

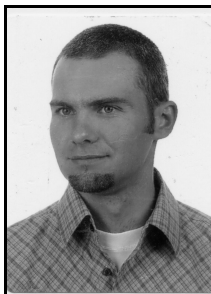
Marek FIDALI, Wojciech JAMROZIK

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY, KATEDRA PODSTAW KONSTRUKCJI MASZYN

Termowizyjny system monitorowania i diagnostyki obiektów technicznych

Dr inż. Marek FIDALI

Absolwent Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. Od 2003 zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Podstawowe zainteresowania i kierunki badań dotyczą metod diagnostyki technicznej, termowizji, metod przetwarzania i analizy sygnałów oraz obrazów, analizy modalnej, systemów pomiarowych a także wibro-akustyki.



e-mail: marek.fidali@polsl.pl

Mgr inż. Wojciech JAMROZIK

Absolwent Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. Od 2007 uczestnik studiów doktoranckich w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Podstawowe kierunki prac badawczych obejmują metody diagnostyki technicznej i termowizji, przetwarzania, analizy i rozpoznawania obrazów oraz fuzji informacji niepewnej w diagnostyce maszyn i procesów.



e-mail: wojciech.jamrozik@polsl.pl

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano termowizyjny system monitorowania i diagnostyki obiektów technicznych bazujący na idei jednoczesnej analizy obrazów wizyjnych i termowizyjnych. Kamera wizyjna zastosowana w systemie pełni m.in. rolę pomocniczą i pozwala identyfikować zakłócenia zewnętrzne w zakresie światła widzialnego mogące wpływać na przebiegi sygnałów diagnostycznych wyznaczanych na podstawie obserwacji termowizyjnej. W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań weryfikacyjnych potwierdzających zasadność obserwacji obiektu w świetle widzialnym.

Słowa kluczowe: diagnostyka termowizyjna, system monitorowania, fuzja obrazów.

Thermovision monitoring and diagnosing system of technical objects

Abstract

In the paper a thermovision system for monitoring and diagnosing technical objects is presented. The system is based on an idea of simultaneous analysis of vision and thermographic images acquired with the use of an integrated head. The thermovision camera allows acquiring images in infrared and is the primary source of diagnostic data for the system. The camera that works in visible light is applied in the system as an additional device. It is used in order to identify external disturbances within the range of visible light caused by different light sources, presence of humans and various objects. This kind of disruption may affect the waveform of diagnostic signals generated during thermographic observation. A group of additional signals is also registered, inter alia ambient temperature and humidity. On the basis of these signals control and process parameters are gathered. Images, additional signals and information about observed objects are gathered in a specially developed database. The software part of the system is able to process and analyze data obtained from numerous sources. The application of multimodal image fusion to technical object diagnosing is a novel approach. The preliminary investigations were carried out in order to assess the usefulness of the proposed idea. During the experiment a technical object was observed and disturbances in lightning conditions were simulated. The results obtained from the system prototype version confirm the usefulness of multimodal images for diagnostics of technical objects.

Keywords: thermovision diagnostics, monitoring systems, image fusion.

1. Wstęp

Powszechny dostęp do szerokiej gamy urządzeń obrazowania w podczerwieni w znaczący sposób wpłynął na liczbę aplikacji urządzeń termowizyjnych w różnych dziedzinach przemysłu, nauki i techniki. Istotną zaletą stosowania kamer termowizyjnych jest możliwość jednoczesnej obserwacji wielu punktów badanego obiektu, a także wielu obiektów jednocześnie, o ile znajdują się one w polu widzenia optyki termografu. Większość badań termowizyjnych ma charakter jednorazowych lub cyklicznych inspekcji obiektu, w trakcie których operator kamery na podstawie analizy

termogramów ocenia obserwowane zjawiska cieplne i wnioskuje o przyczynach ich zaistnienia. Efektywna analiza i ocena obrazów termowizyjnych jest zadaniem czasochłonnym, wymagającym od operatora dużej wiedzy i doświadczenia. Dzięki pojawieniu się przystępnych cenowo kamer termowizyjnych do zastosowań przemysłowych [6] możliwe stało się prowadzenie ciągłego monitorowania obiektów technicznych i procesów przemysłowych.

