

# Ważona lokalna metoda poprawy kontrastu 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 szczególności z obszarową segmentacją obrazów, wizualną archiwizacją obiektów, odwzorowaniem i reprodukcją barw. Prywatnie: miłośnik zabytków techniki i muzyki dawnej, w wolnej chwili fotografuje i zwiedza.

e-mail: Artur.Bal@polsl.pl



## Streszczenie

Praca dotyczy zagadnienia poprawy kontrastu obrazów cyfrowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy własności wybranych metod poprawy kontrastu wskazano na wady stosowanych podejść oraz zaproponowano rozwiązanie w postaci ważonej lokalnej metody poprawy kontrastu. Przedstawiono także porównanie wyników poprawy kontrastu uzyskanych wybranymi metodami.

## Abstract

This article deals with the image contrast enhancement problem. On the basis of analysis of selected image contrast enhancement methods some of their disadvantages have been identified. As a solution of presented drawbacks new method i.e. weighted local contrast enhancement method is proposed. Comparison of results obtained from different contrast enhancement methods is also presented.

**Słowa kluczowe:** analiza obrazu, poprawa kontrastu, lokalne metody poprawy kontrastu, ocena kontrastu.

**Keywords:** image analysis, contrast enhancement, local contrast enhancement methods, contrast evaluation.

## 1. Wstęp

Kontrast obrazu jest jednym z najważniejszych parametrów określających jego jakość techniczną [1, 4]. Najprostsza definicja kontrastu dla obrazów z poziomami szarości odnosi się do różnicy między maksymalną i minimalną wartością poziomów szarości występujących w danym obrazie. W praktyce jednak pojęcie kontrastu obrazu stosowane jest do opisu znacznie bardziej złożonego wrażenia związanego z czytelnością obrazu i zdolnością rozróżnienia szczegółów w nim zawartych. Stosowanie obrazów o odpowiednim kontraście ma więc istotne znaczenie. Korzystanie z obrazów o odpowiednio dużym kontraście znacząco ułatwia np. prowadzenie procesu analizy obrazów co przejawia się m.in. zwiększeniem wiarygodności decyzji podejmowanych na podstawie informacji zawartych w takich obrazach.

Pomimo przedstawionych powyżej zalet stosowania obrazów o dużym kontraście częste są przypadki wykorzystywania obrazów o niewystarczającym kontraście. Najczęstszą przyczyną występowania obniżonego kontrastu w wykorzystywanych obrazach jest niewłaściwy dobór parametrów ich akwizycji. Stosunkowo częsta jest jednak sytuacja, gdy obniżony kontrast obrazu nie jest wynikiem błędu, a wynika z przyczyn obiektywnych np. z braku technicznych możliwości takiego doboru parametrów jego akwizycji by uzyskany został odpowiednio wysoki kontrast obrazu.

W sytuacjach, w których nie jest możliwa poprawa kontrastu wykorzystywanych obrazów poprzez lepszy, z punktu widzenia kontrastu pozyskanego obrazu, dobór parametrów akwizycji konieczne jest podjęcie próby poprawy kontrastu analizowanego obrazu na drodze jego przetwarzania odpowiednimi algorytmami.

W niniejszej pracy przedstawiona została zmodyfikowana metoda realizacji idei lokalnej poprawy kontrastu obrazu — *ważona*

*lokalna metoda poprawy kontrastu*. Proponowana modyfikacja polega na wprowadzeniu wag i odpowiednim ich uwzględnianiu w procesie poprawy kontrastu — jej opis zawiera rozdział 3. Opis ten poprzedza krótkie przybliżenie problemu poprawy kontrastu obrazów z poziomami szarości (rozdział 2.). W rozdziale 4 porównano przykładowe wyniki poprawy kontrastu uzyskane przy zastosowaniu kilku wybranych rozwiązań oraz nowej metody. Ostatni, 5., rozdział jest podsumowaniem dotychczasowych prac.

