

Artur BAL*
Politechnika Śląska

UOGÓLNIONA LOKALNA METODA POPRAWY KONTRASTU OBRAZÓW CYFROWYCH*

Streszczenie. Praca dotyczy zagadnienia poprawy kontrastu achromatycznych obrazów cyfrowych. Na tle prezentowanych w literaturze metod poprawy kontrastu obrazów przedstawiono ważoną lokalną metodę poprawy kontrastu będącą uogólnieniem pewnej klasy znanych lokalnych metod poprawy kontrastu.

GENERALIZED LOCAL CONTRAST ENHANCEMENT METHOD FOR DIGITAL IMAGES

Summary. In this paper the problem of contrast enhancement of gray-level images is analyzed. On the background of the methods described in literature novel weighted local contrast enhancement method, which is a generalization of a certain class of local contrast enhancement method, is presented.

1. Wprowadzenie

Kontrast obrazu jest jednym z najważniejszych parametrów stosowanych do opisu jakości technicznej obrazów [1, 5]. W literaturze przedmiotu parametr ten jest bardzo różnie definiowany, co przekłada się na różne metody ilościowej oceny kontrastu obrazu. Niektóre definicje mogą być tylko stosowane do określonych typów obrazów, np. obrazów prezentujących jasne obiekty na ciemnym tle, i odnoszą się w takim przypadku do różnicy między poziomami szarości obiektów i tła. Takie pojmowanie kontrastu nie jest jednak wystarczające dla większości obrazów. Dlatego w praktyce, w przypadku obrazów prezentujących bardziej złożone treści, pojęcie kontrastu obrazu stosowane jest częściej do opisu złożonego wrażenia związanego z czytelnością obrazu i zdolnością rozróżnienia szczegółów w nim zawartych. Takie rozumienie kontrastu obrazu dobrze odpowiada potrzebom występującym podczas realizacji zadań analizy i interpretacji obrazów. Ze względu na ogólność i jego praktyczne znaczenie, takie postrzeganie kontrastu obrazu zostało również przyjęte w niniejszej pracy.

Niewłaściwy, tzn. za duży lub zbyt mały, kontrast obrazu zwykle uniemożliwia otrzymanie poprawnych wyników analizy takich obrazów. W przypadku gdy kontrast

* Adres e-mail: Artur.Bal@polsl.pl.

* Praca finansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej w 2008 roku — nr pracy: BK-209/RAu1/2008 t.4.

obrazu jest za duży, często dochodzi do nieodwracalnej utraty szczegółów w jasnych lub ciemnych częściach obrazu; takie przypadki nie będą analizowane w pracy. Tematem pracy jest natomiast poprawa kontrastu obrazów o zbyt niskim kontraście. Potrzeba poprawy jakości takich obrazów często występuje m.in. w przypadku obrazów medycznych oraz lotniczych. Ponieważ analiza tego typu obrazów prowadzona jest bardzo często przez człowieka, jakość poprawy kontrastu, w sensie przyjętej w pracy definicji, znacząco wpływa na poprawność wyników ich analizy, a tym samym wpływa na poprawność podejmowanych na tej podstawie decyzji.

W pracy przedstawiona została (rozdział 3) *ważona lokalna metoda poprawy kontrastu* będąca uogólnieniem pewnej klasy metod poprawy kontrastu. Prezentację nowej metody poprzedzono krótkim przedstawieniem cech wybranych metod poprawy kontrastu (rozdział 2). W rozdziale 4 przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane za pomocą metod opisanych w pracy. Ostatni 5 rozdział stanowi podsumowanie.