Ciągła obserwacja termowizyjna obiektów i procesów wymaga zaplanowania sposobu przetwarzania i analizy dużej liczby ciągle generowanych obrazów termowizyjnych. W najprostszym przypadku stosuje się podejście polegające na kontroli wartości temperatury w wybranych obszarach obrazu oraz sygnalizację przekroczenia zadanych wartości progowych. W wielu przypadkach takie podejście jest skuteczne, aczkolwiek są sytuacje, gdzie może okazać się niewystarczające. Bardziej wyrafinowanej metodyki przetwarzania i analizy sekwencji obrazów termowizyjnych wymagają objekty i procesy o znaczeniu istotnym dla funkcjonowania przedsiębiorstwa. W takich przypadkach uzasadnione, zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa, jak również czynników ekonomicznych, jest stosowanie zintegrowanych systemów monitorowania, kontroli i diagnostyki obiektów i procesów (SCADA). Możliwe jest integrowanie urządzeń termowizyjnych z systemami SCADA, jednak podejście takie zwykle nie uwzględnia możliwości zastosowania różnych zaawansowanych metod przetwarzania i analizy obrazów [1], pozwalających na ekstrakcję cech termogramów, umożliwiających zidentyfikowanie takich zjawisk cieplnych zakodowanych w termogramie, które nie są możliwe do opisanego poprzez obserwację wartości pojedynczych punktów obrazu lub średnich wartości we wskazanych obszarach.

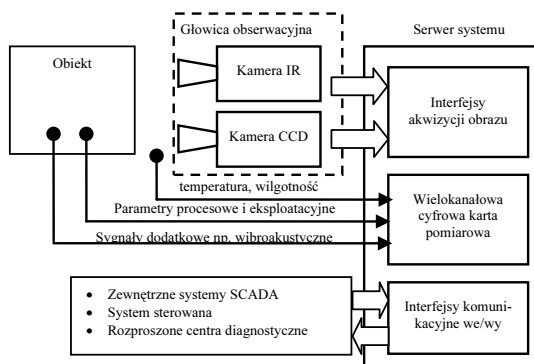
W ramach prowadzonych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn badań nad rozwojem metod termowizyjnej diagnostyki maszyn, urządzeń i procesów z zastosowaniem metod przetwarzania i analizy obrazów [1, 2] zaproponowano metodykę analizy sekwencji obrazów termowizyjnych oraz koncepcję systemu ciągłego monitorowania i diagnostyki maszyn bazującego na zaawansowanych metodach przetwarzania i analizy obrazów termowizyjnych i wizyjnych a także zaawansowanych technologiach gromadzenia i przetwarzania danych. Proponowane rozwiązanie pozwoli na prowadzenie obserwacji obiektu technicznego w czasie trwania jego eksploatacji i jednocześnie wyznaczanie parametrów diagnostycznych. Jak pokazują prowadzone badania, analiza sygnałów diagnostycznych wyznaczonych na podstawie rejestrowanych obrazów termowizyjnych pozwala na identyfikację oraz prognozowanie zmian stanu technicznego obiektu, co pozwala na zaplanowanie działań naprawczych lub remontowych. Podczas opracowywania koncepcji omawianego systemu monitorowania i diagnostyki uwzględniono możliwość jego elastycznego dopasowania do różnych klas maszyn i urządzeń. W artykule poza ogólnym opisem koncepcji i istoty działania systemu przedstawiono również jeden z istotnych aspektów dotyczących łączenia analizy obrazów termowizyjnych i wizyjnych, który zaimplementowano w opracowywanej wersji prototypowej systemu. W celu weryfikacji

przydatności wybranych modułów systemu przeprowadzono wstępne badania, których wyniki zamieszczono w artykule.