## 2. Problem poprawy kontrastu obrazów na przykładzie obrazów z poziomami szarości

### 2.1. Uwagi ogólne

Obniżony kontrast obrazu — przy założeniu braku innych jego wad technicznych takich jak np. brak ostrości lub poruszenie — objawia się trudnościami w rozróżnieniu szczegółów zawartych w tym obrazie. Przyczyną takiego stanu rzeczy może być niewykorzystanie całego dostępnego zakresu poziomów szarości lub też niedostateczne zróżnicowanie sąsiadujących ze sobą fragmentów obrazu reprezentujących obiekty, które powinny być rozróżniane. Należy tu zwrócić uwagę na fakt, iż ocena tego czy dany obraz ma lub nie ma odpowiedniego kontrastu uzależniona jest od celu w jakim ten obraz ma być wykorzystany. Konieczne jest zatem dostosowanie metody poprawy kontrastu do wymagań jakie stawiają kolejne etapy przetwarzania i analizy obrazów.

Występujące uzależnienie doboru metody poprawy kontrastu od celu w jakim dany obraz będzie wykorzystany powoduje, że w ogólnym przypadku znacząco utrudniony jest automatyczny dobór metody poprawy kontrastu dostosowanej do obrazu i celu przetwarzania. Trudność ta jest m.in. efektem konieczności uwzględnienia w ogólnym przypadku treści zawartych w obrazie, a zatem wymaga „rozumienia” przez system komputerowy semantyki danego obrazu. Taki wymóg powoduje, że obecnie nie ma praktycznej możliwości zbudowania uniwersalnego systemu doboru metod poprawy kontrastu — możliwa jest jednak budowa systemów dedykowanych.

Stosowanie metod poprawy jakości obrazów, w tym także metod poprawy ich kontrastu, pociąga za sobą konieczność stosowania odpowiednich metod oceny poprawianej cechy tzn. miary jej jakości. W literaturze przedmiotu proponowanych jest wiele różnych metod oceny kontrastu obrazu. Do najczęściej stosowanych należą metody określone poniższymi wzorami:

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

oraz

$$k = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{l_{\max} + l_{\min}}, \quad (2)$$

gdzie  $l_{\min}$  i  $l_{\max}$  to odpowiednio minimalna i maksymalna wartość poziomów szarości występujących w danym obrazie,  $\bar{l} = (M \cdot N)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N l(i, j)$  jest średnią wartością poziomów szarości w danym obrazie,  $l(i, j)$  to wartość poziomu szarości przypisanego do piksela o współrzędnych  $(i, j)$ , a  $M$  i  $N$  to wymiary (rozdzielczość) obrazu.

Wadą oceny kontrastu obrazu przy zastosowaniu wzorów (1) i (2) jest uzależnienie wyniku od wystąpień w obrazie pojedynczych pikseli o skrajnych wartościach. Wady tej nie wykazuje funkcja oceny określona następującym wzorem

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

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

gdzie  $L$  jest zakresem wartości jakie mogą przyjąć poziomy szarości dla danego sposobu kodowania (np. dla kodowania 8-bitowego  $L = 255$ ), liczba 4 w liczniku normalizuje wartość tego współczynnika. Ze względu na swoje korzystne własności wzór (3) zastosowano w pracy do oceny kontrastu obrazów.

Stosując dowolne metody oceny kontrastu należy pamiętać — podobnie jak to ma miejsce w przypadku oceny innych efektów przetwarzania obrazów takich jak np. segmentacja lub usuwanie szumów — że stosowane metody oceny często nie są do końca zgodne z oceną wizualną prowadzoną przez człowieka. Zjawisko to jest konsekwencją nieuwzględnienia w stosowanych funkcjach oceny wiedzy o semantyce ocenianych obrazów.