2. Porównanie własności wybranych metod poprawy kontrastu obrazów

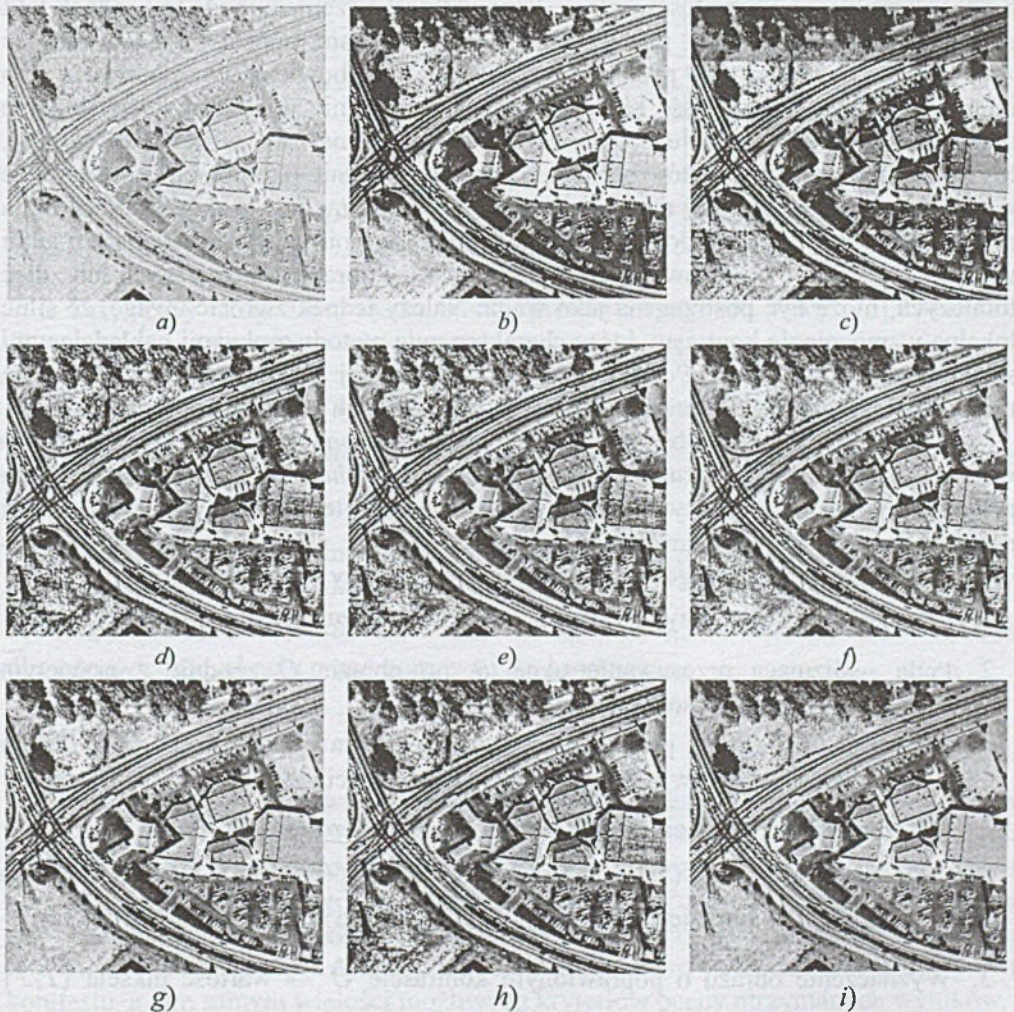
Z punktu widzenia wizualnej analizy obrazów podstawowym celem poprawy kontrastu jest zwiększenie możliwości rozróżnienia szczegółów występujących w obrazach. W przypadku niektórych obrazów cel ten może być z powodzeniem zrealizowany globalnymi metodami poprawy kontrastu. Ze względu na to, że w tego typu metodach poprawa kontrastu dokonywana jest na podstawie zagregowanej informacji o obrazie (w zależności od stosowanej metody są to różne informacje) i wartości poziomu szarości aktualnie analizowanego piksela, uzyskiwany wynik jest często niezadowolający. Drogą do poprawy jakości uzyskiwanych wyników jest wykorzystanie zamiast zagregowanej globalnej informacji o obrazie zagregowanej informacji o otoczeniu analizowanego piksela. Metody, w których stosowane jest takie podejście, są określane jako *lokalne metody poprawy kontrastu obrazów*.

