

Porównanie wybranych miar kontrastu obrazów achromatycznych

Artur Bal

Streszczenie: W artykule poruszono zagadnienie oceny kontrastu achromatycznych obrazów cyfrowych. W pracy przedstawiono porównanie wyników oceny kontrastu obrazów przy wykorzystaniu, zarówno znanych z literatury jak i nowych, miar kontrastu. Zaproponowane nowe miary bazują na lokalnej realizacji pewnych znanych z literatury globalnych miar kontrastu. Badania przeprowadzono dla kilkudziesięciu obrazów testowych. W pracy przedstawiono także problemy związane z doбором miar kontrastu do określonego zastosowania.

Słowa kluczowe: wstępne przetwarzanie obrazów, globalny/lokalny kontrast obrazów, poprawa kontrastu obrazów, ocena kontrastu obrazów, miary kontrastu.

1. WPROWADZENIE

W dziedzinie komputerowego przetwarzania i analizy obrazów istotnym i wciąż nierozwiązanym problemem jest problem obiektywnej oceny jakości obrazów zarówno w trakcie ich akwizycji jak również na poszczególnych etapach ich przetwarzania i analizy. Wyniki takiej oceny wykorzystywane są m.in. do oceny uzyskiwanych efektów przetwarzania obrazów, a także stanowią istotny element automatycznych metod przetwarzania obrazów. Przykładami ocenianych parametrów obrazów są m.in.: jakość obrazu po usunięciu szumu (stosowanymi w tym przypadku miarami są np. szczytowy stosunek sygnału do szumu, znormalizowany błąd średniokwadratowy oraz średni błąd bezwzględny), poprawność segmentacji obrazu (przykładami miar stosowanymi w tym przypadku są miary $F(I)$ [9] i $Q(I)$ [3]) oraz percepcyjne cechy obrazu takie jak np. kontrast [2, 4] lub barwność [6, 10].

Do typowych problemów spotykanych przy tworzeniu i stosowaniu obiektywnych metod oceny obrazów należy zaliczyć: (zwykle występującą) stosunkowo niewielką korelację wyników obiektywnej oceny z subiektywnymi ocenami podawanymi przez obserwatorów, małą uniwersalność stosowanych miar oraz (często spotykaną) konieczność posiadania wiedzy o obrazie oryginalnym. Występowanie tych problemów wynika m.in. z braku dokładnej znajomości własności ludzkiego wzroku i trudności w symulowaniu jego działania, wielości celów jakie są stawiane przed systemami wizyjnymi oraz dużym udziałem informacji syntaktycznej (często bardzo trudnej lub nawet, przy obecnym stanie wiedzy, niemożliwej do implementacji w postaci programu komputerowego) w prowadzonej przez człowieka ocenie obrazów. Wszystkie te czynniki powodują, że zagadnienie obiektywnej oceny obrazów nie jest zagadnieniem trywialnym.

Jedną z najważniejszych i najczęściej ocenianych cech obrazów jest ich kontrast [5, 11]. W literaturze przedmiotu pojęcie kontrastu obrazu jest różnie definiowane — stosowane definicje uzależnione są m.in. od rodzaju obrazów, których kontrast ma być określany oraz od celu w jakim prowadzona jest poprawa kontrastu. Różnie określane są również funkcje stosowane do ilościowej oceny kontrastu (miary kontrastu). W przypadku obrazów achromatycznych pojęcie kontrastu odnosi się do różnicy między wartościami poziomów szarości występującymi w obrazie. Jeżeli pod uwagę brane są wartości poziomów szarości pikseli całego obrazu i są one odnoszone do wyznaczonych dla całego obrazu parametrów tego obrazu to oceniany jest globalny kontrast obrazu.

Ocena globalnego kontrastu obrazu ma duże znaczenie przy ocenie poprawności akwizycji obrazów, jednakże w przypadku zadań związanych z analizą treści obrazu znaczenia nabiera tzw. lokalny kontrast obrazu. Ten rodzaj kontrastu odnosi się, w przypadku obrazów achromatycznych, do różnic między poziomami szarości pikseli znajdujących się w swoim sąsiedztwie. Sposoby określenia sąsiedztwa pikseli oraz sposoby uwzględnienia różnic między poziomami szarości analizowanych pikseli są różne i zależą od przyjętej miary lokalnego kontrastu obrazów. Wysoki kontrast lokalny ma m.in. znaczenie tam gdzie istotne jest rozróżnienie szczegółów zawartych w obrazach — tak jest np. w przypadku analizy zdjęć rentgenowskich lub lotniczych. Ocena kontrastu lokalnego obrazu znajduje również zastosowanie np. w systemach automatycznego ustawiania ostrości oraz tworzenia obrazów o rozszerzonym zakresie ostrości.

Tak jak wcześniej wspomniano problem oceny kontrastu obrazów jest w ogólnym przypadku nadal problemem nie rozwiązany. W pracy przedstawiono efekty oceny kontrastu achromatycznych obrazów cyfrowych kilkunastoma, znanymi z literatury jak również nowymi, miarami kontrastu. Porównywane w pracy miary kontrastu przedstawiono w rozdziale 2. Rozdział 3 zawiera opis i wyniki przeprowadzonych badań. Ostatni, 4 rozdział stanowi podsumowanie pracy. W rozdziale tym zawarto również przykłady pokazujące problemy związane z wyborem miary kontrastu w zależności od celu w jakim prowadzona jest ocena kontrastu obrazów.