## 2.2. Globalne metody poprawy kontrastu

Obszerą grupę metod poprawy kontrastu obrazów stanowią tzw. *globalne metody poprawy kontrastu* (ang. *global contrast enhancement methods*). W metodach tych kontrast obrazu zmieniany jest jedynie na podstawie wiedzy o poziomie szarości pikseli tego obrazu i pewnych, odpowiednich dla danej metody, zagregowanych informacji o cechach tego obrazu. Przykładem takiej zagregowanej informacji jest histogram poziomów szarości obrazu.

Analiza histogramu jest punktem wyjścia do opracowania wielu metod poprawy kontrastu obrazów. W metodach tych źródłem zagregowanej informacji o obrazie jest jego histogram. Analiza cech obrazu przenoszonych przez jego histogram jest podstawą do wyznaczenia sposobu modyfikacji wartości poziomów szarości tego obrazu. Do najczęściej stosowanych metod tego typu należą *rozciąganie histogramu* (ang. *histogram stretching*) oraz *wyrównywanie histogramu* (ang. *histogram equalization*) [1, 4, 5].

W metodzie rozciągania histogramu zagregowana informacja na temat poprawianego obrazu sprowadza się jedynie do informacji o najmniejszej  $l_{min}$  i największej  $l_{max}$  wartości poziomów szarości występujących w poprawianym obrazie (w praktyce zatem nie jest nawet potrzebne wyznaczanie histogramu tego obrazu). Modyfikacja poziomów szarości obrazu wejściowego realizowana jest w tym przypadku zgodnie z następującym wzorem

$$l_{out} = \frac{L_{max} - L_{min}}{l_{max} - l_{min}} \cdot (l_{in} - l_{min}) + L_{min}, \quad (4)$$

gdzie  $l_{in}$  i  $l_{out}$  są poziomami szarości obrazów wejściowego i wyjściowego; zmienne  $L_{min}$  i  $L_{max}$  określają zakres wartości poziomów szarości obrazu wyjściowego. Ponieważ o zakresie przekalowania wartości poziomów szarości obrazu wejściowego decydują w praktyce wartości  $l_{min}$  i  $l_{max}$  (zakres  $\langle L_{min}, L_{max} \rangle$ ) jest przyjmowany zwykle jako skrajne wartości przyjętego sposobu kodowania poziomów szarości) metoda ta jest czuła na wystąpienie w obrazie pojedynczych punktów o skrajnych wartościach (podobnie jak przypadku (1) i (2)). Z tego powodu w literaturze proponowane są różne metody wyznaczania zmodyfikowanych wartości  $l'_{min}$  i  $l'_{max}$  takich, że  $l_{min} \leq l'_{min} \leq l_{in} \leq l'_{max} \leq l_{max}$ . Jedną z nich jest przyjmowanie  $l'_{min}$  i  $l'_{max}$  zgodnie z wzorami

$$\begin{aligned} l'_{min} &= \arg \min_{l_{in} \in \{l_{min}, \dots, l_{max}\}} h(l_{in}) \geq \tau_{min} \\ l'_{max} &= \arg \max_{l_{in} \in \{l_{min}, \dots, l_{max}\}} h(l_{in}) \geq \tau_{max} \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie  $h(l_{in})$  jest liczbą pikseli obrazu o poziomie szarości  $l_{in}$ .

Metoda rozciągania histogramu sprawdza się, gdy obraz nie wykorzystuje wszystkich dostępnych poziomów szarości. W przypadku, gdy  $l_{min} = L_{min}$  i  $l_{max} = L_{max}$  metoda ta nie wprowadza żadnych zmian w poprawianym obrazie. W takim przypadku można zastosować wyrównywanie histogramu. Zastosowanie tej metody, w idealnym przypadku, powinno doprowadzić do tego, że każdy z poziomów szarości występujących w obrazie wyjściowym będzie występował taką samą liczbę razy. Przekształcenie, które realizuje tę ideę określa następujący wzór

