

**Sebastian BUDZAN**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI, ZAKŁAD POMIARÓW I SYSTEMÓW STEROWANIA,  
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

**Wykorzystanie map gradientów w fuzji termogramów i obrazów wizyjnych**

Dr inż. Sebastian BUDZAN

Ukończył studia magisterskie na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, na kierunku Automatyka i Robotyka, specjalności Systemy Pomiarowe. W roku 2008, na tym samym wydziale uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Swoje zainteresowania naukowe koncentruje wokół metod przetwarzania obrazów 2D/3D w systemach pomiarowych oraz problematyki pomiarów termowizyjnych i przetwarzania termogramów dla potrzeb szeroko pojętej biometrii.

e-mail: Sebastian.Budzan@polsl.pl

**Streszczenie**

W artykule omówiono metody fuzji termogramów i obrazów wizyjnych oraz przedstawiono algorytm fuzji bazujący na wykorzystaniu map gradientów temperatury w termogramie. Zaproponowany algorytm fuzji pozwala uwzględnić lokalne, dynamiczne zmiany temperatury. Algorytm map gradientowych dostosowano do termogramów poprzez wprowadzenie modyfikacji polegających na wprowadzeniu informacji obszarowej do algorytmu (rozszerzona maska, dyatacja). Proponowane rozwiązanie porównano z wybranymi istniejącymi metodami. Przeprowadzone eksperymenty zarówno wizualnie, jak i numerycznie wykazują efektywność proponowanego rozwiązania.

**Słowa kluczowe:** fuzja obrazów, termogram, obraz wizyjny.

**The use of gradient maps in fusion of infrared and visual images****Abstract**

The fusion of measurement data includes a description of all the phenomena occurring in the real world by the simultaneous use of sensors of different physical quantities. The fusion of thermal images and visual images based on the use of maps of temperature gradients in the thermal images is presented in the paper. The methods of image fusion can be generally divided into two categories: pixel-based and region-based methods. Algorithms that use simple information about the intensity of pixels or temperature are characterized by the time effectiveness, but as shown in Fig. 2 do not give satisfactory results. A gradient map of temperatures in the thermal images allows for assessment of local, very dynamical changes of temperature, also determines the velocity and direction of changes in the thermal image temperature. A disadvantage of using a gradient map image is its sensitivity to any, even the smallest changes in the temperature. The gradient map algorithm was adapted to the thermal images by the proposed modifications based on the region-based information: gradient map automatic thresholding, expanding of the pixel-region, also morphological operation. The proposed solution was compared with selected methods. The paper also discusses the experimental studies and the results, which allowed evaluating the effectiveness of the developed algorithm.