2. Koncepcja termowizyjnego systemu monitorowania i diagnostyki obiektów technicznych

Koncepcję termowizyjnego systemu monitorowania i diagnostyki obiektów technicznych można rozpatrywać przez pryzmat jego struktury, którą podzielono na część sprzętową i część programową.

Schemat blokowy części sprzętowej przedstawiono na rys. 1. Podstawowym jej elementem jest głowica obserwacyjna składająca się z kamery termowizyjnej i kamery wizyjnej. Zadaniem głowicy jest jednoczesna obserwacja obiektu w podczerwieni i w świetle widzialnym w obszarze ograniczonym przez pola widzenia stosowanych kamer. Podejście takie zdeterminowało nazwę systemu jako 'termowizyjny'. Należy zaznaczyć, że kamery powinny mieć tak dobrane układy optyczne, aby obszary widzenia były do siebie zbliżone, a osie optyczne równoległe, co ułatwia późniejszą kalibrację systemu w celu nakładania i fuzji obrazów. Kamera termowizyjna jest podstawowym źródłem danych diagnostycznych w systemie monitorowania. Kamera wizyjna pełni funkcję pomocniczą i ma za zadanie dostarczyć obrazy w świetle widzialnym przedstawiające obiekt i jego otoczenie. Na podstawie obrazów wizyjnych możliwa jest ocena wpływu zmian zachodzących w otoczeniu obiektu (przechodzący ludzie, poruszające się źródła ciepła) i zmian oświetlenia obiektu na wartości wyznaczanych cech obrazów termowizyjnych. Obraz wizyjny w systemie jest traktowany zarówno jako niezależne źródło danych jak i element niezbędny do generowania syntetycznego obrazu diagnostycznego w wyniku fuzji obrazów.



Rys. 1. Schemat blokowy ogólnej struktury sprzętowej termowizyjnego systemu monitorowania i diagnostyki

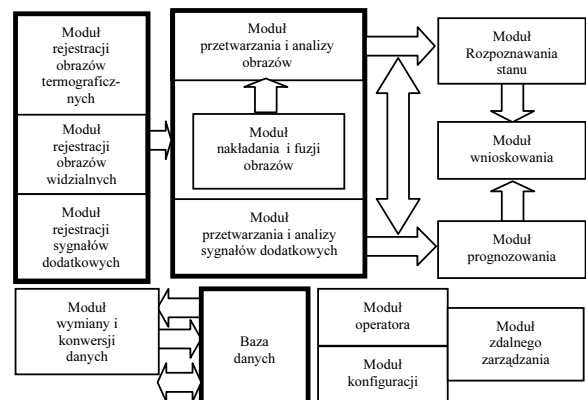
Fig. 1. Block diagram of a general structure of the thermovision monitoring and diagnostic system hardware part

W systemie zaproponowano zastosowanie wielokanałowej karty pomiaru sygnałów dodatkowych, które ze względu na znaczenie pełnią w systemie kilka zadań i mogą zostać podzielone na dwie grupy. Pierwsza grupa sygnałów dodatkowych pozwala na ocenę wpływu otoczenia maszyny i warunków zewnętrznych na ścieżkę transmisji promieniowania podczerwonego, a zatem i informacje kodowane w obrazie termowizyjnym. Sygnały te pochodzą z torów pomiarowych obserwujących np. temperaturę otoczenia, wilgotność itp. Ocena warunków zewnętrznych pozwala na rozpoznawanie zmian wartości sygnałów diagnostycznych niezwiązanych z faktycznym stanem obiektu, a zatem ograniczenie liczby fałszywych przekroczeń wartości progowych sygnałów diagnostycznych wyznaczanych z sekwencji obrazów termowizyjnych.

