

Artur BAL

INSTYTUT AUTOMATYKI, POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Porównanie wybranych metod oceny kontrastu achromatycznych obrazów cyfrowych*

dr inż. Artur BAL

Autor jest absolwentem Politechniki Śląskiej, gdzie obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Automatyki. Jego zainteresowania badawcze obejmują m.in. zagadnienia związane z przetwarzaniem i analizą obrazów a w szczególności: analizę obrazów biomedycznych, obszarową segmentację obrazów, wizualną archiwizację obiektów, odwzorowanie barw. Jest kierownikiem Laboratorium Wizualnej Archiwizacji Cyfrowej utworzonego w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej.

e-mail: artur.bal@polsl.pl



Streszczenie

Praca dotyczy zagadnienia oceny kontrastu achromatycznych obrazów cyfrowych. Przedstawiono i porównano znane z literatury metody oceny kontrastu obrazów, a także zaproponowano nowe rozwiązania bazujące na określeniu różnic poziomów szarości sąsiadujących ze sobą pikseli. Ocena przydatności poszczególnych metod została dokonana na przykładzie zadania wyboru najlepszej wersji obrazu pod kątem jego dalszej analizy. Przeprowadzona analiza wyników oceny kontrastu obrazów wskazuje, że dla przyjętych warunków porównania najlepszą metodą oceny kontrastu jest jedna z nowych metod.

Słowa kluczowe: wstępne przetwarzanie obrazów, poprawa kontrastu, globalne i lokalne metody poprawy kontrastu, ocena kontrastu obrazu.

Comparison of selected gray-level image contrast evaluation methods

Abstract

This article deals with the gray-level image contrast evaluation problem. In the paper few methods of contrast evaluation are comprised, namely: (1) and (2) — two methods based on Weber-Fechner law ((2) is a Michelson contrast), next two methods (3) and (4) are based on variance of gray-level values in the image, and the last two (5) and (6) are a new methods, in which difference between gray-level values of neighboring pixels are using for calculating image contrast ratio.

The evaluation of described methods has been done for a one of the standard usage cases of contrast evaluation method i.e. evaluation of images after contrast enhancement for choosing the best of them for its visual analysis. The researches have been done on example of aerial image AERIAL (fig. 1). Contrast enhancement of this image give the set of test images (a)–(j) (fig 1), the table 1 presents contrast enhancement methods and its parameters used for obtaining test images. The table 2 presents contrasts evaluation values of the test images obtained by usage of the methods (1)–(6). The table 3 shows the ranking of the images (a)–(j) obtained by the sorting in descending order contrast ratio of test images independently for each evaluation method.

It is difficult to indicate the best evaluation method, but it seems that under comparison condition the new method (5) is the best image contrast evaluation method.

Keywords: image preprocessing, contrast enhancement, global and local image contrast enhancement methods, image contrast evaluation.

1. Wstęp

Obrazy cyfrowe są często ważnym źródłem informacji. Rozwiązania, w których wykorzystuje się informację obrazową są spotykane m.in. w: systemach kontroli przebiegu procesów produkcyjnych, diagnostyce medycznej i technicznej. Pozyskanie z obrazów przydatnej w danym zastosowaniu informacji wymaga przeprowadzenia ich analizy. Aby proces ten, niezależnie od tego czy prowadzony automatycznie czy z udziałem człowieka, dał wiarygodne rezultaty analizowany obraz musi spełniać odpowiednie do

danego zastosowania kryteria jakościowe. Często stawianym wymaganiem jest wymaganie dotyczące kontrastu obrazu [1, 2].

Pojęcie kontrastu obrazu jest w literaturze przedmiotu różnie definiowane. Najprostsza definicja kontrastu dla obrazów z poziomami szarości odnosi się do różnicy między maksymalną i minimalną wartością poziomów szarości występujących w danym obrazie. W przypadku procesu analizy obrazów pojęcie kontrastu obrazu częściej stosowane jest jednak do opisu znacznie bardziej złożonego wrażenia związanego z czytelnością obrazu i zdolnością rozróżnienia szczegółów w nim zawartych.