2. WYBRANE METODY OCENY KONTRASTU OBRAZÓW

Do oceny globalnego kontrastu obrazu często stosowana jest następująca miara

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

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

$\bar{l} = (M \cdot N)^{-1} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N l(i, j)$; $l(i, j)$ jest poziomem szarości piksela $p(i, j)$ o współrzędnych (i, j) , a $M \times N$ to rozdzielczość obrazu. Inną często stosowaną miarą globalnego kontrastu obrazu jest tzw. wskaźnik Michelsona

$$k_M = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{l_{\max} + l_{\min}}. \quad (2)$$

Miary (1) i (2) uwzględniają zmienną czułość narządu wzroku człowieka na zmiany jasności w zależności od wyjściowego poziomu jasności (w tym przypadku jest średnia jasność obrazu) zachowując w tym sensie zgodność z prawem Webera-Fechnera. Z metrologicznego punktu widzenia główną wadą tych miar jest ich czułość na występowanie w obrazach pojedynczych pikseli o skrajnych wartościach poziomów szarości. Cecha ta, jak to pokazano w [2], może prowadzić do braku możliwości oceny kontrastu obrazów w wyniku niezgodnego z percepcją człowieka zrównania wartości ocen kontrastu obrazów, których subiektywnie odbierany kontrast jest różny.

Do oceny kontrastu stosowane są również miary wykorzystujące wariancję poziomów szarości obrazów. Przykładem takiej miary jest miara zaproponowana w pracy [7], która zdefiniowana jest następująco

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

gdzie L jest maksymalną wartością poziomów szarości pikseli jaka może wystąpić w obrazie przy stosowaniu danego sposobu kodowania (np. dla kodowania 8-bitowego $L=255$). Modyfikacją miary (3) jest miara

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

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

W pracy [2] zaproponowano wykorzystanie miar kontrastu bazujących na sumie różnic sąsiadujących ze sobą pikseli. Podstawową miarą tego typu jest miara

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

Miara ta bazuje na agregacji lokalnych różnic między sąsiadującymi pikselami obrazu. W niniejszej pracy wykorzystano również zmodyfikowane wersje (5) w postaci miar: k_{Δ}' , w której współczynnik normalizujący ma postać $MNL^2 \bar{l}$, $k_{\Delta_{ABS}}$, w której kwadrat różnic zastąpiono ich wartością bezwzględną i $k_{\Delta_{ABS}}'$, w której zastosowano obie te modyfikacje łącznie.

Kolejną porównywaną w pracy miarą jest miara bazująca na ocenie energii obrazu [4]

$$k_e = \frac{1}{MNL^2} \cdot \left(\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^N (l(i, j) - l(i+1, j))^2 + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} (l(i, j) - l(i, j+1))^2 \right). \quad (6)$$

Następną uwzględnioną w pracy miarą jest miara k_H wykorzystująca ideę entropii informacji Shanona H [4, 8]; miara ta określona jest następująco

$$k_H = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{ij} \log p_{ij}, \quad (7)$$

gdzie $p_{ij} = l(i, j) / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N l(i, j)$.

Ostatnią grupą porównywanych w pracy miar kontrastu obrazów są cztery nowe miary bazujące na agregacji ocen kontrastu lokalnego obrazu występującego w pewnym otoczeniu $N(i, j)$ wokół analizowanego piksela $p(i, j)$. Trzy z nich bazują na miarach określonych wzorami (1)–(3) i są to odpowiednio miary

$$k_{\Sigma} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{\hat{l}_{ij} - \check{l}_{ij}}{\bar{l}_{ij}}, \quad (8)$$

$$k_{\Sigma M} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{\hat{l}_{ij} - \check{l}_{ij}}{\bar{l}_{ij} + \check{l}_{ij}}, \quad (9)$$

$$k_{\Sigma w} = \frac{4}{MNL^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [l(i, j) - \bar{l}_{ij}]^2, \quad (10)$$

gdzie $\hat{l}_{ij} = \max_{p(r, s) \in N(i, j)} l(r, s)$, $\check{l}_{ij} = \min_{p(r, s) \in N(i, j)} l(r, s)$, $\bar{l}_{ij} = \|p(r, s) \in N(i, j)\|^{-1} \cdot \sum_{p(r, s) \in N(i, j)} l(r, s)$. Ostatnia

z proponowanych miar bazuje na mierze k_{Δ}' i miara ta jest określona następującym wzorem

$$k_{\Sigma \Delta}' = \frac{1}{MNL^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{\Delta_{ij}}{\bar{l}_{ij}}, \quad (11)$$

gdzie Δ_{ij} jest sumą kwadratów różnic wartości sąsiadujących ze sobą pikseli należących do otoczenia $N(i, j)$.

W przypadku wszystkich analizowanych w pracy miar kontrastu, oprócz miary k_H , większa wartość oznacza lepszy kontrast obrazu (dla k_H jest odwrotnie).