Druga grupa sygnałów dodatkowych, które mogą być obserwowane przez omawiany system, dotyczy sygnałów sterowania, parametrów procesowych i procesów resztkowych (np. wibroakustycznych) pozyskiwanych z fabrycznie zainstalowanych na obiekcie czujników lub istniejących układów monitorowania. Pozyskiwanie tego typu sygnałów pozwala na podniesienie skuteczności działania systemu w zakresie formułowanych decyzji diagnostycznych

i jednocześnie czyni system elastycznym pod kątem jego dostosowania do obserwacji różnego rodzaju obiektów technicznych.

Obrazy z kamer oraz dodatkowe sygnały, poprzez odpowiednie interfejsy wejściowe (w wersji prototypowej dla głowicy obserwacyjnej zastosowano interfejs FireWire), trafiają do serwera systemu, w którym część programu systemu (rys. 2) realizuje zadania rejestracji, przetwarzania i analizy obrazów w celu wyznaczenia sygnałów diagnostycznych, na podstawie których odpowiednie moduły oprogramowania umożliwiają sklasyfikowanie bieżącego stanu technicznego, podjęcie decyzji diagnostycznej i prognozowanie zmian stanu technicznego. Informacje wygenerowane przez moduły wnioskowania diagnostycznego stanowią przesłanki dla operatora systemu oraz układu sterowania obiektu do podjęcia odpowiednich działań eksploatacyjnych. Bardzo ważne i uzasadniające celowość zastosowania kamery wizyjnej jest istnienie w systemie modułu pozwalającego na nakładanie i fuzję obrazów wizyjnych i termowizyjnych. W części programowej systemu przewidziano również moduły operatora i konfiguracyjne pozwalające na ustawienie i zapisanie wszelkich parametrów akwizycji, przetwarzania i analizy obrazów, włączając w to proces kalibracji. Dodatkowo zaplanowano moduł pozwalający na zdalne zarządzanie systemem poprzez sieć Internet z poziomu przeglądarki internetowej.



Rys. 2. Schemat blokowy ogólnej struktury programowej termowizyjnego systemu monitorowania i diagnostyki

Fig. 2. Block diagram of general structure of the thermovision monitoring and diagnostic system software part

2.1. Baza danych systemu

Wielomodalne dane generowane podczas działania termowizyjnego systemu monitorowania i diagnostyki gromadzone są w specjalnie do tego celu opracowanej relacyjnej bazie danych. Pozwala ona na gromadzenie danych o obserwowanych obiektach, [2] urządzeniach pomiarowych, rejestrowanych sygnałach oraz ich cechach, jak również gromadzenie wartości cech stanów technicznych i decyzje podejmowane przez układ wnioskowania diagnostycznego. Ze względu na konieczność rejestrowania obrazów zdecydowano się na ich zapis w plikach w przestrzeni dyskowej serwera. W bazie danych zapisywane są jedynie informacje o położeniu, nazwie pliku oraz czasie jego utworzenia. Podejście takie ułatwiło dostęp do zarejestrowanych plików obrazów z poziomu komercyjnego oprogramowania przeznaczonego do analizy obrazów wizyjnych i termowizyjnych w fazie testowania systemu. Utworzenie dodatkowych procedur kompresji danych pozwoliło na utworzenie bazy danych o dużej wydajności.

Bezpieczeństwo zgromadzonych danych jest zapewniane przez cyklicznie realizowane procedury tworzenia kopii zapasowych na podstawie zdefiniowanego harmonogramu lub manualnie.

Zamysłem autorów była możliwość integracji opracowanej bazy danych z bazami zewnętrznymi systemów monitorowania i diagnostyki maszyn. W związku z tym przewidziano możliwość zdalnego dostępu do danych i wymianę danych z wykorzystaniem odpowiednio przygotowanych plików XML.