W przypadku, gdy kontrast pozyskanego obrazu jest niewystarczający do danego zastosowania zwykle możliwa jest jego, przynajmniej częściowa, poprawa. Wielość dostępnych metod w połączeniu z różnymi, specyficznymi dla danego zastosowania, wymaganiami odnośnie własności jakie powinny posiadać wykorzystywane obrazy powoduje, że dobór odpowiedniej metody poprawy kontrastu nie jest zadaniem trywialnym. Ze względu na wielość i rodzaj wymagań stawianym obrazom także zadanie oceny kontrastu obrazów nie jest zadaniem prostym.

Należy zwrócić uwagę na to, że w wielu zadaniach przetwarzania obrazów, w tym także w zadaniach poprawy i oceny kontrastu, nie istnieje jedno najlepsze rozwiązanie, które sprawdzi się w każdym zastosowaniu. Z tego powodu wszelkie porównania metod muszą być dokonywane z uwzględnieniem potrzeb wynikających z konkretnego zastosowania. Na potrzeby pracy przyjęto, że porównanie metod oceny kontrastu, zostanie przeprowadzone pod kątem ich zastosowania jako kryterium wyboru wyniku poprawy kontrastu obrazu testowego do jego dalszej analizy. Zadanie takie jest przykładem typowej sytuacji, w której stosowane są metody oceny kontrastu.

2. Wybrane metody oceny kontrastu obrazów

Do najczęściej stosowanych metod oceny kontrastu obrazów achromatycznych należą metody opisane wzorami:

$$k = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{\bar{I}}, \quad (1)$$

$$k_M = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (2)$$

gdzie $I_{\max} = \max_{i=\{1,\dots,M\}} \{I(i, j)\}$, $I_{\min} = \min_{j=\{1,\dots,N\}} \{I(i, j)\}$,

$\bar{I} = (M \cdot N)^{-1} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I(i, j)$; $I(i, j)$ jest poziomem szarości piksela o współrzędnych (i, j) , a $M \times N$ to rozdzielczość obrazu. Ocena kontrastu tymi metodami uwzględnia, opisaną prawem Webera-Fechnera, zmianę czułość ludzkiego wzroku na bodziec. Istotną wadą tych metod jest ich czułość na występowanie w obrazie pojedynczych pikseli, będących często zakłóceniami, o minimalnej lub maksymalnej wartości poziomu szarości.

Innym podejściem jest stosowanie do oceny kontrastu metod bazujących na wariancji poziomów szarości obrazu. Przykładem takiego podejścia jest opisana w [3] metoda określona wzorem

$$k_w = \frac{4}{MNL^2} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i, j) - \bar{I}]^2, \quad (3)$$

gdzie L jest maksymalną wartością poziomów szarości pikseli jaka może wystąpić w obrazie przy stosowaniu danego sposobu kodowania (np. dla kodowania 8-bitowego $L=255$). W niniejszej pracy wykorzystano także zmodyfikowaną wersję metody (3) tj.

* Praca finansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej w roku 2008.

$$k_{w_{ABS}} = \frac{4}{MNL} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |l(i, j) - \bar{l}|, \quad (4)$$

w której kwadrat różnicy zastąpiono jej wartością bezwzględną co zwiększa wpływ małych różnic na wynik oceny kontrastu.

W procesie analizy obrazów wymaga się, aby analizowane obrazy zawierały szczegóły istotne z punktu widzenia danego zastosowania. Można pokazać, że przedstawione do tej pory rozwiązania (1)–(4) nie uwzględniają wszystkich lokalnych zmian wartości poziomów szarości obrazów. Oznacza to, że obrazom różniącym się widocznością szczegółów może zostać przypisana taka sama ocena kontrastu. Taki rezultat nie jest zgodny z wynikiem oceny kontrastu obrazów, jaki wymagany jest przez osoby zajmujące się analizą obrazów. Propozycją rozwiązania tego problemu jest opracowanie następujących dwóch metod:

$$k_{\Delta} = \frac{1}{MNL^2} \cdot \left(\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^N (l(i, j) - l(i+1, j))^2 + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} (l(i, j) - l(i, j+1))^2 + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} (l(i, j) - l(i+1, j+1))^2 + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^N (l(i, j) - l(i+1, j-1))^2 \right) \quad (5)$$

oraz

$$k_{\Delta_{ABS}} = \frac{1}{MNL} \cdot \left(\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^N |l(i, j) - l(i+1, j)| + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} |l(i, j) - l(i, j+1)| + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} |l(i, j) - l(i+1, j+1)| + \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^N |l(i, j) - l(i+1, j-1)| \right) \quad (6)$$