**Keywords:** images fusion, thermogram, visual image.

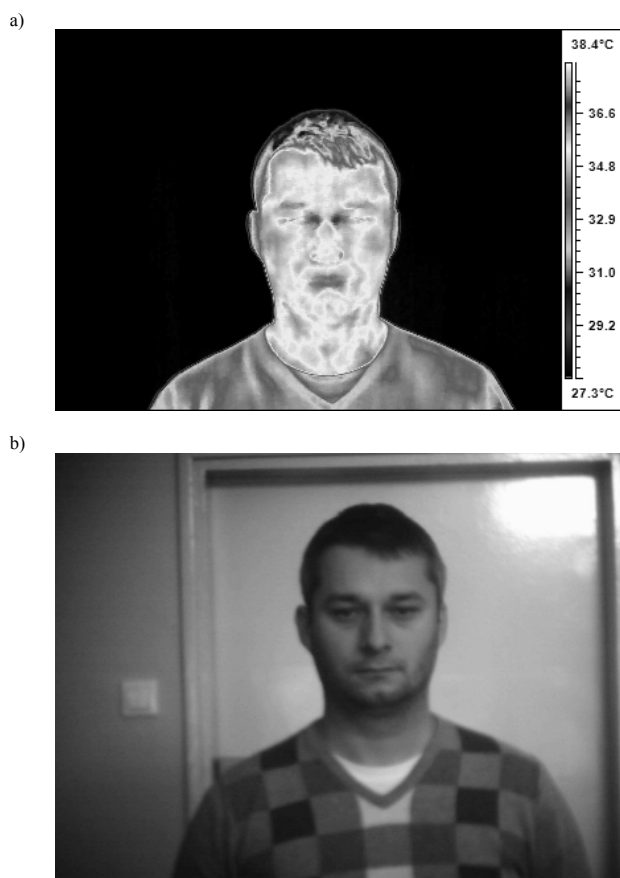
**1. Wprowadzenie**

Fuzja danych pomiarowych obejmuje opis wszelkich zjawisk zachodzących w rzeczywistym świecie za pomocą jednoczesnego wykorzystania czujników różnych wielkości fizycznych. Informacja uzyskana z więcej niż jednego czujnika pozwala na znacznie lepszą analizę badanego zjawiska, sygnały z czujników nie wpływają na siebie wzajemnie, w związku z tym ich fuzja powinna pozwolić na ekstrakcję cech, które dominują w sygnałach.

Czujniki pomiarowe są wrażliwe na określone wielkości fizyczne, np. czujniki wizyjne (CCD, CMOS) są wrażliwe na światło widzialne, natomiast czujniki podczerwieni wrażliwe są na energię emitowaną przez objekty. Detektory podczerwieni pracują w paśmie średniej podczerwieni o długość fali od 0,7  $\mu\text{m}$  do

14  $\mu\text{m}$ , natomiast detektory wizyjne o długości 0,4  $\mu\text{m}$  do 0,7  $\mu\text{m}$ . Fuzja obrazów w przypadku czujników wizyjnych (obraz cyfrowy 2D) i podczerwieni (termogram) prowadzić może do wykorzystania jednego z nich do poprawy jakości drugiego, bądź też do utworzenia nowego obrazu będącego w ściśle określonym stopniu wypadkową obydwu obrazów [1].

Zarówno detektory światła widzialnego, jak i podczerwonego posiadają cechy, które powodują, że ich niezależne zastosowanie, a następnie wnioskowanie na podstawie tylko jednego z nich może prowadzić do błędnych decyzji. Wpływ oświetlenia jest dominującym czynnikiem powodującym problemy w akwizycji dobrej jakości obrazów w świetle widzialnym [2]. Wadą obrazowania termograficznego jest problem z oceną kształtów obiektów, czy też ich rozróżniania, gdy cechuje je zbliżona temperatura, jak również już niewielkie źródło energii cieplnej znajdujące się w otoczeniu obiektu pomiaru może w znaczący sposób wpływać na wynik pomiaru. Na rysunku 1a. widoczny jest termogram zawierający fragment ludzkiej postaci, w tej sytuacji ekstrakcja twarzy z obrazu jest efektywniejsza niż w obrazie wizyjnym. Rysunek 1b prezentuje zaletę obrazowania w świetle widzialnym, wyższą szczegółowość tekstury ludzkiej postaci oraz tła, niewidocznych w paśmie podczerwonym.



Rys. 1. Przykładowy termogram (a) i obraz w świetle widzialnym (b) twarzy  
Fig. 1. The face thermal image with glasses

Przeprowadzenie fuzji obrazów wymaga spójności danych pod względem rozdzielczości obrazów, jak również zniekształceń obiektu widzianego w różnych pasmach widma światła. Najczęściej obraz wizyjny posiada większą rozdzielczość od termogramu, wówczas należy dążyć do dekompozycji obrazu wizyjnego, co pozwala na wykorzystanie pełnej informacji z obrazu wizyjnego. Obecnie stosowane kamery termowizyjne bardzo często wy-

posażone są w dodatkową kamerę wizyjną, w związku z tym, że odległość pomiędzy detektorami nie jest znaczna przyjąć można, że obrazy wymagają dopasowania tylko w zakresie operacji przesunięcia i obrotu. Stosowanie natomiast niezależnych kamer światła widzialnego i podczerwonego wymagałoby wykonania kalibracji układu stereowizyjnego, co umożliwiłoby na określenie zniekształceń geometrycznych obydwu obrazów, a następnie na ich rektyfikację [3], po której obrazy mogłyby być poddane fuzji.

Fuzja obrazów znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie wymagana jest wysoka efektywność w ocenie badanego zjawiska. Spektrum zastosowań jest szerokie, od wojskowości, energetyki, po medycynę oraz biometrię.