$$l_{out} = \frac{L_{max} - L_{min}}{I_{max}} \cdot \max \left( \left\lceil \frac{I_{max}}{M \cdot N} \cdot \sum_{l_{in}=l_{min}}^{l_{max}} h(l_{in}) \right\rceil, 1 \right) + L_{min}, \quad (6)$$

gdzie  $I_{max}$  jest liczbą możliwych do rozróżnienia poziomów szarości w obrazie wyjściowym,  $h(l_{in})$  jest liczbą pikseli obrazu wejściowego o poziomie szarości równym  $l_{in}$ , a zapis  $\lceil x \rceil$  oznacza zastąpienie  $x$  przez liczbę całkowitą  $c$  taką, że  $c - 1 < x \leq c$ .

## 2.3. Lokalne metody poprawy kontrastu

Stosowanie metod globalnych poprawia kontrast obrazu jako całości, paradoksalnie jednak tak realizowana poprawa kontrastu może zmniejszyć czytelność niektórych szczegółów tego obrazu. Tak dzieje się np. w metodzie wyrównywania histogramu — efekt ten wynika tu ze zamiany pewnych zakresów poziomów szarości  $l_{in}$ , dla których  $h(l_{in}) < MN/I_{max}$  na pojedyncze wartości  $l_{out}$ , dla których  $h(l_{out}) \geq MN/I_{max}$ , przez co tracona jest część informacji zawarta w oryginalnym obrazie. Efekt ten wynika ze zbyt małej liczności tak zmienianych poziomów  $l_{in}$  w całym obrazie.

W celu zwiększenia udziału tych poziomów można zastosować podejście lokalne do poprawy kontrastu. Idea tego rozwiązania sprowadza się do: i) realizacji poprawy kontrastu lokalnie dla małych fragmentów obrazu, które przesuwane są tak by objąć cały obraz, a następnie ii) złożeniu wyników uzyskanych dla poszczególnych okien w cały obraz. Fragmenty te określane są mianem okien i zwykle są to prostokąty o wymiarach  $n \times m$ . W oknach mogą być stosowane dowolne metody poprawy kontrastu jakie wykorzystywane są przy podejściu globalnym. Oprócz wyboru metody poprawy kontrastu znaczący wpływ na wynik ma przyjęty sposób podziału obrazu na okna oraz zastosowana metoda odtwarzania obrazu wynikowego z lokalnie poprawionych fragmentów.

W najprostszym przypadku lokalnej realizacji poprawy kontrastu stosowane są okna sąsiadujące — w rozwiązaniu tym cały obraz podzielony jest na prostokątne fragmenty, które nie mają części wspólnych i proces poprawy kontrastu realizowany jest w nich niezależnie od siebie [1, 2]. 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, nie mającego uzasadnienia w treści obrazu wejściowego, zróżnicowania wyników poprawy kontrastu uzyskanych dla poszczególnych okien — efektem tego jest uwidocznienie w obrazie wynikowym struktury przyjętego podziału tego obrazu na okna (rys. 1c i 1d).

W celu usunięcia tej wady 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 ich doborze w obrazie wynikowym nie będzie widoczna struktura podziału obrazu na okna (rys. 1e i 1f). Istotną zaletą stosowania okien nakładających się jest wykorzystanie do wyznaczenia nowych wartości poziomów szarości poszczególnych punktów obrazu wiedzy o otaczającym te punkty lokalnym rozkładzie poziomów szarości. Ze względu na to, że zapisywany fragment okna jest zwykle znacznie mniejszy od wielkości obrazu poprawa kontrastu tą metodą wymaga dużego nakładu obliczeniowego.

Opisane do tej pory w tym podrozdziale metody poprawy kontrastu określane są w literaturze jako *lokalne metody poprawy kontrastu* (ang. *local contrast enhancement methods*). Termin ten używany jest również ogólne określenie wszystkich metod poprawy kontrastu, w których wykorzystywana jest lokalna informacja o rozkładzie poziomów szarości w obrazie.