W metodach tych ocena kontrastu dokonywana jest na podstawie sumy wartości różnic między sąsiadującymi punktami obrazu (przyjęto, że analizowane będzie 8-sąsiedztwo pikseli, określane także jako sąsiedztwo Moore'a). Metody (5) i (6) różnią się wpływem małych różnic między pikselami na ocenę kontrastu.

3. Przygotowanie obrazów testowych

Zgodnie z przedstawionymi we wstępie założeniami porównania metod oceny kontrastu dokonano przy wykorzystaniu zestawu obrazów będących wynikami zastosowania różnych metod poprawy kontrastu w stosunku do rzeczywistego obrazu lotniczego AERIAL (rys. 1a). Taki wybór obrazu podyktowany jest tym, że obrazy lotnicze bardzo często poddawane są wizualnej analizie przez ekspertów, co odpowiada przyjętym założeniom. Do uzyskania obrazów testowych zastosowano powszechnie stosowane metody poprawy kontrastu (rozciąganie i wyrównanie histogramu w wersji globalnej i lokalnej [2] oraz CLAHE [4]) lub ich modyfikacje (ważona lokalna metoda poprawy kontrastu [5]). Zestawienie wykorzystanych metod i przyjęte wartości ich parametrów przedstawia tabela 1, a uzyskane obrazy przedstawia rysunek 1.

W metodzie rozciągania histogramu (ang. *histogram stretching*) modyfikacja poziomów szarości obrazu wejściowego realizowana jest poprzez proporcjonalne „rozciągnięcie” poziomów szarości występujących w obrazie na cały dostępny zakres wartości [2]. Metoda ta czuła jest na występowanie w obrazie pojedynczych pikseli o minimalnych lub maksymalnych wartościach poziomów szarości. Z tego powodu, często, zakres poziomów szarości do „rozciągnięcia” wyznacza się jako mniejszy od rzeczywiste występującego. W pracy minimalna i maksymalna wartość poziomów szarości wyznaczana jest jako, odpowiednio, najmniejsza i największa wartość poziomu szarości, dla którego liczba pikseli jest większa niż τ . W tabeli 1 τ jest podane jako wymagana liczba pikseli odniesiona do liczby pikseli okna przesuwego.

Tab. 1. Zestawienie metod poprawy kontrastu obrazów i ich parametrów użytych do uzyskania obrazów z rys. 1

Tab. 1. Listing of image contrast enhancement methods and its parameters used for obtaining images presented in the fig. 1

Obraz z rys. 1	Rodzaj metody	Metoda poprawy kontrastu	Przesunięcie δ [w pikselach]	Parametr
a	obraz oryginalny			
b	globalna	HE		
c	lokalna	HS	64	$\tau = 0,0075$
d	lokalna	HE	64	
e	lokalna	HE	32	
f	lokalna	HE	2	
g	CLAHE			$\alpha = 1$
h	CLAHE			$\alpha = 0,1$
i	ważona lokalna	HE	16	
j	ważona lokalna	HS	16	$\tau = 0,01$

Rozmiar okna przesuwego dla obrazów c–j: 64x64 (wymiar w pikselach)

HE — wyrównanie histogramu (histogram equalization), HS — rozciąganie histogramu (histogram stretching), CLAHE — contrast limited adaptive histogram equalization [4]

Metoda wyrównania histogramu polega na ujednoliceniu względnego udziału oraz położenia na skali szarości poszczególnych poziomów szarości występujących w obrazie [2]. Realizowane jest to poprzez agregację poziomów szarości o małej liczebności i możliwie równomierne rozmieszczenie pozostałych wartości. W wyniku takiego przekształcenia z obrazu mogą zostać usunięte pewne szczegóły, jednak zwiększone różnice między pozostałymi poziomami szarości poprawiają czytelność obrazu.