W najprostszym przypadku lokalnej realizacji poprawy kontrastu stosowane są okna sąsiadujące — w rozwiązaniu tym cały obraz podzielony jest na niemające części wspólnych prostokątne fragmenty (okna), a proces poprawy kontrastu realizowany jest w nich niezależnie od siebie [1, 3]. Dzięki takiemu rozwiązaniu nowe wartości poziomów szarości wyznaczane są stosownie do lokalnych, ograniczonych oknem, zmian treści obrazu. Takie podejście ma jednak istotną wadę w postaci silnego, niemającego uzasadnienia z punktu widzenia semantyki obrazu wejściowego, zróżnicowania wyników poprawy kontrastu uzyskanych dla poszczególnych okien. Efekt ten widoczny jest w obrazie wynikowym przez uwidocznienie struktury przyjętego podziału obrazu wejściowego na okna (rys. 1c).

W celu usunięcia tej wady w literaturze proponowane są rozwiązania, w których okna nakładają się częściowo na siebie, a jako wynik zapamiętywane są centralne fragmenty poszczególnych okien, przy czym każdy z tych fragmentów należy tylko do jednego okna. W skrajnym przypadku centralna część okna sprowadzana jest do pojedynczego punktu. Parametry w postaci wielkości okien i wielkości ich przesunięcia dobierane są tak, by centralne części poszczególnych okien sąsiadowały ze sobą — przy odpowiednim doborze parametrów metody w obrazie wynikowym nie będzie widoczna struktura podziału obrazu na okna (rys. 1d i 1e). Istotną zaletą wynikającą ze stosowania okien nakładających się jest, w

porównaniu z metodą okien sąsiadujących, wykorzystanie praktycznie takiego samego otoczenia do wyznaczenia nowych wartości poziomów szarości większości punktów obrazu (nie dotyczy to pikseli leżących blisko brzegu obrazu). W przypadku stosowania okien sąsiadujących otoczenie poszczególnych pikseli jest zmienne i sztucznie uzależnione od położenia pikseli w oknie. Poważną wadą stosowania okien nakładających się jest jednak duży nakład obliczeniowy będący konsekwencją tego, że zapisywany fragment okna jest zwykle wielokrotnie mniejszy zarówno od obrazu, jak i od samego okna.

Innym przykładem metod lokalnych są tzw. adaptacyjne metody poprawy kontrastu [4, 6]. W metodach tych obraz dzielony jest na okna sąsiadujące i dla każdego okna wyznaczana jest lokalna funkcja poprawy kontrastu. Funkcja ta stosowana jest tylko w odniesieniu do centralnego punktu danego okna, a w przypadku pozostałych pikseli obrazu nową wartość ich poziomów szarości wyznacza się przez interpolację, przy czym węzłami interpolacji są centralne punkty okien otaczających



Rys. 1. Przykłady poprawy kontrastu obrazu AERIAL (a) różnymi metodami (b-i); zestawienie parametrów oraz ilościową ocenę wyników zawiera tabela 1

dany piksel. Dzięki temu, że liczba okien jest zwykle niewielka, możliwe jest, w porównaniu do metody z oknami nakładającymi się, znaczne zmniejszenie nakładu obliczeniowego przy zachowaniu dobrej efektywności poprawy kontrastu obrazu.

W przypadku metod lokalnych (w tym także adaptacyjnych) znacznie częściej, niż to ma miejsce dla metod globalnych, występuje zjawisko nadmiernej, tzn. prowadzącej do utraty istotnych szczegółów obrazu, poprawy kontrastu. By przeciwdziałać temu zjawisku, metody lokalne uzupełnia się o dodatkowe procedury ograniczające zmianę kontrastu. Przykładem takiego podejścia jest metoda adaptacyjnego wyrównania histogramu z ograniczeniem kontrastu (ang. *contrast limited adaptive histogram equalization*, CLAHE) [7] (rys. 1g i 1h).