## 2. Metody fuzji obrazów

Na przestrzeni lat powstało wiele rozwiązań w zakresie fuzji obrazów [4, 5, 6, 7]. Metody fuzji obrazów dzieli się na bazujące na pikselach (ang. pixel-based) oraz bazujące na obszarach (ang. region-based). Metody bazujące na pikselach wykorzystują informację w pojedynczym pikselu, a obraz analizowany jest piksel po pikselu. Metody z tej grupy cechuje szybkość, z drugiej zaś strony często w obrazie wynikowym widoczne są artefakty przeniesione z obrazów wejściowych lub powstałe w wyniku fuzji. Związane jest to bezpośrednio z multimodalnością obrazów. Obraz w świetle widzialnym reprezentowany jest najczęściej przez wartości poziomów jasności, koloru, natomiast termogram zawiera zmierzane wartości temperatur. Obraz wynikowy jest w pewnym stopniu wynikiem uśredniania, co wymusza konieczność degenerowania jednego obrazu względem drugiego

$$F(x, y) = w_1 V(x, y) + (w_1 - 1) T(x, y), \quad (1)$$

gdzie:  $x, y$  – współrzędne piksela obrazu,  $w_1, w_1 - 1$  – wagi obrazów, przy czym  $0 \leq w_1 \leq 1$ ,  $V$  – obraz wizyjny,  $T$  – obraz termowizyjny,  $F$  – obraz wynikowy.

Każda cecha obrazów poddawanych fuzji np. niewłaściwy kontrast, nieodpowiednie tło, oświetlenie mają bezpośredni wpływ na proces fuzji i ujawniają się w obrazie wynikowym. Jedynie dobór wartości wag  $w_1$  i  $w_2$  może wpłynąć na zmianę udziału określonego obrazu, jednakże nie wpływa w znaczący sposób na redukcję wad w obrazie wyjściowym. Optymalizację tego rozwiązania zaprezentowano w [8], gdzie wagę dla obrazu wejściowego uzależniono od wartości danego piksela dla obrazu wizyjnego i termogramu przekształconych wcześniej do obrazów w poziomach szarości.

Innym podejściem jest zastosowanie fuzji nieliniowej, w której wartości wag  $w_1$  i  $w_2$  nie są stałe dla wszystkich pikseli obrazu, a obliczane są dla każdego piksela niezależnie. Takie rozwiązanie pozwala na swego rodzaju adaptację fuzji liniowej do pewnych obszarów w obrazach wejściowych, jednakże nadal ta metoda rozpatrywana jest jako metoda globalna. Z tego względu wymaga stosowania progowania dla wyboru tylko określonych obszarów obrazów wejściowych. Jej przewaga nad fuzją liniową uwidacznia się szczególnie w części obrazów wejściowych, w których następuje przejście pomiędzy obszarami o różnych temperaturach dla termogramów, lub różnych wartościach pikseli dla obrazów wizyjnych.

Szereg algorytmów stosowanych w fuzji obrazów wykorzystuje metody wielorozdzielcze, np. hierarchiczną dekompozycję obrazu [9] w tzw. piramidzie obrazów. Obraz oryginalny podlega dekompozycji, która pozwala na zmniejszenie rozmiaru obrazu według znanego współczynnika  $k$ , który definiuje stopień decymacji, np.  $k=2$  oznacza wybór w kolejnej iteracji co drugiego piksela z obrazu. Taka metoda pozwala na uzyskanie sekwencji obrazów o zmniejszającej się rozdzielczości. Obrazy są następnie analizowane w kolejności od obrazu o najmniejszej rozdzielczości do najwyższej. Do grupy tych algorytmów zaliczyć można również metody bazujące na transformacie falkowej, również jej odmianie dyskretnej. Zbyt duża liczba poziomów w metodach wieloroz-

dzielczych może spowodować znaczną utratę informacji, zwłaszcza na niższych poziomach hierarchii.

Metody bazujące na obszarach w dużej mierze próbują wykorzystywać techniki znane z pierwszej grupy metod, np. podejście piramidy, transformatę falkową. W [10] proponuje się fuzję obszarową na podstawie wstępnej segmentacji obrazów i określenia ważności obszarów. Zauważono, że metody obszarowe mogą dawać błędne rezultaty fuzji. Kształt obiektu może być inaczej widoczny w obrazach multimodalnych, również stosowanie różnego rodzaju cech, jak krawędzie są inaczej reprezentowane w obrazie wizyjnym, a inaczej w termogramie, stąd zwykle fuzja obszarowa powoduje znacznie wyższy wpływ jednego z obrazów wejściowych na obraz wynikowy, w zależności od przyjętej cechy.