3. PORÓWNANIE WYNIKÓW OCENY KONTRASTU

Przedstawione w niniejszej pracy badania zostały przeprowadzone dla zestawu 48 obrazów, które zostały uzyskane poprzez zastosowanie 5 różnych metod poprawy na grupie 8 standardowych obrazów testowych (są one prezentowane na rysunku 1). Do poprawy kontrastu obrazów zastosowano metodę: globalnego wyrównywania histogramu (GHE, [5, 11]), lokalnej poprawy kontrastu z ograniczeniem (CLAHE, [12]) dla dwóch różnych wartości parametru α ograniczającego zmianę kontrastu



Rys. 1. Zestawienie oryginalnych obrazów wykorzystanych do utworzenia obrazów testowych:
a) AERIAL, b) GOLDHILL, c) BOAT, d) FIGHTER, e) LENA, f) PEPPERS, g) CLOCK, h) MANDRILL

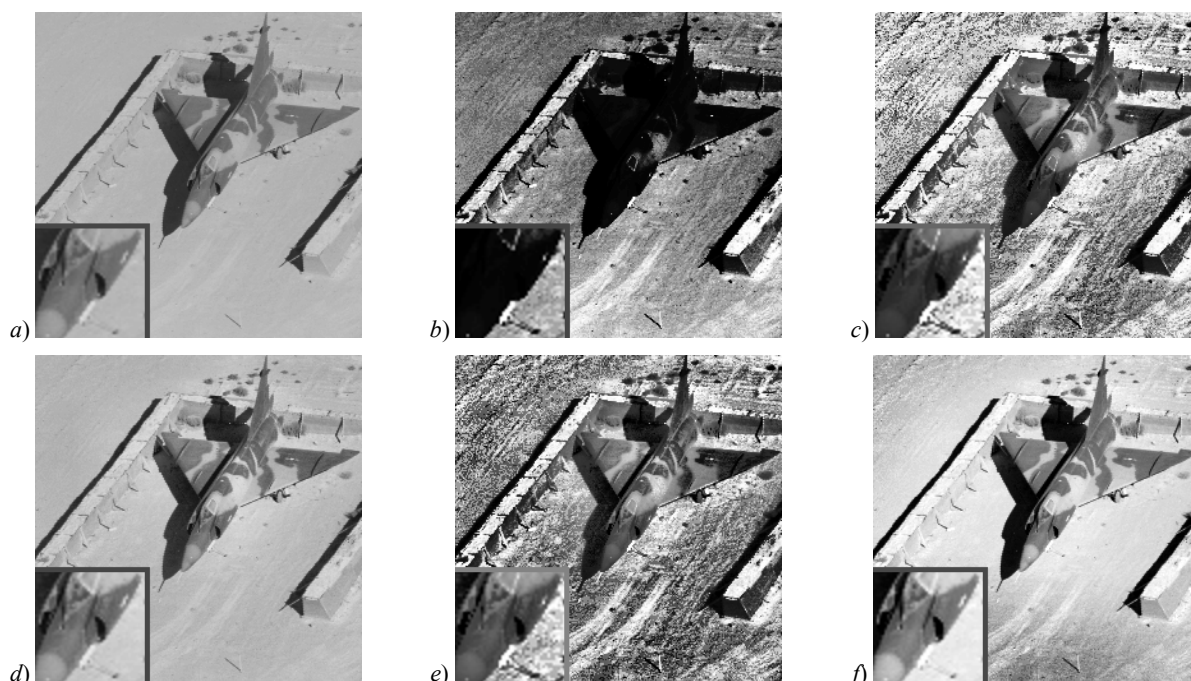
oraz uogólnionej ważonej metody poprawy kontrastu [1] lokalnie realizującej wyrównywanie histogramu (GWCE-HE) bądź też rozciąganie histogramu (GWCE-HS), w którym zastosowano odrzucanie pewnej części pikseli o minimalnych i maksymalnych wartościach, które mają niewielki wpływ na treść obrazu (liczba odrzucanych pikseli określona jest przez parametr α). Wartości parametrów dla wszystkich zastosowanych metod poprawy kontrastu są takie same jak w przypadku badań przedstawionych w [2]. W przypadku miar wykorzystujących lokalne podejście do oceny kontrastu tzn. miar k_{Σ} , $k_{\Sigma M}$, $k_{\Sigma W}$, $k_{\Sigma \Delta}$ jako otoczenie $N(i, j)$ przyjęto okno kwadratowe o wymiarach 3×3 . Dla zilustrowania efektów działania zastosowanych metod poprawy kontrastu na rysunkach 2 i 3 przedstawiono powiększone fragmenty obrazów GOLDHILL

(rys. 2) oraz FIGHTER (rys. 3).