3. Ważona lokalna metoda poprawy kontrastu

Przedstawione w poprzednim rozdziale metody adaptacyjne sprawdzają się bardzo dobrze w wielu zastosowaniach. Pewnym ograniczeniem może być jednak fakt nietraktowania wszystkich pikseli obrazu w taki sam sposób. Nowa wartość zdecydowanej większości pikseli wyznaczana jest bowiem na podstawie ich interpolacji, przez co wartość pikseli wyznaczana jest nie w oparciu o ich lokalne otoczenie, lecz na podstawie pewnej funkcji wyznaczonej dla, w pewnym stopniu, losowo wybranych fragmentów obrazu. Ponadto stosowanie interpolacji powoduje, że wynik poprawy kontrastu w mniejszym stopniu niż np. metody wykorzystujące okna nakładające się sprzyja uwidocznieniu niewielkich grup pikseli. Własność ta z punktu widzenia niektórych zastosowań, w tym m.in. analizy obrazów medycznych lub zdjęć lotniczych, może być postrzegana jako wada. Należy jednak zwrócić uwagę, że silne lokalne wzmocnienie kontrastu, które charakteryzuje metody z oknami nakładającymi się, nie zawsze jest zaletą. Pożądaną zatem cechą, której aktualnie brakuje tego typu metodom, jest możliwość bardziej swobodnego doboru ich własności w tym zakresie.

Wychodząc od tych obserwacji, opracowano *ważoną lokalną metodę poprawy kontrastu* (ang. *weighted local contrast enhancement method*), która jest uogólnieniem pewnej klasy metod poprawy kontrastu. Do parametrów tej metody, oprócz wielkości przesuwanego okna θ i kroku jego przesunięcia δ , należy macierz wag ω o wymiarach okna przesuwanego θ . Algorytm nowej metody jest następujący:

1. Przygotowanie macierzy Θ i Ω o wymiarach obrazu O zawierających 0;
2. Pętla realizująca przesuwanie okna θ po obrazie O zgodnie z przyjętym krokiem δ dla każdej lokalizacji okna należy:
 - a) poprawić kontrast przyjętym operatorem poprawy kontrastu κ dla pikseli należących do θ ; wynikiem tej operacji jest macierz $\kappa(\theta)$,
 - b) zmodyfikować macierze Θ i Ω zgodnie ze wzorami $\Theta_{IJ} := \Theta_{IJ} + \omega_{ij}\kappa_{ij}(\theta)$ i $\Omega_{IJ} := \Omega_{IJ} + \omega_{ij}$ ($:=$ przypisanie), gdzie współrzędna (I, J) odpowiada położeniu w obrazie O piksela występującego na pozycji (i, j) w oknie θ ;
3. Wyznaczenie obrazu o poprawionym kontraście \hat{O} — wartość piksela (I, J) tego obrazu jest równa $\hat{O}_{IJ} = \Theta_{IJ}/\Omega_{IJ}$ (indeks określa element danej macierzy).

4. Porównanie wyników

Na rysunku 1 przedstawiono porównanie przykładowych wyników poprawy kontrastu uzyskanych dla obrazu AERIAL (rys. 1a). Zastosowane metody, przyjęte wartości parametrów oraz ilościowe oceny uzyskanych wyników zostały podane w tabeli 1.

