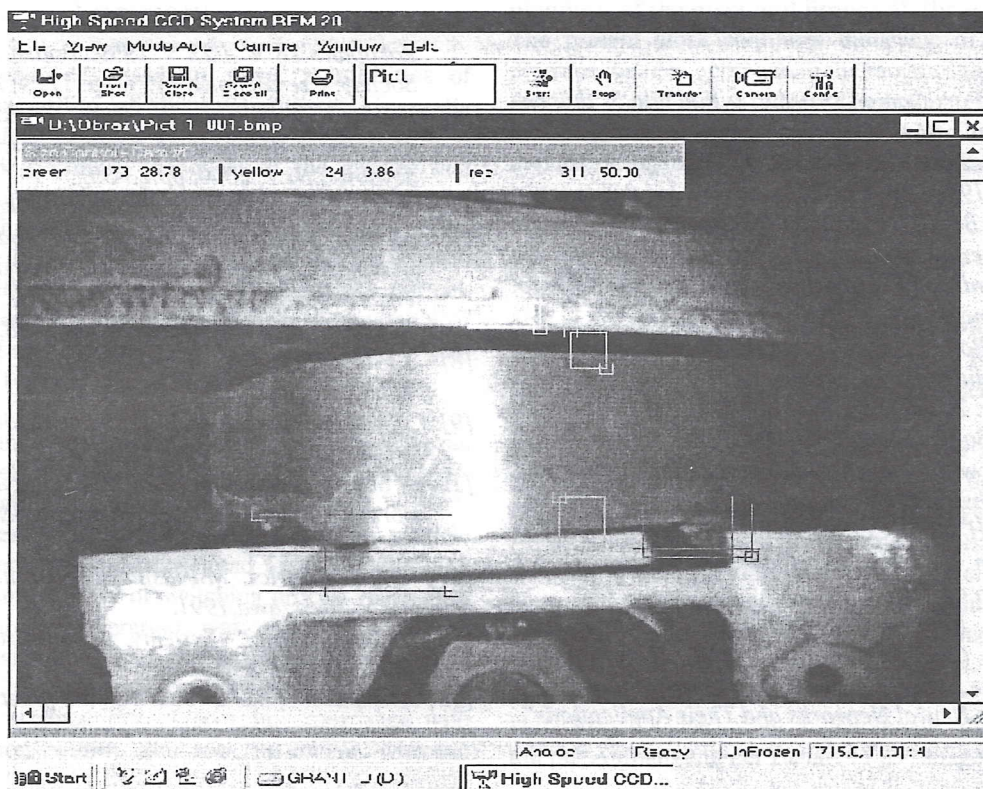
- F10 - otwarcie MENU
- Ctrl+F4 – zamknięcie okna
- Alt+F4 – zamknięcie programu
- ESC – zakończenie procesu pomiarowego
- F6 – Freeze
- F7 – UnFreeze
- F8 – Transfer
- F9 – Soft Trigger

Na rys. 2 i 3 przedstawiono obraz hamulca tarczowego z określonymi strefami pomiarowymi wraz z wynikami pomiarów podczas diagnostyki hamulca tarczowego.