2.2. Implementacja systemu

Uwzględniając prototypowy charakter proponowanego systemu monitorowania oraz konieczność zapewnienia dużej elastyczności w zakresie jego modyfikacji i rozbudowy, zdecydowano, że aplikacja kliencka systemu zostanie zrealizowana w środowisku programistycznym LabVIEW, zapewniającym duże możliwości w obsłudze różnego rodzaju aparatury pomiarowej i standardów komunikacyjnych oraz baz danych. Aplikację zaprojektowano w taki sposób, aby miała ona strukturę modułową. Takie podejście pozwala na stosunkowo proste dodawanie nowych funkcjonalności oraz szybką modyfikację istniejących. Jądro systemu stanowi serwer modułów, który odpowiada za ładowanie poszczególnych podprogramów i ich współdziałanie. Dodatkowym zadaniem serwera jest generowanie sygnału synchronizującego moduły oraz czas wyzwania poszczególnych kamer, a co za tym idzie akwizycję obrazów. Wszystkie moduły aplikacji zrealizowano w postaci niezależnie funkcjonujących aplikacji systemu LabVIEW. Dzięki zastosowaniu w aplikacjach odpowiednich portów stworzono możliwość wzajemnej komunikacji polegającej na wysyłaniu i odbieraniu sygnałów sterujących, synchronizacyjnych, jak również buforowaniu zarejestrowanych lub wygenerowanych przez oprogramowanie danych.

W aktualnie działającej w warunkach laboratoryjnych wersji prototypowej systemu (rys. 3) zaimplementowano podstawowe moduły rejestracji obrazów, konfiguracji i sterowania parametrami urządzeń obrazowania, moduł bazodanowy, a także w ograniczonym zakresie moduły przetwarzania i analizy obrazów w tym moduł fuzji obrazów. Prace nad rozwojem pozostałych funkcjonalności systemu są w trakcie realizacji.



Rys. 3. Widok głowicy obserwacyjnej oraz serwera systemu z działającymi modułami programowymi do wizualizacji i rejestracji obrazów

Fig. 3. View of the observation head and system server with running image visualization and recording software modules

3. Metodologia łącznej analizy obrazów termowizyjnych i wizyjnych realizowana w systemie

W termowizyjnym systemie monitorowania i diagnostyki zaproponowano jednoczesną rejestrację i analizę obrazów termowizyjnych i wizyjnych. Celem takiego postępowania jest możliwość identyfikacji zakłóceń w obrazowaniu termowizyjnym spowodowanym powstawaniem odbłasków świetlnych, poruszaniem się w polu widzenia kamery obiektów, ludzi czy zwierząt.

Konieczność uwzględnienia takich zjawisk wynika z charakteru działania systemu w trybie ciągłym, a umiejętność ich identyfikacji pozwoli na uniknięcie błędnych diagnoz o stanie technicznym maszyny. W celu jednoczesnego przetwarzania i analizy obrazów wizyjnych i termowizyjnych zaproponowano dwie metody. Pierwsza z nich polega na wzajemnym dopasowaniu geometrycznym obrazów i niezależnym ich analizowaniu z zastosowaniem odpowiednio dobranych metod analizy w celu wyznaczenia sygnałów diagnostycznych [1]. Detekcja zakłóceń polega w tym przypadku na weryfikacji wartości współczynnika korelacji wzajemnej pomiędzy dwoma sygnałami w chwili wykrycia przez system przekroczenia zadanej wartości symptomu diagnostycznego.

W razie wysokiej wartości współczynnika korelacji alarm uznawany jest za fałszywy, w przypadku braku korelacji - prawdopodobieństwo powstania niekontrolowanej zmiany stanu technicznego można uznać za wysokie.

W drugiej z rozpatrywanych metod poza wzajemnym dopasowaniem geometrycznym obrazów zaproponowano zastosowanie

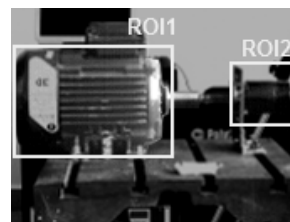
analizy obrazu syntetycznego wygenerowanego w wyniku fuzji obrazów termowizyjnego i wizyjnego.