## 3. Metoda gradientowa

Jak już zauważono algorytmy wykorzystujące prostą informację o wartości pikseli cechują się szybkością, ale jak pokazano na rysunku 2, nie dają zadowalających rezultatów, zarówno w ocenie subiektywnej, jak i obiektywnej – w odniesieniu do danych zawartych w tablicy 1. Obliczona wartość pierwiastka błędu średniokwadratowego wynosi 45,92, a szczytowy stosunek sygnału do szumu wynosi 12,92. Im niższa wartość współczynnika RMSE oraz wyższa PSNR tym jakość fuzji jest wyższa.



Rys. 2. Przykładowy obraz po fuzji liniowej z wagami  $w_1=0,7$  i  $w_2=0,3$   
Fig. 2. Sample image after fusion with  $w_1=0,7$  i  $w_2=0,3$

Na rysunku 2 widoczny jest obszar twarzy, na którym w największym stopniu widoczna jest informacja pochodząca z termogramu, jednakże zmiana ta dotyczy powierzchni całej twarzy w równym stopniu zależnym od współczynników wagowych. Zakładając, że fuzja powinna podkreślać obszary o dynamicznej zmianie np. temperatury, należałoby uzależnić wynik fuzji od zmian lokalnych w termogramie.

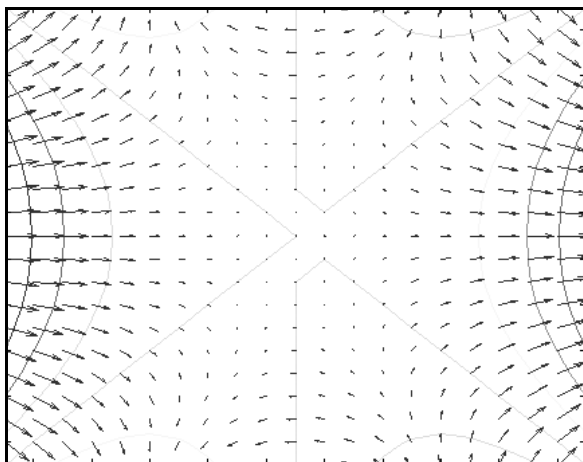
Techniką pozwalającą na ocenę lokalnych, nawet bardzo dynamicznych zmian temperatury jest gradient obrazu, który w najprostszej postaci określa szybkość i kierunek zmian temperatury w termogramie. Ponieważ analizowane termogramy cechują się wysoką rozdzielczością, rzędu  $0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ , wprowadzono również możliwość optymalizacji gradientu przez jego obszarowe wyznaczenie dla różnych rozmiarów masek  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ . Gradient obrazu jest wykorzystywany w przetwarzaniu obrazów cyfrowych do detekcji krawędzi, ponieważ to wokół nich następuje najwyższa zmiana wartości pikseli.

Rezultatem wyznaczenia gradientu dla całego obrazu jest mapa rozkładu temperatur na określonej powierzchni oraz wyeksponowanie ich zmienności. Metoda ta wykorzystywana w badaniach uszkodzeń powierzchni, systemach rozpoznawania ludzkiej postaci, systemach monitoringu ruchu pojazdów, przesiewowych badaniach medycznych, czy też w przemyśle do wizualizacji i oceny rozkładu temperatury w rurociągach. Gradient wyznacza się dla całego obrazu, dla każdego piksela niezależnie (rysunek 3). Dla obrazu cyfrowego 2D definiuje się go w postaci:

$$G(x, y) = G_H(x, y) \cos \phi + G_V(x, y) \sin \phi, \quad (2)$$

gdzie:  $G_H$  – gradient zmian współrzędnych poziomych,  
 $G_V$  – gradient zmian współrzędnych pionowych,

$$\phi = \tan^{-1}(G_V(x, y)/G_H(x, y)).$$



Rys. 3. Gradient fragmentu obrazu dla obszaru o rozmiarze 20 x 20 pikseli  
 Fig. 3. Gradient of the image for region of 20 x 20 pixel resolution

Wartość gradientu temperatur wyznaczana jest na podstawie różnicy wartości temperatur pomiędzy dwoma sąsiednimi punktami termogramu. Uzyskana wartość determinuje znak gradientu, a kąt  $\phi$  zawiera informację o kierunku jego zmian.