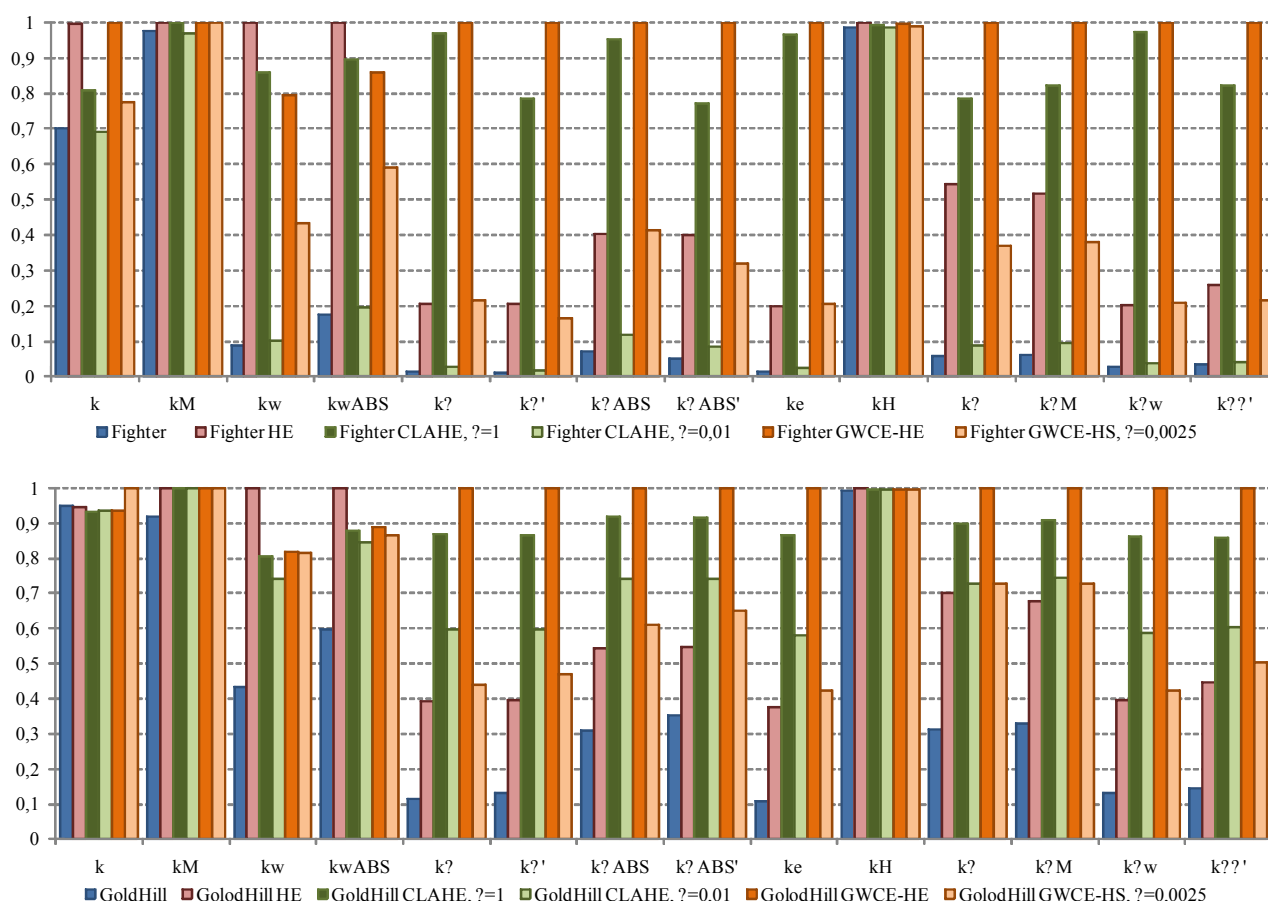
Uzyskane wyniki oceny kontrastu wszystkich analizowanych obrazów zawiera tabela 1. W celu uniezależnienia uzyskiwanych wyników oceny kontrastu od stosowanego sposobu kodowania poziomów szarości (liczby bitów na kanał) w pracy przyjęto unormowany zakres poziomów szarości obrazów $I(i, j) \in \langle 0, 1 \rangle$. Dodatkowo w tabeli 1, w celu ułatwienia porównywania wyników, w nawiasach podano pozycję każdego obrazu jaką przyjmuje on w ramach danego zestawu obrazów po ich uszeregowaniu według malejącego kontrastu ocenianego poszczególnymi miarami. Pod pojęciem zestawu obrazów w pracy rozumiany jest obraz oryginalny wraz z obrazami uzyskanymi w wyniku jego przekształcenia wcześniej podanymi metodami poprawy kontrastu.



Rys. 2. Powiększony fragment obrazów będących w wyniku przekształcenia obrazu GOLDHILL (a) metodą: b) GHE, c) CLAHE dla $\alpha=1$, d) CLAHE dla $\alpha=0,01$, e) GWCE-HE, f) GWCE-HS dla $\alpha=0,0025$ (objaśnienia skrótów w tekście)



Rys. 3. Powiększone fragmenty obrazów będących w wyniku przekształcenia obrazu FIGHTER (a) metodą b) GHE, c) CLAHE dla $\alpha=1$, d) CLAHE dla $\alpha=0,01$, e) GWCE-HE, f) GWCE-HS dla $\alpha=0,0025$ (objaśnienia skrótów w tekście)



Rys. 4. Wykresy unormowanych wartości miar kontrastu dla zestawów obrazów powstałych w wyniku przekształcenia obrazu GOLDHILL (wykres górny) oraz FIGHTER (wykres dolny)

Dla lepszej ilustracji na rysunku 4 przedstawiono wykresy wartości miar kontrastu otrzymanych dla zestawów obrazów GOLDHILL I FIGHTER. Ze względu na duże różnice wartości bezwzględnych uzyskanych dla poszczególnych

miar kontrastu na wykresach przedstawiono ich unormowane wartości. Czynnikiem normalizującym jest największa wartość kontrastu wyznaczona daną miarą dla analizowanego zestawu obrazów; w ten sposób dla

Tabela 1.