## 2.4. Adaptacyjne metody poprawy kontrastu

Innym przykładem metod lokalnych są tzw. *adaptacyjne metody poprawy kontrastu* (ang. *adaptive contrast enhancement methods*) [3, 6]. Dużą grupę tych metod stanowią propozycje usunięcia dużego nakładu obliczeniowego metod z oknami nakładającymi się przy zachowaniu dużej efektywności poprawy kontrastu, które te metody posiadają. 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 poprzez interpolację, a węzłami interpolacji są centralne punkty okien otaczających dany piksel [1]. Dzięki temu, że liczba okien jest zwykle niewielka możliwe jest znaczne zmniejszenie nakładów obliczeniowych w stosunku do metody z oknami nakładającymi się przy zachowaniu dobrej efektywności poprawy kontrastu.

W przypadku metod lokalnych (w tym także adaptacyjnych), znacznie częściej niż to ma miejsce w przypadku metod globalnych, występuje zjawisko nadmiernej poprawy kontrastu. By przeciwdziałać temu zjawisku metody lokalne uzupełnia się o dodatkowe procedury ograniczające zmianę kontrastu. Przykładem takiego podejścia jest metoda adaptacyjnego wyrównania histogramy z ograniczeniem kontrastu (ang. *contrast limited adaptive histogram equalization*, CLAHE) [7]. Przykładowe wyniki poprawy kontrastu tą metodą przedstawiono na rysunkach 1g i 1h.

### 3. Ważona lokalna metoda poprawy kontrastu obrazów

Przedstawione w poprzednim rozdziale metody adaptacyjne sprawdzają się bardzo dobrze w wielu zastosowaniach. Pewnym ograniczeniem może być jednak fakt nie traktowania 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, a 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. Kolejną, wspominaną już wcześniej, wadą metod z oknami nakładającymi się jest duży nakład obliczeniowy potrzebny do ich realizacji.

Wychodząc od tych obserwacji opracowana została *ważona lokalna metoda poprawy kontrastu* (ang. *weighted local contrast enhancement method*). W metodzie tej oprócz okna  $\theta$ , w ramach którego realizowana jest lokalna poprawa kontrastu wprowadzona została macierz wag  $\omega$  o takich samych wymiarach jak okno  $\theta$ . Procedura poprawy kontrastu nową metodą przebiega następująco:

1. Przygotowanie macierzy  $\Theta$  i  $\Omega$  o wymiarach przetwarzanego obrazu oryginalnego  $O$  zawierających 0.
2. Realizacja lokalnej poprawy kontrastu obrazu  $O$  poprzez przechodzenie przez obraz  $O$ , zgodnie z przyjętym krokiem, oknem  $\theta$  i realizacja poprawy kontrastu przyjętym operatorem  $\kappa$  dla pikseli należących do  $\theta$ ; wynik tego przetwarzania tzn.

macierz  $\kappa(\theta)$  jest zapisywany po wymnożeniu  $(i, j)$  elementu tej macierzy przez  $(i, j)$  element macierzy wag  $\omega$  w  $\Theta$  w miejscu odpowiadającym położeniu okna  $\theta$  w obrazie  $O$ , zapisowi w  $\Omega$  tym samym miejscu podlega też  $\omega$ .

3. Obraz o poprawionym kontraście  $\hat{O}$  jest wynikiem dzielenia

$$\hat{O}(i, j) = \Theta(i, j) / \Omega(i, j), \quad (7)$$

gdzie  $(i, j)$  są współrzędnymi elementów tych macierzy.