Wadą stosowania gradientu obrazu jest jego wrażliwość na wszelkie, nawet najmniejsze zmiany. W opracowanym rozwiązaniu wprowadzono trzy modyfikacje, które spowodowały polepszenie jakości fuzji, mianowicie:

1. Wprowadzono próg gradientu, tj. wartość poniżej której gradient nie jest rejestrowany, próg ten pełni rolę strefy martwej, w której punkty stanowią obszar homogeniczny o stałej temperaturze. Próg ten dobierany może być indywidualnie dla każdego obrazu, lub być wyznaczany automatycznie na podstawie wartości maksymalnej gradientu obrazu.
2. Zastosowano również rozszerzenie obszaru (maski) dla którego wyznaczany jest gradient. Klasycznie wyznaczany jest on dla określonego punktu. Zamiast obliczać gradient dla pojedynczego punktu można zastosować uproszczoną metodę obszarową w postaci maski 3x3 pikseli, badając gradient pomiędzy dwoma sąsiednimi obszarami, każdy reprezentowany przez piksel wypadkowy.
3. Morfologiczna operacja zamknięcia pozwoliła poprawić jakość obszarów, poprzez zamykanie tzw. dziur w obrazie, które powstają w wyniku zbyt dokładnego wyznaczenia gradientu.

Należy jednakże pamiętać, że zmiana w postaci rozszerzenia obszaru posiada wszelkie wady metod obszarowych, co przy większych rozmiarach masek może znacznie zwiększać obciążenia obliczeniowe. Otrzymana mapa gradientów jest następnie wykorzystana w procesie bezpośredniej fuzji obydwu obrazów. Wartości gradientów we wszystkich pikselach termogramu stanowią wagi, im wyższa wartość, tym udział punktu termogramu będzie większy w obrazie wynikowym – interesujące są obszary na granicy obszarów zmienności temperatury.

#### 4. Rezultaty

Głównym obszarem zastosowań opracowanego algorytmu jest fuzja obrazów ludzkiej twarzy, jednakże algorytm z powodzeniem może być stosowany w innych zastosowaniach. Badania eksperymentalne wykonano z wykorzystaniem bazy zdjęć testowych 30 osób w ustawieniu frontalnym, jak również 25 zdjęć płyt testowych z defektami podpowierzchniowymi. Wykorzystana kamera

termowizyjna charakteryzowała się następującymi parametrami: detektor mikrobolometryczny niechłodzony 384x288 pikseli, zakres długości fal 8-14  $\mu\text{m}$ ., rozdzielczość termiczna 0,08  $^{\circ}\text{C}$  (dla temperatury 30  $^{\circ}\text{C}$ ). Natomiast kamera wizyjna zabudowana w kamerze termowizyjnej posiadała rozdzielczość 640 x 480 pikseli.

Wybrane obrazy wizyjne i termogramy poddano dopasowaniu, które realizowane było poprzez znajdowanie wzajemnych charakterystycznych punktów w obrazie, a ma zasadnicze znaczenie dla całego procesu fuzji (rysunek 4). Przekształcenie obrazu opisane jest zależnością:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

gdzie:  $x, y$  – współrzędne piksela po dopasowaniu,  $x', y'$  – współrzędne piksela przed dopasowaniem,  $a$  – współczynniki rotacji i skali,  $b$  – współczynniki przesunięcia.



Rys. 4. Fuzja obrazów bez zastosowanego dopasowania  
 Fig. 4. Fusion without image adjusting

Porównanie uzyskiwanych rezultatów wykonano obliczając każdorazowo wartości metryk, które obiektywnie pozwalają na ocenę jakości fuzji obrazów i wzajemne odniesienie wyników. Pierwszą metryką jest pierwiastek błędu średniokwadratowego, który w swojej wartości niesie informację o podobieństwie dwóch obrazów, im jego wartość niższa tym podobieństwo jest większe, opisany jest równaniem:

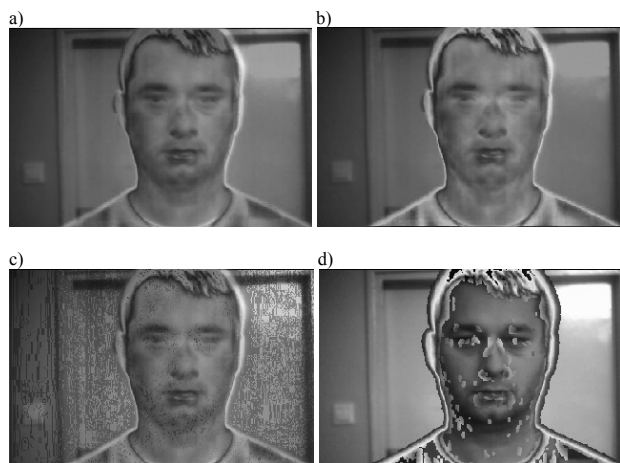
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (W_i - F_i)^2}, \quad (4)$$

gdzie  $W$  jest obrazem wzorcowym, a  $F$  jest obrazem uzyskanym po fuzji. Drugą metryką jest szczytowy stosunek sygnału do szumu, która mówi o stopniu zakłócenia obrazu po fuzji, wyższa wartość odpowiada mniejszemu wpływowi zakłóceń, definiowany jest wyrażeniem:

$$PSNR = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^N [\max(V_i)]^2}{\sum_{i=1}^N [W_i - F_i]^2}, \quad (5)$$

Dla grupy obrazów twarzy, zaprezentowany na rysunku 5a wynik fuzji liniowej z wagą  $w_2=0,3$  powoduje jednolitą zmianę w całym obrazie wizyjnym. Fuzja nieliniowa (rysunek 5b) również wprowadza globalną zmianę do obrazu wizyjnego, jednak w okolicach kąćków oczu nastąpiło zwiększenie wpływu informacji z termogramu, co widoczne jest w postaci jaśniejszych obszarów. Rysunek 5c przedstawia efekt zastosowania metody wyznaczającej mapy gradientów. Widoczne w tle artefakty w obrazie wizyjnym są efektem przeniesienia części informacji z termogramu. Zbyt duża rozdzielczość temperaturowa w termogramie wpłynęła na mapę gradientów w obszarach poza twarzą. Rysunek 5d prezentuje rezultat zmodyfikowanej metody gradientowej. Jaśniejsze obszary to informacja pochodząca z termogramu,

obszary jaśniejsze charakteryzowane są najwyższym gradientem. Zmodyfikowana metoda szczególnie przydatna może być w lokalizacji twarzy oraz oczu. Również wartości numeryczne metryk, które wyznaczono jako wartości średnie dla całego zbioru testowanych obrazów pozwalają ocenić jakość proponowanych modyfikacji.



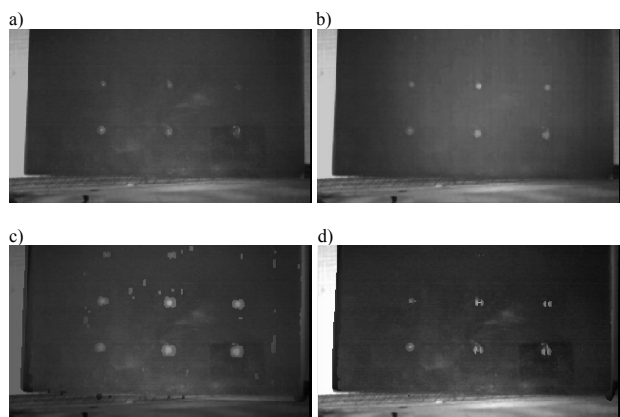
Rys. 5. Wyniki fuzji a) liniowej, b) nieliniowej, c) z mapą gradientów, d) zmodyfikowanej

Fig. 5. The results of a) linear, b) nonlinear, c) with gradient map, d) modified fusion

Tab. 1. Wyniki porównywanych metod fuzji obrazów  
Tab. 1. The results of compared image fusion methods

Metryka	Liniowa	Nieliniowa	Gradient klasyczny	Badane modyfikacje		
				próg auto	maska	morf.
RMSE	49,47	36,18	38,93	30,70	21,68	19,83
PSNR	12,54	14,74	11,26	13,93	15,63	16,02

Na rysunek 6a-d zaprezentowano wyniki fuzji dla obrazów pochodzących z doświadczenia lokalizacji defektów w płycie pleksi o grubości 1cm. Uszkodzenia mają charakter niepełnych otworów o różnej średnicy (0,2-0,6 cm) i głębokości (0,2-0,8 cm).