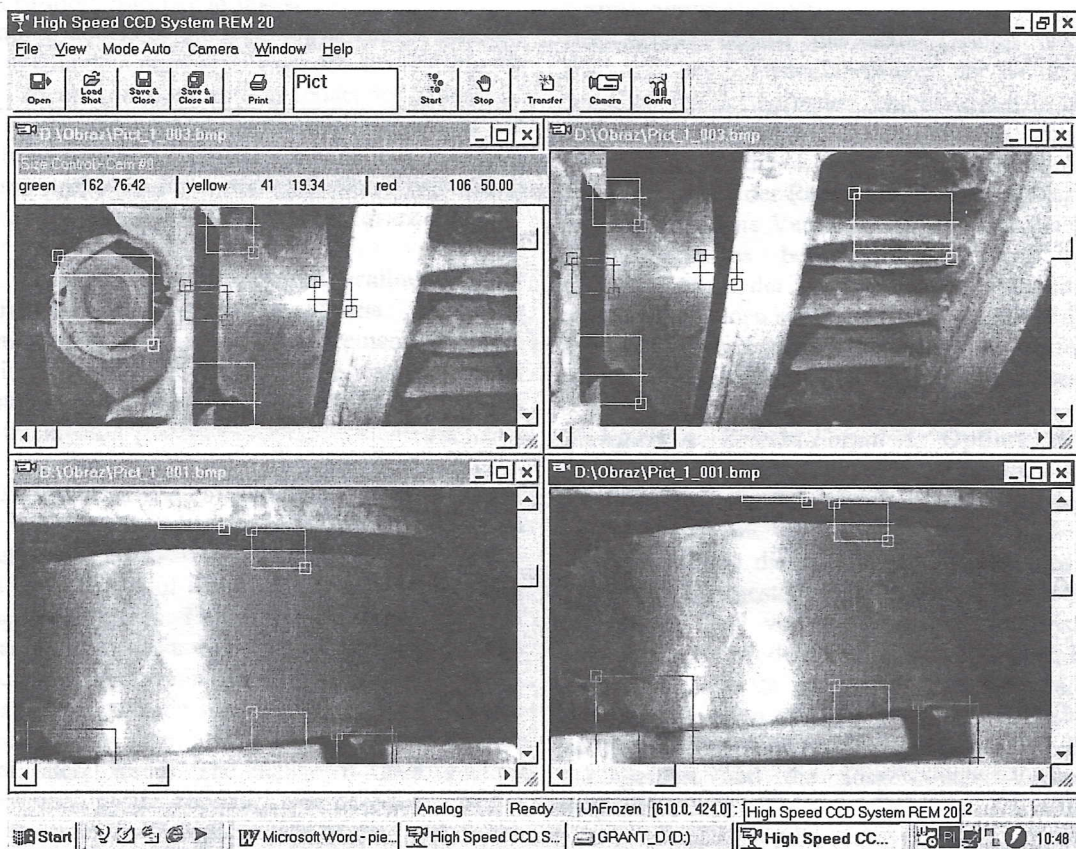
Na rys. 4 pokazano zarejestrowane przebiegi z czterech kamer.



Rys. 2 Obraz pionowy hamulca tarczowego



Rys. 3 Obraz poziomy hamulca tarczowego



Rys. 4 Obrazy z czterech kamer hamulca tarczowego

LITERATURA

- [1] S. Bocian : Pozyskanie obrazów w badaniach diagnostycznych pojazdów szynowych-hamulec tarczowy. VI Konferencja Systemów Czasu Rzeczywistego, Zakopane 27-30 maja 1999, pp. 233-242
- [2] S. Bocian, P. Boguś, M. Kaluba, A. Kardacz. Pozyskanie obrazu przez komputerowe systemy graficzne do wizyjnej kontroli i diagnostyki hamulca tarczowego. *Pojazdy Szynowe*, Nr. 2, 2000, pp. 37-53.
- [3] S. Bocian P. Boguś.: Przetwarzanie obrazu w wizyjnej kontroli i diagnostyce hamulca tarczowego *Pojazdy Szynowe*, Nr. 2, 2001, pp. 23-46.
- [4] P. Boguś., S. Bocian: Shape deformation analizys of rail car brakes with using image processing techniques, *Book of Abstracts of European Mechanics Society EUROMECH 406 Colloquium – Image Processing Methods in Applied Mechanics*, Warszawa 6-8 maj, 1999, pp. 47-49.
- [5] P. Boguś. *Neural Representation of Fuzzy and Possibilistic Clustering Algorithms*. L. Rutkowski, R. Tadeusiewicz (Eds.). *Proceedings of the Fourth Conference „Neural Networks and Their Applications”*. Zakopane 18 V – 22 V 1999. Polish Neural Networks Society, Częstochowa 1999, pp. 172 – 176.
- [6] P. Boguś, S. Bocian, P. Świtaj, P. Zadlewski. Analiza obrazów w diagnostyce hamulca tarczowego. *Pojazdy Szynowe*, Nr. 1, 2000, pp. 28-35
- [7] A. Kardacz, R. Grzeszczyk: Diagnostyka układu hamulcowego pojazdów szynowych na podstawie sygnałów wizyjnych. III Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna Diagnostyka Procesów Przemysłowych, Jurata /k Gdańsk 7-10 września 1998, pp. 361-366.
- [8] T. Pavlidis: Grafika i przetwarzanie obrazów. WNT, Warszawa, 1987.
- [9] J. Siuzdak: Wybrane metody segmentacji. *Elektronika*, Nr 2/1993 pp. 15-19
- [10] J. Siuzdak: Wybrane zastosowania szybkiej segmentacji obrazu. *Przegląd Telekomunikacyjny* Nr 1/1997 pp. 29-33.
- [11] R. Tadeusiewicz, M. Flasiński: Rozpoznawanie obrazów. PWN, Warszawa, 1991.
- [12] R. Tadeusiewicz : Systemy wizyjne robotów przemysłowych. WNT, Warszawa, 1992.
- [13] J. Woźnicki : Podstawowe techniki przetwarzania obrazu. WKŁ, Warszawa, 1996.