Porównanie wyników poprawy kontrastu badanych obrazów; dla każdego zestawu obrazów i dla każdej miary wyróżniono obraz o największym kontraście, w nawiasach podano pozycję obrazu w ramach danej grupy obrazów według malejących ocen kontrastu; numeracja metod: *i* — obraz oryginalny, *ii* — GHE, *iii* — CLAHE dla $\alpha=1$, *iv* — CLAHE dla $\alpha=0,01$, *v* — GWCE z HE, *vi* — GWCE z HS dla $\alpha=0,0025$ (objaśnienia skrótów w tekście)

	Metoda	Miara kontrastu													
		k	k_M	k_w	$k_{w_{ABS}}$	k_Δ	k_Δ'	$k_{\Delta_{ABS}}$	$k_{\Delta_{ABS}}'$	k_e	k_H	k_Σ	$k_{\Sigma M}$	$k_{\Sigma w}$	$k_{\Sigma\Delta}'$
AERIAL	i	1,346 (6)	0,910 (6)	0,096 (6)	0,458 (6)	0,030 (6)	0,043 (6)	0,198 (6)	0,280 (6)	0,011 (6)	5,406 (6)	0,256 (6)	0,126 (6)	0,011 (6)	0,037 (6)
	ii	2,002 (2)	1,000 (1)	0,344 (1)	1,016 (1)	0,117 (3)	0,233 (3)	0,402 (3)	0,804 (3)	0,045 (3)	5,331 (1)	0,903 (4)	0,381 (3)	0,035 (3)	0,160 (4)
	iii	1,970 (3)	1,000 (1)	0,325 (3)	0,985 (2)	0,134 (2)	0,265 (2)	0,459 (1)	0,905 (2)	0,052 (2)	5,339 (3)	0,914 (3)	0,407 (2)	0,040 (2)	0,177 (2)
	iv	1,752 (5)	1,000 (1)	0,259 (5)	0,871 (5)	0,096 (5)	0,168 (5)	0,384 (5)	0,672 (5)	0,037 (5)	5,368 (5)	0,661 (5)	0,307 (5)	0,028 (5)	0,119 (5)
	v	2,012 (1)	1,000 (1)	0,326 (2)	0,982 (3)	0,143 (1)	0,289 (1)	0,483 (4)	0,972 (1)	0,055 (1)	5,336 (2)	0,994 (1)	0,436 (1)	0,043 (1)	0,192 (1)
	vi	1,919 (4)	1,000 (1)	0,295 (4)	0,910 (4)	0,108 (4)	0,208 (4)	0,389 (2)	0,746 (4)	0,041 (4)	5,341 (4)	0,941 (2)	0,380 (4)	0,032 (4)	0,174 (4)
GOLDHILL	i	2,005 (2)	0,918 (6)	0,149 (6)	0,607 (6)	0,011 (6)	0,025 (6)	0,133 (6)	0,302 (6)	0,004 (6)	5,377 (6)	0,255 (6)	0,126 (6)	0,004 (6)	0,019 (6)
	ii	1,999 (3)	1,000 (1)	0,345 (1)	1,018 (1)	0,037 (5)	0,075 (5)	0,234 (5)	0,467 (5)	0,014 (5)	5,331 (1)	0,574 (5)	0,259 (5)	0,013 (5)	0,058 (5)
	iii	1,972 (6)	1,000 (1)	0,278 (4)	0,895 (3)	0,083 (2)	0,164 (2)	0,396 (2)	0,780 (2)	0,032 (2)	5,352 (4)	0,735 (2)	0,347 (2)	0,028 (2)	0,111 (2)
	iv	1,977 (5)	1,000 (1)	0,256 (5)	0,860 (5)	0,057 (3)	0,113 (3)	0,320 (3)	0,632 (3)	0,022 (3)	5,358 (5)	0,595 (4)	0,285 (3)	0,019 (3)	0,078 (3)
	v	1,979 (4)	1,000 (1)	0,283 (2)	0,906 (2)	0,095 (1)	0,189 (1)	0,431 (1)	0,853 (1)	0,038 (1)	5,349 (3)	0,818 (1)	0,382 (1)	0,032 (1)	0,130 (1)
	vi	2,114 (1)	1,000 (1)	0,281 (3)	0,880 (4)	0,042 (4)	0,089 (4)	0,263 (4)	0,556 (4)	0,016 (4)	5,344 (2)	0,596 (3)	0,278 (4)	0,014 (4)	0,065 (4)
BOAT	i	1,756 (6)	1,000 (1)	0,168 (6)	0,675 (6)	0,014 (6)	0,025 (6)	0,128 (6)	0,239 (6)	0,005 (6)	5,379 (6)	0,220 (6)	0,108 (6)	0,004 (6)	0,021 (6)
	ii	2,001 (2)	1,000 (1)	0,344 (2)	1,017 (2)	0,050 (3)	0,100 (3)	0,241 (5)	0,482 (4)	0,019 (3)	5,331 (2)	0,495 (4)	0,223 (4)	0,016 (3)	0,058 (4)
	iii	1,937 (4)	1,000 (1)	0,292 (4)	0,922 (4)	0,118 (2)	0,230 (2)	0,451 (2)	0,873 (2)	0,048 (2)	5,351 (4)	0,786 (2)	0,367 (2)	0,043 (2)	0,156 (2)
	iv	1,861 (5)	1,000 (1)	0,221 (5)	0,780 (5)	0,042 (5)	0,079 (5)	0,255 (4)	0,475 (5)	0,016 (5)	5,369 (5)	0,435 (5)	0,211 (5)	0,013 (5)	0,054 (5)
	v	2,011 (1)	1,000 (1)	0,295 (3)	0,923 (3)	0,132 (1)	0,265 (1)	0,488 (1)	0,981 (1)	0,054 (1)	5,345 (3)	0,891 (1)	0,410 (1)	0,048 (1)	0,179 (1)
	vi	1,969 (3)	1,000 (1)	0,354 (1)	1,046 (1)	0,049 (4)	0,096 (4)	0,262 (3)	0,516 (3)	0,018 (4)	5,327 (1)	0,586 (3)	0,272 (3)	0,015 (4)	0,071 (3)
FIGHTER	i	1,409 (5)	0,976 (5)	0,030 (6)	0,178 (6)	0,004 (6)	0,006 (6)	0,050 (6)	0,073 (6)	0,002 (6)	5,414 (6)	0,065 (6)	0,032 (6)	0,003 (6)	0,011 (6)
	ii	2,000 (2)	1,000 (1)	0,345 (1)	1,025 (1)	0,052 (4)	0,104 (3)	0,276 (4)	0,552 (3)	0,023 (4)	5,331 (1)	0,609 (3)	0,270 (3)	0,021 (4)	0,082 (3)
	iii	1,627 (3)	1,000 (1)	0,296 (2)	0,919 (2)	0,246 (2)	0,399 (2)	0,655 (2)	1,065 (2)	0,113 (2)	5,367 (3)	0,879 (2)	0,431 (2)	0,099 (2)	0,262 (2)
	iv	1,393 (6)	0,969 (6)	0,035 (5)	0,200 (5)	0,007 (5)	0,010 (5)	0,081 (5)	0,117 (5)	0,003 (5)	5,413 (5)	0,100 (5)	0,049 (5)	0,004 (5)	0,014 (5)