3.1. Geometryczne dopasowanie obrazów

Obrazy pozyskiwane przez termowizyjny system monitorowania i diagnostyki przedstawiają te same fragmenty obserwowanej sceny, jednak skala obrazowanych obiektów i ich położenie mogą się wzajemnie różnić, co wynika z przesunięcia osi optycznych kamer, różnic w układach optycznych i konstrukcji kamer (rozmiarach detektorów). Łączna analiza obrazów termowizyjnych wymaga takiego dopasowania wzajemnego cech geometrycznych i położenia obiektów na obrazach, aby wzajemnie się pokrywały. Istnieją metody dopasowania geometrycznego obrazów (ang. Image Registration Methods). Powszechnie stosuje się dwie główne grupy metod [9]: wykorzystujące przekształcenia powierzchniowe oraz oparte na cechach obiektów reprezentowanych na obrazach (np. krawędzie, punkty, środki ciężkości regionów, momenty, itp.). Spośród dostępnych metod dopasowywania obrazów, uwzględniając możliwe rodzaje różnic geometrycznych obrazów rejestrowanych przez rozpatrywany system, wybrano metodę opartą na zastosowaniu transformaty Fouriera i twierdzenia o przesunięciu, należąca do grupy metod powierzchniowych. Skalowanie obrazu jest dokonywane przy założeniu, że rozdzielczości obrazów są znane i nie zmieniają się w czasie.

3.2. Fuzja obrazów

Fuzję obrazów należy rozumieć jako generowanie obrazu syntetycznego wskutek agregacji dwóch lub więcej obrazów pochodzących z odmiennych źródeł, zarejestrowanych dla danej sceny w różnym czasie lub przy różnym położeniu kamer. Podkreślić należy, że fuzja powinna być traktowana nie tylko jako proste złożenie obrazów uzyskane np. poprzez uśrednianie wartości luminancji odpowiednich pikseli, ale jako sposób przetwarzania, który pozwala na identyfikację obszarów charakterystycznych i ich uwytłumienie w obrazie wynikowym. Dotychczas opracowano wiele rozmaitych metod fuzji. W przypadku obrazów rejestrowanych w zakresie światła widzialnego oraz podczerwieni na uwagę zasługują metody wykorzystujące piramidy Laplace'a [7], metody bazujące na dyskretniej transformacji falkowej (DWT) [4], analizie głównych składowych, metodzie transformacji przestrzeni własnej [5] lub sieci neuronowych [8].



Rys. 4. Przykład obrazu będącego wynikiem operacji dopasowania geometrycznego i fuzji obrazów termowizyjnego i wizyjnego

Fig. 4. Example of the image obtained as a result of registration and fusion of thermovision and vision images

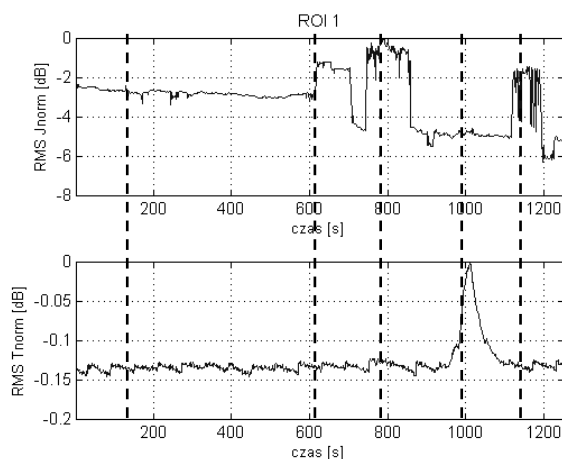
Zastosowanie fuzji obrazów pozwala na wygenerowanie obrazu syntetycznego (rys. 4) posiadającego cechy obrazów składowych co w pewnych wypadkach pozwala na pozyskanie skondensowanych cech diagnostycznych, na podstawie których możliwa jest jednoczesna analiza zjawisk zachodzących w zakresie podczerwieni i w świetle widzialnym.