Obie metody mogą być stosowane globalnie (tj. dla całego obrazu) jak i lokalnie (tzn. w ramach przesuwanego po obrazie, ze skokiem δ , okna o wymiarach s mniejszych niż wymiary obrazu). W pracy przyjęto, że gdy $\delta < a$ wynik poprawy kontrastu zapamiętywany jest jedynie dla środkowej części okna o wymiarach $\delta \times \delta$.

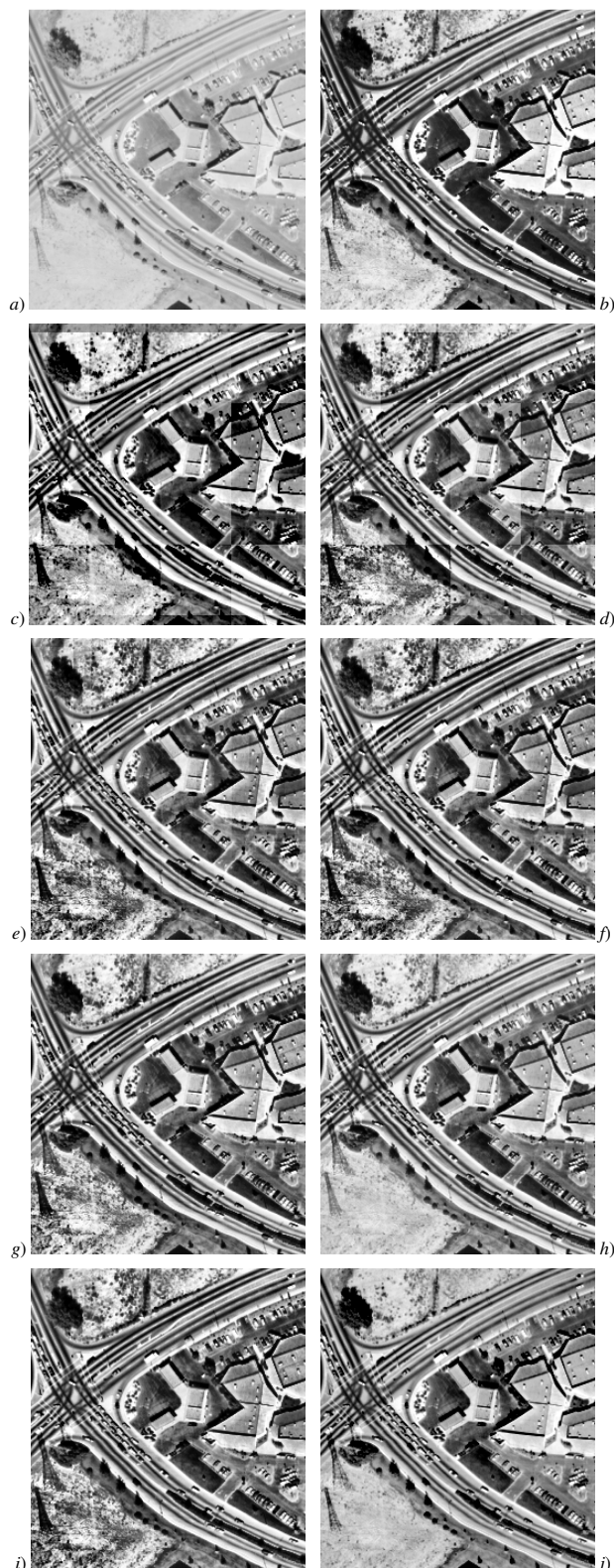
Uogólnieniem metod lokalnych i globalnych jest ważona lokalna metoda poprawy kontrastu [5]. W metodzie tej oprócz okna, w którym realizowana jest poprawa kontrastu dowolną metodą (w pracy zastosowano rozciąganie i wyrównanie histogramu) stosowana jest macierz wag o takich samych wymiarach jak okno. Końcowy wynik poprawy kontrastu obrazu jest średnią ważoną wyników uzyskanych dla kolejnych położów okna. Na potrzeby pracy przyjęto, że wagi przypisane elementom okna są równe ich odległości do najbliższego brzegu okna.