Rys. 6. Wyniki fuzji a) liniowej, b) nieliniowej, c) z mapą gradientów, d) zmodyfikowanej

Fig. 6. Results of a) linear, b) nonlinear, c) with gradient map, d) modified fusion

Rysunek 6a prezentuje efekt działania metody liniowej. Metoda nieliniowa (rysunek 6b) daje wizualnie lepszy efekt w postaci uwidocznienia defektów, które w oryginalnym obrazie wizyjnym nie są widoczne (defekty podpowierzchniowe). Metoda gradientowa widoczna na rysunek 6c powoduje podkreślenie defektów z niewielkim wpływem na pozostałą część obrazu. Rezultat widoczny na rysunek 6d pokazuje minimalny efekt fuzji ograniczający się tylko do miejsc defektów. Ponieważ w termogramach płyt

testowych rozkład temperatury jest bardzo jednolity w związku z równomiernym nagrzewaniem powierzchni płyt, pozwala to na efektywną ekstrakcję obszarów defektów i tylko tych obszarów z termogramu. Rezultaty numeryczne (tablica 2) również pozwalają porównać efektywność badanych algorytmów.

Tab. 2. Wyniki porównywanych metod fuzji obrazów  
Tab. 2. The results of compared image fusion methods

Metryka	Liniowa	Nieliniowa	Gradient klasyczny	Badane modyfikacje		
				próg auto	maska	morf.
RMSE	41,17	37,92	28,06	21,02	18,12	14,30
PSNR	12,30	14,42	18,96	20,40	22,86	24,92

## 5. Podsumowanie

W artykule poruszono problematykę łączenia informacji z obrazów o różnych zakresach widma: światła widzialnego i podczerwieni. Fuzja obrazów w wersji prezentowanej w artykule prowadzi do ekstrakcji cech jednego z obrazów (termogramu) i wprowadzenia tej cennej informacji do drugiego obrazu (wizyjnego).

Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych z dwoma grupami obrazów wizyjnych i termogramów reprezentujących bardzo różniące się zastosowania pokazują możliwości znacznej poprawy efektywności fuzji obrazów po zastosowaniu proponowanego rozwiązania. Zarówno w obrazach ludzkiej twarzy, jak i pochodzących z dynamicznego procesu, jakim jest impulsowe nagrzewanie płyt pleksi widoczne jest uwidocznienie obszarów, w których gradient temperatury ma wyższą wartość.

Jednocześnie trzeba zwrócić uwagę, że proponowana metoda łącząca w sobie techniki bazujące na pikselach i obszarach wymaga wykonania dobrego dopasowania obrazów oraz uwzględnienia rozdzielczości temperaturowej, która wpływa bezpośrednio na jakość mapy gradientów.

## 6. Literatura

- [1] Goshtasby A.A., Nikolov S.G.: Image fusion: Advances in the state of the art, Editorial. Information Fusion, Special Issue on Image fusion: Advances in the state of the art, str. 114-118, 2007.
- [2] Adini Y., Moses Y., Ullman S.: Face recognition: the problem of compensating for changes in illumination direction. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 19, str.721-732, 1997.
- [3] Rzeszotarski D., Strumiłło P., Pelczyński P., Więcek B., Lorenc A.: System obrazowania stereoskopowego sekwencji scen trójwymiarowych. Zeszyty Naukowe Elektronika, zeszyt nr 10/ 2005, str. 165-181, 2006.
- [4] Burt P.J., Adelson E.H.: Merging images through pattern decomposition, Proc. SPIE 575, str. 173-181, 1985.
- [5] Li H., Manjunath S., Mitra S.: Multisensor image fusion using the wavelet transform, Graphical Models and Image Processing 57 (3), str. 235-245, 1995.
- [6] Heather J.P., Smith M.I.: Multimodal image registration with applications to image fusion, in: Proceedings of the 8th International Conference Information Fusion (Fusion 2005), Philadelphia, USA, 2005.
- [7] Kong S., Heo J., Abidi B, Paik J., Abidi M.: Recent Advances in Visual and Infrared Face Recognition – A Review, The Journal of Computer Vision and Image Understanding, 97, 103-135, 2005.
- [8] Hariharan H., Gribok A., Abidi M.A., Koschan A.: Image Fusion and Enhancement via Empirical Mode Decomposition, 2006.
- [9] Walker N.: Visible and Long-Wave Infrared Image Fusion Schemes for Situational Awareness. Multi-Dimensional Digital Signal Processing, The University of Texas at Austin, 2008.
- [10] Shutao L., Yang B.: Multifocus image fusion using region segmentation and spatial frequency, Image and Vision Computing. Elsevier, Vol. 26, str. 971-979, 2008.