3.3. Ocena przydatności jednoczesnej obserwacji obiektu w podczerwieni i świetle widzialnym

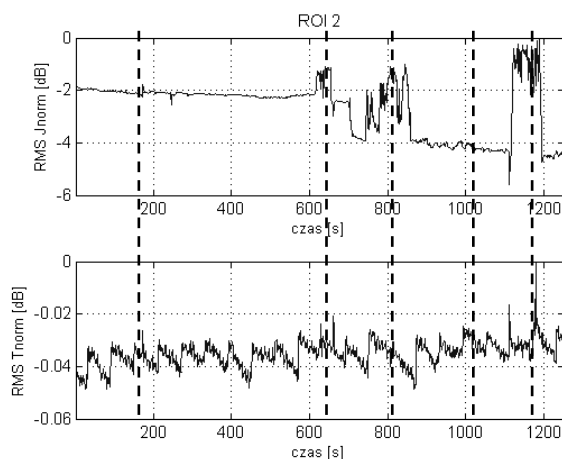
W celu weryfikacji słuszności zastosowania kamery wizyjnej w celu identyfikacji zakłóceń wywołanych zmianami w otoczeniu

obiekty przeprowadzono eksperyment badawczy na stanowisku laboratoryjnym składającym się z silnika synchronicznego prądu przemiennego sprzęgniętego z prądnicą tachometryczną (rys. 4). W trakcie eksperymentu prowadzono ciągłą obserwację i rejestrację obrazów obiektów z zastosowaniem opisywanego termowizyjnego systemu monitorowania i diagnostyki. Podczas działania maszyn wprowadzono zakłócenia polegające na zmianach warunków oświetlenia w taki sposób, aby na powierzchniach obiektów powstawały odbłaski świetlne. Dodatkowo symulowano uszkodzenie silnika, nagrzewając jego korpus punktowo strumieniem gorącego powietrza.

W celu analizy obrazów przeprowadzono operację dopasowania geometrycznego obrazów, a następnie wydzielono dwa obszary zainteresowania reprezentujące odpowiednio silnik (ROI1) i prądnicę (ROI2) (rys. 4). Przetwarzanie i analiza wydzielonych obszarów polegała na normalizacji ich wartości w odniesieniu do wartości maksymalnych w całej zarejestrowanej sekwencji, a następnie wyznaczaniu, niezależnie dla obrazu termowizyjnego i wizyjnego, sygnałów diagnostycznych reprezentowanych przez przebiegi wartości skutecznych temperatury znormalizowanej (T_{norm}) i jasności znormalizowanej (J_{norm}) w rozpatrywanych obszarach zainteresowania. Na rysunkach 5 i 6 zaprezentowano przebiegi wyznaczonych sygnałów diagnostycznych odpowiednio dla obszaru ROI1 (silnik) i ROI2 (prądnica).



Rys. 5. Sygnały diagnostyczne wyznaczone dla obszaru silnika (ROI1) na podstawie analizy sekwencji obrazów wizyjnych i termowizyjnych
Fig. 5. Diagnostic signals in motor area (ROI1) estimated on a basis of vision and thermovision image sequence analysis



Rys. 6. Sygnały diagnostyczne wyznaczone dla obszaru prądnicy (ROI2) na podstawie analizy sekwencji obrazów wizyjnych i termowizyjnych
Fig. 6. Diagnostic signals in generator area (ROI2) estimated on a basis of vision and thermovision image sequence analysis

Na wykresach zaznaczono chwile wprowadzania zakłóceń odpowiadające: zmianom oświetlenia w pomieszczeniu wywołanymi odsłonięciem i przysłonięciem żaluzji (rys. 5 i 6 - 200s), zmianom oświetlenia wywołanymi lampą halogenową umieszczoną w pobliżu obiektu (rys. 5 i 6 - 650s), ruchem osób w tle sceny (rys. 5 i 6 - 800s i 1100s), nagrzewaniem korpusu silnika strumieniem powietrza (rys. 5 - 1000s).