W powyższym opisie pod pojęciem zapisu macierzy  $\omega_{i,j} \cdot \kappa_{i,j}(\theta)$  i  $\omega$ , odpowiednio, w macierzy  $\Theta$  i  $\Omega$  rozumiana jest operacja

$$\mathbf{X}(i : i + n, j : j + m) = \mathbf{X}(i : i + n, j : j + m) + x, \quad (8)$$

gdzie  $\mathbf{X}$  odpowiada macierzom  $\Theta$  i  $\Omega$ , a  $x$  odpowiada macierzom  $\omega_{i,j} \cdot \kappa_{i,j}(\theta)$  i  $\omega$ ,  $n$  i  $m$  wymiary macierzy  $\theta$  oraz  $\omega$ .

Wprowadzenie macierzy wag  $\omega$  do metody lokalnej pozwoliło na znaczne zwiększenie jej elastyczności. Pewnym potwierdzeniem tego stwierdzenia może być fakt, iż stosując ważoną lokalną metodę poprawy kontrastu i jedynie odpowiednio dobierając wartość elementów macierzy  $\omega$  oraz wielkość przesunięcia okna  $\theta$  można m.in. realizować poprawę obrazów przy pomocy okien sąsiadujących jak i okiem nakładających się.

### 4. Przykładowe wyniki

Zestawienie wyników stosowania różnych, przedstawionych wcześniej, metod poprawy kontrastu dla przykładowego obrazu lotniczego AERIAL przedstawiono na rysunku 1. Parametry jakie zostały wykorzystane w celu uzyskania prezentowanych wyników zebrane zostały w tabeli 1. Przyjęto okna kwadratowe i wartość ich przesunięcia  $\delta$  jako identyczną w obu kierunkach.

Wyjaśnienia wymaga kolumna piąta tabeli tj. *Rodzaj okna w metodzie ważonej* — w kolumnie tej podano jaki rodzaj okna należy zastosować w ważonej lokalnej metodzie poprawy kontrastu, aby otrzymać przy jej zastosowaniu dany typ metody lokalnej. Poszczególne typy okien są zdefiniowane następująco:

- okno jedynkowe — wszystkie elementy okna są 1,
- okno centralne — zawiera jedynki tylko w centralnej części okna o wymiarach  $(n - 2\delta_x) \times (m - 2\delta_y)$ , w pozostałe elementy okna są 0;  $\delta_x$  i  $\delta_y$  wartości przesunięcia okna, odpowiednio w poziomie i w pionie,
- okno odległościowe — element  $(i, j)$  okna  $\theta$  zawiera wartości jego odległości od zewnętrznego konturu okna, np. dla nieparzystych  $n$  i  $m$

$$\theta(i, j) = \min(|\lceil n/2 \rceil - i|, \lceil n/2 \rceil - i, |\lceil m/2 \rceil - j|, \lceil m/2 \rceil - j). \quad (9)$$