	v	2,010 (1)	1,000 (1)	0,274 (3)	0,881 (3)	0,254 (1)	0,510 (1)	0,688 (1)	1,382 (1)	0,117 (1)	5,350 (2)	1,120 (1)	0,524 (1)	0,102 (1)	0,318 (1)
	vi	1,555 (4)	1,000 (1)	0,150 (4)	0,606 (4)	0,054 (3)	0,085 (4)	0,283 (3)	0,441 (4)	0,024 (3)	5,394 (4)	0,415 (4)	0,199 (4)	0,021 (3)	0,069 (4)
LENA	i	1,773 (6)	0,815 (6)	0,141 (6)	0,624 (6)	0,008 (6)	0,017 (6)	0,100 (6)	0,205 (6)	0,003 (6)	5,384 (6)	0,198 (6)	0,096 (6)	0,003 (6)	0,015 (6)
	ii	2,001 (3)	1,000 (1)	0,343 (3)	1,016 (3)	0,020 (5)	0,040 (5)	0,155 (5)	0,309 (5)	0,008 (5)	5,331 (5)	0,504 (5)	0,218 (5)	0,005 (5)	0,040 (5)
	iii	1,963 (4)	1,000 (1)	0,284 (2)	0,904 (2)	0,054 (1)	0,107 (1)	0,307 (1)	0,602 (1)	0,023 (1)	5,350 (1)	0,634 (1)	0,296 (1)	0,018 (1)	0,081 (1)
	iv	1,942 (1)	1,000 (1)	0,227 (4)	0,799 (4)	0,027 (3)	0,053 (3)	0,209 (3)	0,407 (3)	0,011 (3)	5,366 (3)	0,427 (3)	0,203 (3)	0,008 (3)	0,043 (3)
	v	2,018 (5)	1,000 (1)	0,273 (1)	0,876 (5)	0,065 (4)	0,131 (4)	0,345 (4)	0,697 (4)	0,027 (4)	5,349 (4)	0,729 (4)	0,334 (4)	0,022 (4)	0,098 (4)
	vi	1,996 (2)	1,000 (1)	0,341 (5)	1,018 (1)	0,025 (2)	0,050 (2)	0,178 (2)	0,355 (2)	0,009 (2)	5,333 (2)	0,503 (2)	0,226 (2)	0,007 (2)	0,045 (2)
PEPPERS	i	2,198 (6)	1,000 (1)	0,203 (6)	0,799 (6)	0,010 (6)	0,025 (6)	0,106 (6)	0,259 (6)	0,004 (6)	5,342 (6)	0,323 (6)	0,150 (6)	0,003 (6)	0,022 (6)
	ii	2,000 (2)	1,000 (1)	0,343 (2)	1,016 (2)	0,019 (5)	0,037 (5)	0,147 (5)	0,294 (5)	0,007 (5)	5,332 (2)	0,403 (5)	0,179 (5)	0,005 (5)	0,032 (5)
	iii	1,963 (4)	1,000 (1)	0,287 (3)	0,915 (3)	0,054 (2)	0,106 (2)	0,300 (2)	0,589 (2)	0,025 (2)	5,350 (4)	0,592 (2)	0,281 (2)	0,019 (2)	0,080 (2)
	iv	2,126 (1)	1,000 (1)	0,261 (5)	0,884 (4)	0,025 (3)	0,053 (3)	0,203 (3)	0,432 (3)	0,010 (3)	5,346 (3)	0,466 (3)	0,221 (3)	0,008 (3)	0,041 (3)
	v	1,965 (3)	1,000 (1)	0,275 (4)	0,881 (5)	0,069 (1)	0,135 (1)	0,348 (1)	0,684 (1)	0,032 (1)	5,352 (5)	0,689 (1)	0,321 (1)	0,025 (1)	0,103 (1)
	vi	1,926 (5)	1,000 (1)	0,393 (1)	1,138 (1)	0,022 (4)	0,042 (4)	0,159 (4)	0,306 (4)	0,008 (4)	5,325 (1)	0,449 (4)	0,202 (4)	0,006 (4)	0,038 (4)
CLOCK	i	2,539 (1)	1,000 (1)	0,099 (6)	0,520 (6)	0,002 (6)	0,007 (6)	0,047 (6)	0,152 (6)	0,001 (6)	5,348 (4)	0,139 (6)	0,068 (6)	0,000 (6)	0,006 (6)
	ii	2,000 (5)	1,000 (1)	0,343 (1)	1,015 (1)	0,009 (5)	0,018 (5)	0,091 (5)	0,182 (5)	0,003 (5)	5,332 (2)	0,156 (5)	0,076 (5)	0,001 (5)	0,012 (5)
	iii	1,881 (6)	1,000 (1)	0,239 (4)	0,799 (4)	0,027 (2)	0,051 (2)	0,199 (2)	0,375 (2)	0,010 (2)	5,365 (6)	0,391 (2)	0,185 (2)	0,006 (2)	0,037 (2)
	iv	2,268 (2)	0,992 (6)	0,213 (5)	0,785 (5)	0,010 (4)	0,024 (4)	0,115 (4)	0,278 (3)	0,004 (4)	5,341 (3)	0,252 (4)	0,122 (4)	0,001 (4)	0,016 (4)
	v	2,113 (4)	1,000 (1)	0,242 (3)	0,830 (3)	0,033 (1)	0,070 (1)	0,231 (1)	0,488 (1)	0,012 (1)	5,353 (5)	0,495 (1)	0,230 (1)	0,007 (1)	0,047 (1)
	vi	2,148 (3)	1,000 (1)	0,330 (2)	1,010 (2)	0,012 (3)	0,026 (3)	0,117 (3)	0,252 (4)	0,004 (3)	5,319 (1)	0,276 (3)	0,129 (3)	0,002 (3)	0,020 (3)
MANDRILL	i	1,781 (6)	1,000 (1)	0,110 (6)	0,548 (6)	0,051 (6)	0,101 (6)	0,301 (6)	0,594 (6)	0,021 (6)	5,393 (6)	0,468 (6)	0,228 (6)	0,019 (6)	0,065 (6)
	ii	2,000 (1)	1,000 (1)	0,345 (1)	1,017 (1)	0,164 (4)	0,328 (4)	0,530 (5)	1,060 (5)	0,066 (4)	5,331 (1)	1,046 (3)	0,447 (4)	0,060 (4)	0,222 (4)
	iii	1,969 (4)	1,000 (1)	0,304 (2)	0,947 (2)	0,202 (2)	0,397 (2)	0,644 (2)	1,268 (2)	0,083 (2)	5,345 (3)	1,090 (2)	0,500 (2)	0,073 (2)	0,252 (2)
	iv	1,942 (5)	1,000 (1)	0,273 (5)	0,896 (5)	0,182 (3)	0,353 (3)	0,599 (3)	1,163 (3)	0,074 (3)	5,355 (5)	0,977 (4)	0,453 (3)	0,066 (3)	0,223 (3)
	v	1,998 (2)	1,000 (1)	0,303 (3)	0,941 (3)	0,226 (1)	0,451 (1)	0,693 (1)	1,384 (1)	0,093 (1)	5,342 (2)	1,182 (1)	0,538 (1)	0,082 (1)	0,285 (1)
	vi	1,982 (3)	1,000 (1)	0,292 (4)	0,934 (4)	0,155 (5)	0,307 (5)	0,539 (4)	1,068 (4)	0,063 (5)	5,347 (4)	0,961 (5)	0,439 (5)	0,056 (5)	0,199 (5)