Tabela 1

Zestawienie metod i parametrów użytych do uzyskania obrazów z rysunku 1 oraz uzyskanych wartości współczynnika kontrastu k ; oznaczenia operatorów: HE — wyrównanie histogramu, HS — rozciąganie histogramu

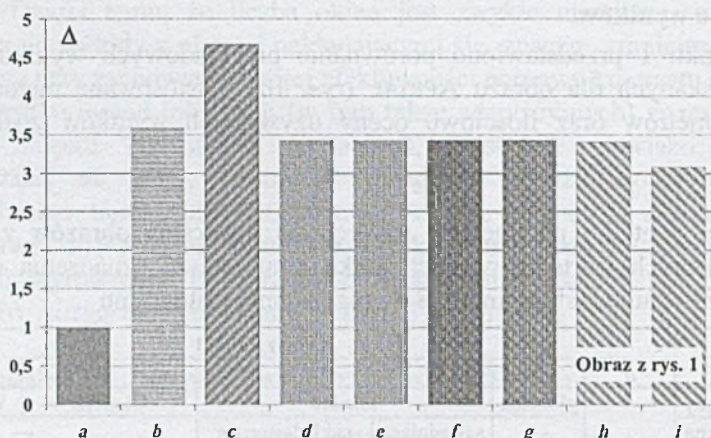
		Obraz z rys. 1								
		a	b	c	d	e	f	g	h	i
Rodzaj metody	obraz oryginalny	globalna	lokalna			CLAHE		ważona lokalna		
Typ okna		—	sąsiadujące	nakładające się		—				
Operator poprawy kontrastu κ		HE	HS	HE		—		HE	HS	
Macierz wag ω		—	jedynekowa	centralna		—		odległościowa		
Rozmiar okna		—	64×64							
Przesunięcie δ		—	—		32	2	—		16	16
Ograniczenie kontrastu lub próg		—	0,0075	—		1	0,1	—		0,01
Uzyskany współczynnik kontrastu k		0,0957	0,3439	0,4476	0,3282	0,3276	0,3276	0,3276	0,3259	0,2949

Do oceny kontrastu zastosowano przedstawiony w pracy [2] wskaźnik $k = 4(M \cdot N \cdot L^2)^{-1} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i, j) - \bar{I})^2$, gdzie L jest zakresem wartości, jakie mogą przyjąć poziomy szarości (w pracy $L=1$), liczba 4 normalizuje wartość k , $I(i, j)$ to wartość poziomu szarości przypisanego do piksela o współrzędnych (i, j) , M i N to rozdzielczość obrazu, a $\bar{I} = (M \cdot N)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I(i, j)$ jest średnią wartością poziomów szarości w danym obrazie; większe k oznacza lepszy kontrast.

Na rysunku 2 przedstawiono wykres wartości współczynnika $\Delta = k_{out}/k_{in}$ będącego miarą poprawy kontrastu; zmienne k_{out} i k_{in} są wartościami oceny kontrastu dla, odpowiednio, obrazu przed poprawą i po poprawie.

5. Podsumowanie

Porównując przedstawione w pracy przykładowe wyniki poprawy kontrastu, należy zauważyć, że pomimo prawie identycznych wartości współczynnika k dla części metod (przypadki $d \div h$), otrzymane obrazy różnią się między sobą sposobem prezentacji pewnych szczegółów obrazu oryginalnego. Pomimo występujących różnic nie jest jednak możliwe obiektywne wskazanie najlepszego rezultatu — wynika to z wielości potencjalnych celów, w kierunku których prowadzona może być poprawa kontrastu, a tym samym wielości możliwych kryteriów oceny otrzymanych wyników.



Rys. 2. Wykres wartości współczynnika poprawy kontrastu Δ dla wszystkich obrazów z rysunku 1; różne wzory wypełnienia odpowiadają zastosowaniu różnych metod poprawy kontrastu (tab. 1 wiersz 2)

Z praktycznego punktu widzenia równie ważną jak otwarcie nowych możliwości w zakresie poprawy kontrastu konsekwencją opracowania ważonej lokalnej metody poprawy kontrastu jest łatwy wybór rodzaju stosowanego przetwarzania w obrębie pewnej klasy metod poprawy kontrastu. W tym celu wystarczy jedynie odpowiednio dobrać macierz wag ω i wielkość przesunięcia δ . Dla zilustrowania tych możliwości w tabeli 1, podano jakie macierze wag należy stosować w metodzie ważonej, aby wynik jej działania był identyczny z innymi metodami poprawy kontrastu; stosowane oznaczenia macierzy ω : jedynkowa — wszystkie elementy ω są równe 1, centralna — tylko środkowa część ω o wymiarach wynikających z δ zawiera 1 (pozostałe elementy są 0), odległościowa — wartość każdego elementu ω jest równa jego odległości wyznaczonej metryką L_∞ od otoczenia ω (np. dla macierzy $n \times n$, gdzie n jest parzyste, $\omega_{ij} \in \{1, \dots, n/2\} \subset \mathbb{Z}$).