Ostatnią metodą jest metoda adaptacyjnego wyrównania histogramu z ograniczeniem kontrastu (ang. *contrast limited adaptive histogram equalization*, CLAHE) [4]. W metodzie tej obraz dzielony jest na pewną liczbę sąsiadujących ze sobą okien, w których realizowane jest wyrównywanie histogramu. Końcowy wynik poprawy kontrastu wyznaczany jest poprzez interpolację zmian kontrastu uzyskanych dla poszczególnych okien z węzłami interpolacji umieszczonymi w ich środkach. W metodzie stosowany jest parametr α ograniczający zmianę wartości poziomów szarości.

4. Analiza uzyskanych wyników

Uzyskane dla obrazów testowych oceny kontrastu zostały przedstawione w tabeli 2. W przypadku każdej z porównywanych metod większa wartość oceny oznacza lepszy kontrast, a same wartości ocen są wielkościami bezwymiarowymi. Przyjęto, że poziom szarości pikseli zapisany jest w normalizowanym zakresie $\langle 0,1 \rangle$, gdzie 0 reprezentuje czerń, a 1 biel.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki uszeregowania obrazów a–j według malejących wartości ocen ich kontrastu. Najlepszy kontrast według prawie wszystkich metod, tzn. poza metodą k_{Δ} , ma obraz c. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że obraz ten, podobnie jak obraz d, zawiera artefakty w postaci widocznej struktury podziału obrazu na okna — jest to typowa wada lokalnych metod poprawy kontrastu. Z tego powodu wybranie obrazu c jako obrazu o najlepszym kontraście jest dopuszczalne jeżeli obraz będzie analizowany wizualnie przez eksperta. Jeżeli jednak analiza prowadzona będzie metodami automatycznymi wybór takiego obrazu może znacząco utrudnić proces analizy. Z tego punktu widzenia



Rys. 1. Porównanie wyników poprawy kontrastu obrazu AERIAL: a) obraz oryginalny, b)–j) wyniki poprawy kontrastu; zestawienie użytych parametrów oraz wartości miar (1)–(6) zawierają tabela 1 i 2

Fig. 1. The comparison of results of different image contrast enhancement methods for the AERIAL image: a) original image, b)–j) — results of contrast enhancement; all used methods and parameters presents table 1, values of image contrast ratio (1)–(6) involves table 2

znacznie lepszym wyborem jest obraz *e*, określony jako obraz o największym kontraście w wyniku stosowania k_{Δ} .

Jeżeli w uszeregowaniu nie zostaną uwzględnione obrazy *c* i *d* (takiej sytuacji odpowiadają podane w tabeli 3 wartości w nawiasach) wówczas jako obrazy o największym kontraście wskazywa-

Tab. 2. Zestawienie wartości oceny kontrastu wyznaczonych dla obrazów (a)–(j) z obrazu 2; dla poszczególnych metod wyróżniono obrazy o najlepszym kontraście

Tab. 2. Statement of contrast evaluation values obtained for the images (a)–(j) from the figure 2; for each of the tested methods the image with the best contrast is distinguished

Obraz z rys. 2	Zastosowana metoda oceny kontrastu					
	k	k_M	k_w	k_{wABS}	k_{Δ}	$k_{\Delta ABS}$
<i>a</i>	1,3457	0,9101	0,0957	0,4575	0,1983	0,0304
<i>b</i>	2,0018	1,0000	0,3442	1,0160	0,4018	0,1166
<i>c</i>	2,3256	1,0000	0,4476	1,1731	0,4863	0,1809
<i>d</i>	1,9999	1,0000	0,3443	1,0172	0,4772	0,1455
<i>e</i>	1,9992	1,0000	0,3287	0,9863	0,5001	0,1511
<i>f</i>	1,9980	1,0000	0,3280	0,9849	0,4982	0,1501
<i>g</i>	1,9703	1,0000	0,3251	0,9853	0,4592	0,1343
<i>h</i>	1,7517	1,0000	0,2592	0,8714	0,3835	0,0961
<i>i</i>	2,0123	1,0000	0,3260	0,9818	0,4829	0,1435
<i>j</i>	1,9186	1,0000	0,2949	0,9097	0,3888	0,1082