obrazów, które według danej miary w obrębie danego zestawu obrazów mają największy kontrast, unormowana wartość kontrastu jest równa 1.

4. PODSUMOWANIE

Analizując przedstawione w poprzednim rozdziale wyniki można zauważyć duże zróżnicowanie otrzymanych

ocen kontrastu. Pomimo tego dla każdego zestawu obrazów można wyróżnić miary kontrastu dające identyczne, w sensie uszeregowania obrazów według ich kontrastu, wyniki. Miary tworzące takie grupy są w ogólnym przypadku różne dla różnych zestawów obrazów. Analizując skład takich grup można jednak zauważyć, że trzy miary (k_Δ , k_e , $k_{\Sigma w}$) najczęściej spośród wszystkich analizowanych miar występują w ramach takich grup. Co

więcej, ocena kontrastu tymi metodami (w sensie ich uszeregowania) jest identyczna w ramach poszczególnych zestawów obrazów (sytuacja taka w przypadku innych niż testowane zestawy obrazów może jednak nie wystąpić).

Takie podejście do wyboru miar kontrastu nie jest jednak właściwe. Merytorycznie uzasadnionym podejściem jest poszukiwanie takich miar kontrastu, które dla danego zastosowania dają wyniki zgodne z subiektywną oceną kontrastu obrazów, która to ocena uwzględnia wymagania związane z celem jej prowadzenia.