Wprowadzenie w metodzie ważonej macierzy ω pozwala na podjęcie prac nad dodaniem w przyszłości do prezentowanej metody adaptacyjnego doboru wielkości i kształtu okna θ ; dobór θ uzależniony zostałby od lokalnych cech obrazu. Procesowi adaptacyjnego doboru może, oczywiście, także podlegać ω , operator poprawy kontrastu κ i jego parametry (np. parametr ograniczający dopuszczalną zmianę kontrastu). Obiecującym podejściem do realizacji adaptacji jest wykorzystanie wiedzy o obiektach występujących w przetwarzanym obrazie, np. w postaci ich cech, takich jak wielkość lub kształt. Taka dodatkowa informacja jest znana w przypadku wielu zadań analizy obrazów, a jej wykorzystanie już na etapie przetwarzania wstępnego powinno pozwolić m.in. na bardziej efektywne wydobywanie z obrazu, zawartych w nim i interesujących z punktu widzenia jego analizy, treści. Ze względu na spodziewaną istotną poprawę wyników badania nad zastosowaniem adaptacji będą jednym z głównych kierunków rozwoju przedstawionej w pracy metody ważonej.

BIBLIOGRAFIA

1. Gonzalez R. G., Woods R. E.: Digital image processing. Addison-Wesley Publishing Co. 1992.
2. Lehmann T., Oberschelp W., Pelikan E., Reppes R.: Bildverarbeitung für die Medizin, Grundlagen, Modelle, Methoden, Anwendungen. Springer, Berlin 1997.
3. Ketchum D. J.: Real-time image enhancement techniques. Proc. SPIE/OSA, 1976, 74: p. 120–125.
4. Pizer S. M., Amburn E. P., Austin J. D., Cromartie R., Geselowitz A., Greer T., Ter Haar Romeny B., Zimmerman J. B.: Adaptive histogram equalization and its variations. Comp. Vision Graphics and Image Processing, 1987, 39(3), p.355–368.
5. Pratt W.: Digital image processing. John Wiley & Sons, 2001.
6. Stark J. A.: Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization, IEEE Trans. on Image Processing, 2000, 9(5), p. 889–896.
7. Zuiderveld K.: Contrast limited adaptive histogram equalization, in Graphics gems IV. Academic Press Prof., Inc., San Diego, CA, USA, 1994, p. 474–485.

Recenzent: Dr hab. inż. Wiesław Kotarski

Abstract

In this paper the novel *weighted local contrast enhancement method*, which is generalization of certain class of local contrast enhancement methods, is presented. Main difference between the new enhancement method and the classical ones is the introduction of the weight matrix ω . The final value of each image pixel is given by $\hat{O}_{IJ} = \Theta_{IJ} / \Omega_{IJ}$, where $\Theta_{IJ} := \Theta_{IJ} + \omega_{ij} \kappa_{ij}(\theta)$ and $\Omega_{IJ} := \Omega_{IJ} + \omega_{ij}$; location (I, J) in image corresponds to pixel which is represented by (i, j) element of shift window θ . Matrix $\kappa(\theta)$ is a result of contrast enhancement in θ . By the usage of different ω the contrast enhancement results can be adapted to the requirements of e.g. different image classes. Introduction of the weight matrix into the contrast enhancement methods opens possibility to research on the adaptive contrast enhancement method — e.g. particularly interesting is the adaptation of size and shape of the shift window θ .