Analiza przebiegów sygnałów diagnostycznych potwierdza istnienie wpływu zmian oświetlenia na zmiany wartości cech obrazów termowizyjnych. Zaobserwowane zmiany są niewielkie, co wynika z zakresu i krótkiego czasu trwania wprowadzanych zakłóceń oraz niskiej czułości zastosowanej kamery (ok. 100mK). Zakłócenia, wywołane chwilowym wzrostem temperatury oraz obecnością osób w tle sceny, są dobrze identyfikowalne, ale tylko na odpowiednich przebiegach sygnałów diagnostycznych. Jak należało się spodziewać, zakłócenia czysto termiczne nie znajdują odwzorowania w przebiegach sygnałów wizyjnych i vice versa.

4. Wnioski

Przedstawiona w artykule koncepcja systemu monitorowania i diagnostyki bazującego na głowicy obserwacyjnej składającej się z kamery termowizyjnej i wizyjnej może znaleźć zastosowanie w monitorowaniu i diagnostyce stanu technicznego zarówno pojedynczych obiektów technicznych jak również zespołów maszyn co potwierdzają wstępne badania z zastosowaniem prototypu systemu. Zaprezentowane wyniki badań wstępnych mają charakter jakościowy i wskazują zasadność zastosowania obok kamery termowizyjnej dodatkowej kamery wizyjnej w celu identyfikacji zmian w otoczeniu maszyny mogących oddziaływać na wartości cech diagnostycznych obrazów termowizyjnych. Należy się spodziewać, że zastosowanie wybranej metody fuzji obrazów pozwoli na pozyskanie obrazu łącznego, którego analiza usprawni proces wnioskowania o stanie technicznym obserwowanego obiektu. W celu ilościowej oceny przydatności metrologicznej proponowanego systemu oraz oceny przydatności zastosowania fuzji obrazów konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009.

5. Literatura

- [1] Fidali M., Bzymek A.: Identification of changes of machine technical state on the basis of PCA of sequence of thermographic images. *Diagnostyka*, 3(51), 2009, 45-48.
- [2] Fidali M., Jamrozik W.: Baza danych termowizyjnego systemu ciągłego monitorowania i diagnostyki maszyn. Bazy danych. Rozwój metod i technologii. Bezpieczeństwo, wybrane technologie i zastosowania. Kozielski S., Małyśiak B., Kasprowski P., Mrozek D. (ed.). Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008, pp. 289 -300.
- [3] Kumar, S. S.; Muttan, S. PCA-based image fusion. *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XII*. Edited by Shen, Sylvia S.; Lewis, Paul E.. Proceedings of the SPIE, Volume 6233, pp. 62331T (2006).
- [4] Li H., Manjunath S., Mitra S.: Multisensor image fusion using the wavelet transform, *Graphical Models and Image Processing* 57 (3) (1995), 235-245.
- [5] Lipchen A. C., Sandor Z. D., Nasser M. N., Dualband FLIR fusion for automatic target recognition, *Information Fusion*, Volume 4, Issue 1, March 2003, pp. 35-45.
- [6] Madura H.: *Pomiary termowizyjne w praktyce*. Praca zbiorowa. Agencja wydawnicza PAK, Warszawa 2004.
- [7] Toet A.: Hierarchical image fusion, *Machine Vision and Applications* 3 (1990), 1-11.
- [8] Waxman, A. M, et al., "Neural processing of targets in Visible, Multispectral, IR and SAR Imagery," *Neural Networks*, Vol. 8, No. 7/8, 1995, pp 1029-1051.
- [9] Zitova B., *Image registration methods: a survey*, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, No. 11. (October 2003), pp. 977-1000.