Tab. 3. Porównanie wpływu zastosowanej metody oceny kontrastu na pozycję obrazu w uszeregowaniu według malejącej wartości kontrastu. W nawiasach podano pozycję obrazów, gdy nie uwzględniano obrazów *c* i *d*

Tab. 3. A comparison of the influence of contrast evaluation methods on image position in the descending order sorting of contrast ratio. The values in parenthesis are images positions when images *c* and *d* are not considered

Obraz z rys. 2	Zastosowana metoda oceny kontrastu					
	k	k_M	k_w	k_{wABS}	k_{Δ}	$k_{\Delta ABS}$
<i>a</i>	10 (8)	10 (8)	10 (8)	10 (8)	10 (8)	10 (8)
<i>b</i>	3 (2)	1 (1)	3 (1)	3 (1)	7 (5)	7 (5)
<i>c</i>	1	1	1	1	3	1
<i>d</i>	4	1	2	2	5	4
<i>e</i>	5 (3)	1 (1)	4 (2)	4 (2)	1 (1)	2 (1)
<i>f</i>	6 (4)	1 (1)	5 (3)	6 (4)	2 (2)	3 (2)
<i>g</i>	7 (5)	1 (1)	7 (5)	5 (3)	6 (4)	6 (4)
<i>h</i>	9 (7)	1 (1)	9 (7)	9 (7)	9 (7)	9 (7)
<i>i</i>	2 (1)	1 (1)	6 (4)	7 (5)	4 (3)	5 (3)
<i>j</i>	8 (6)	1 (1)	8 (6)	8 (6)	8 (6)	8 (6)

ne są obrazy *c* (przez metody k_w i k_{wABS}) i *e* (przez metody k_{Δ} i $k_{\Delta ABS}$). Jeżeli za istotne kryterium wyboru zostanie uznane uwidocznienie szczegółów obrazu to jako lepszy wybór należy uznać obraz *e* (dobrym miejscem do oceny realizacji tego wymagania jest lewy dolny fragment obrazów). Co więcej wydaje się, że uszeregowanie obrazów otrzymane metodami k_{Δ} i $k_{\Delta ABS}$ najlepiej, spośród analizowanych wyników, zgadza się z oceną kontrastu obrazów testowych prowadzoną przez człowieka.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wydaje się, że najlepszą, spośród testowanych, metodą oceny kontrastu jest k_{Δ} . Należy jednak zwrócić uwagę na to, że taka decyzja została podjęta dla określonego rodzaju obrazu (obraz lotniczy) i pod kątem wymagań wynikających z przyjętego zastosowania (wybór do dalszej analizy obrazu po poprawie kontrastu). Dla innych warunków wynik porównania może być inny. Stąd też, ze względu na wielość możliwych rodzajów obrazów i obszarów zastosowań, decyzja o wykorzystaniu określonej metody oceny kontrastu w danych warunkach każdorazowo musi zostać poprzedzona odpowiednimi badaniami.

5. Literatura

- [1] Gonzalez R. G., Woods R. E.: Digital image processing. Addison-Wesley Publishing Co. 1992.
- [2] Pratt W.: Digital image processing. John Wiley & Sons, 2001.
- [3] Lehmann T., Oberschelp W., Pelikan E., Repges R.: Bildverarbeitung für die Medizin, Grundlagen, Modelle, Methoden, Anwendungen. Springer, Berlin 1997.
- [4] Zuiderveld K.: Contrast limited adaptive histogram equalization, Graphics gems IV, Academic Press Professional, Inc., San Diego, CA, USA, 1994, 474–485.
- [5] Bal A.: Ważona lokalna metoda poprawy kontrastu obrazów cyfrowych. Materiały V konferencji naukowej „Informatyka — sztuka czy rzemiosło” KNWS'2008. Przegląd telekomunikacyjny 6/2008, CD.