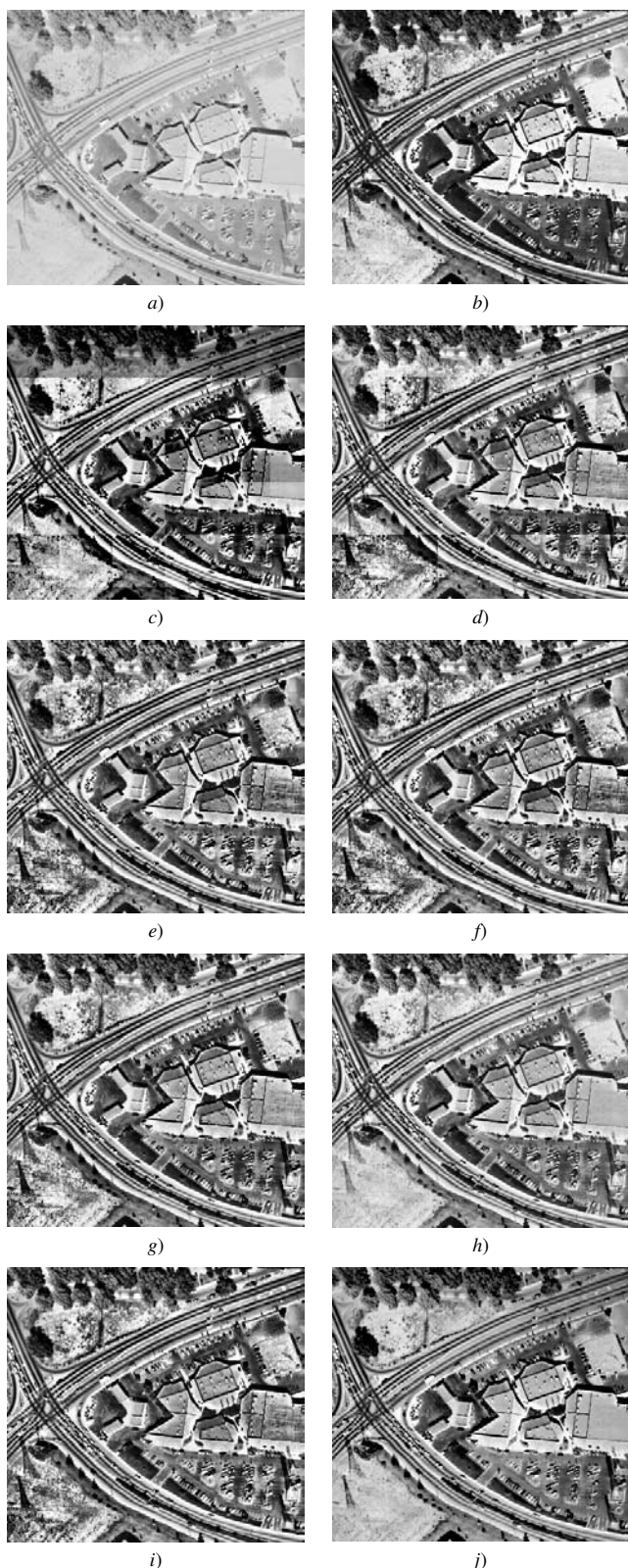
Na rysunku 2 przedstawiono wykres wartości współczynnika

$$\Delta = k_{out} / k_{in} \quad (10)$$

Tab. 1. Zestawienie parametrów użytych do uzyskania obrazów z rys. 1 oraz wartości współczynnika kontrastu obrazu  $k$  (3).

Tab. 1. Listing of the parameters used for obtaining images presented in the fig. 1 and values of image contrast coefficient  $k$  (3).

| Obraz z rys. 2 | Rodzaj metody    | Rodzaj zastosowanego okna | Metoda poprawy kontrastu | Rodzaj okna w metodzie ważonej | Rozmiar okna $n \times m$ | Przesunięcie $\delta$ | Współczynnik ograniczający kontrast lub próg | Uzyskany współczynnik kontrastu $k$ |
|----------------|------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| a              | obraz oryginalny |                           |                          |                                |                           |                       |                                              | 0,0957                              |
| b              | globalna         |                           | wyrównywanie histogramu  |                                |                           |                       |                                              | 0,3439                              |
| c              | lokalna          | sąsiadujące               | rozciąganie histogramu   | jedynkowe                      | 64×64                     |                       | 0,0075                                       | 0,4476                              |
| d              | lokalna          | sąsiadujące               | wyrównywanie histogramu  | jedynkowe                      | 64×64                     |                       |                                              | 0,3439                              |
| e              | lokalna          | nakładające się           | wyrównywanie histogramu  | centralne                      | 64×64                     | 32                    |                                              | 0,3282                              |
| f              | lokalna          | nakładające się           | wyrównywanie histogramu  | centralne                      | 64×64                     | 2                     |                                              | 0,3276                              |
| g              | CLAHE            |                           |                          |                                | 64×64                     |                       | 1                                            | 0,3276                              |
| h              | CLAHE            |                           |                          |                                | 64×64                     |                       | 0,1                                          | 0,3276                              |
| i              | ważona lokalna   |                           | wyrównywanie histogramu  | odległościowe                  | 64×64                     | 16                    |                                              | 0,3259                              |
| j              | ważona lokalna   |                           | rozciąganie histogramu   | odległościowe                  | 64×64                     | 16                    | 0,01                                         | 0,2949                              |