PRZYKŁAD 1. Celem oceny kontrastu jest wybór obrazu o możliwie wysokim kontraście przy jednoczesnym zachowaniu jego naturalnego wyglądu (takie kryterium pojawia się w zadaniach automatycznej poprawy jakości zdjęć m.in. na potrzeby wykonywania odbitek fotograficznych). W takim przypadku dla zestawu GOLDHILL (rys. 2) za obrazy o najlepszym kontraście należy uznać obrazy będące wynikiem stosowania GHE (rys. 2b) lub GWCE-HS (rys. 2f). Porównując wyniki takiej subiektywnej oceny z wynikami przedstawionymi w tabeli 1 zwraca uwagę fakt, że większość miar (9 na 13; miara k_M ze względu na brak jednoznaczności uzyskiwanych przy jej pomocy wyników w dalszej części pracy nie jest brana pod uwagę) wskazuje jako obraz o największym kontraście wynik stosowania GWCE-HE (rys. 2e). Dla porównania wynik stosowania GHE jako najlepszy wskazywany jest tylko przez 3 miary, a GWCE-HS jedynie przez 1 miarę. ■

PRZYKŁAD 2. Innym kryterium oceny kontrastu obrazów jest ocena obrazów pod kątem łatwości ich analizy przez człowieka, co zwykle wiąże się z wymaganiem łatwego rozróżnienia szczegółów zawartych w obrazach (takie wymaganie stawiane jest m.in. w przypadku analizy zdjęć rentgenowskich lub zdjęć lotniczych). Analizując pod tym kątem zestaw obrazów lotniczych FIGHTER (rys. 3) jako obraz o najlepszym kontraście należy uznać obraz będący wynikiem stosowania GWCE-HE (rys. 3e) oraz obraz uzyskany przy zastosowaniu CLAHE dla $\alpha=1$ (rys. 3c). Porównując wyniki takiej subiektywnej oceny z oceną za pomocą metod obiektywnych (tab. 1) okazuje się, że obraz będący wynikiem stosowania GWCE-HE został wskazany przez większość miar (10 z 13) jako najlepszy, natomiast wynik stosowania CLAHE został przez większość miar (11 z 13) wskazany jako obraz o drugim w kolejności kontraście w tym zestawie obrazów. ■

Podsumowując należy zwrócić uwagę na to, że poprzednio wybrane, uniwersalne, miary kontrastu, tzn. k_A , k_e , $k_{\Sigma w}$, dały wynik zgodny z oceną subiektywną jedynie dla przykładu 2., natomiast dla przykładu 1. ocena kontrastu tymi miarami nie jest zgodna z oceną subiektywną —miary te są zatem nieprzydatne w tym zastosowaniu. Warto zaznaczyć, że dla obu przedstawionych w przytoczonych przykładach, istotnie różnych, celów poszukiwania obrazu o największym kontraście udało się wśród analizowanych w pracy miar kontrastu wybrać choć jedną miarę, która daje wynik zgodny z subiektywną oceną kontrastu obrazów prowadzoną przez człowieka pod kątem danego zastosowania (nie oznacza to jednak niestety, że tak będzie dla każdego przypadku). Analizując otrzymane w obu przykładach, znacząco różniące się, wyniki w postaci wyboru miary lub miar kontrastu sprawdzających się w danym zastosowaniu widać, że decyzja o wyborze określonej miary kontrastu do danego zastosowania

powinna być poprzedzona oceną przydatności danej miary w tym konkretnym zastosowaniu.

PODZIĘKOWANIA

Praca finansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej w roku 2010.

LITERATURA

- [1] Bal A., „Ważona lokalna metoda poprawy kontrastu obrazów cyfrowych”, *Przegląd telekomunikacyjny* 6/2008, CD.
- [2] Bal A., „Porównanie wybranych metod oceny kontrastu achromatycznych obrazów cyfrowych”, *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 7, ss. 501–503, 2009.
- [3] Borsotti, M., Campadelli, P., „Schettini, R.: Quantitative Evaluation of Color Image Segmentation Results”, *Patt. Rec. Lett.*, vol.19, ss. 741–747, 1998.
- [4] Chen Guojin, Zhu Miaofen, Guan Liming, Zhang Kesong, Xu Guohua, Shi Huli, „Study on Contrast Evaluation Function of CMOS Digital Camera”, *Proc. of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Monterey, Kalifornia, USA, 2005, ss. 379–383.
- [5] Gonzalez R. G., Woods R. E., *Digital image processing*, Addison-Wesley Publishing Co., 1992.
- [6] Hasler D., Süssstrunk S., „Measuring colourfulness for natural images”, *Proc. IS&T/SPIE Electronic Imaging 2003: Human Vision and Electronic Imaging VIII*, vol. 5007, San Jose, Kalifornia, USA, 2003, ss. 87–95.
- [7] Lehmann T., Oberschelp W., Pelikan E., Repges R., „Bildverarbeitung für die Medizin, Grundlagen, Modelle, Methoden, Anwendungen.” Springer, Berlin 1997.
- [8] Li Xi, Liu Guosui, Jinlin Ni, „Autofocusing of ISAR images based on entropy minimization”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 35, no. 4, ss. 1240–1252, 1999.
- [9] Liu, J., Yang, Y.-H., „Multiresolution Color Image Segmentation”, *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 16, nr 7, ss. 689–700, 1994.
- [10] Palus H., Bal A., „Wpływ wybranych parametrów akwizycji obrazu na jego barwność”, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 4, ss. 94–97, 2008.
- [11] Pratt W., *Digital image processing*, John Wiley & Sons, 2001.
- [12] Zuiderveld K.: Contrast limited adaptive histogram equalization, *Graphics gems IV*, Academic Press Professional, Inc., San Diego, USA, ss.474–485, 1994.



dr inż. Artur Bal
Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki
i Informatyki, Instytut Automatyki

ul. Akademicka 16
44-100 Gliwice

tel.: 32 237 10 94
e-mail: artur.bal@polsl.pl