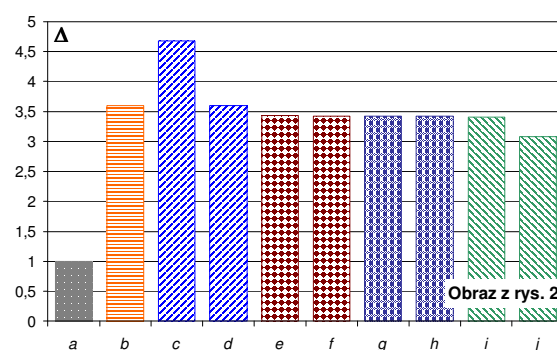
Rys. 1. Przykłady poprawy kontrastu obrazu AERIAL (a) (przedstawiono fragment obrazu) różnymi metodami — zestawienie użytych parametrów oraz wartość współczynnika (3) zawiera tabela 1.

Fig. 1. The examples usage of different contrast enhancement methods for enhancement of AERIAL images (a) (extract of image is presented) — listing of all used parameters and values of coefficient (3) involves table 1.

będącego miarą poprawy kontrastu obrazu;  $k_{out}$  i  $k_{in}$  wartości funkcji oceny (3) dla obrazu, odpowiednio, po i przed poprawą.

## 5. Podsumowanie

Przedstawione wyniki (rys. 1 i, j) pokazują, że możliwe jest uzyskanie metodą ważoną rezultatów podobnych do wyników



Rys. 2. Wykres wartości współczynnika poprawy kontrastu  $\Delta$  (10) dla wszystkich obrazów z rysunku 1, różne wzory wypełnienia odpowiadają zastosowaniu różnych metod poprawy kontrastu (kolumna 2 tabeli 1).

Fig. 2. Chart of values of contrast enhancement coefficient  $\Delta$  (10) for all image presented on figure 1; different filling patterns represents different contrast enhancement method (2<sup>nd</sup> column of table 1).

otrzymanych z metody CLAHE (rys. 1 g, h), jednak wymaga to mniejszego nakładu obliczeniowego (wyrównanie histogramu może być zastąpione jego rozciąganiem, a gładkość obrazu uzyskiwana jest poprzez dzielenie (7), a nie interpolację).

Uzyskane w metodzie ważonej zmniejszenie nakładu obliczeniowego, a także jej uniwersalność, mają duże znaczenie praktyczne. Cechy te powodują, że implementując jedną prostą od strony algorytmicznej metodę ważoną i odpowiednio dobierając jej parametry możliwe jest uzyskanie rezultatów otrzymywanych do tej pory różnymi metodami poprawy kontrastu. Możliwość taka ma istotne znaczenie wszędzie tam, gdzie ograniczone są zasoby sprzętowe i czasowe. Sytuacja taka zachodzi m.in. w przypadku tzw. kamer inteligentnych (kamera z zintegrowaną w względnie prostym komputerem), a także w sprzęcie użytkowym np. aparatach fotograficznych czy kamerach internetowych.

Interesującym problemem badawczym wydaje się być wprowadzenie do prezentowanej w pracy metody ważonej adaptacyjnego doboru wag oraz wielkości okna. Takie rozwiązanie powinno pozwolić m.in. na bardziej efektywne wydobywanie z obrazu informacji o obiektach, których parametry (np. wielkość, kształt) są znane. Można oczekiwać, że tak realizowana poprawa kontrastu przyniesie poprawę jakości wyników procesu analizy obrazów.

Należy zwrócić uwagę na możliwość zastosowania prezentowanych w pracy rozwiązań, w tym oczywiście także metody ważonej do poprawy kontrastu obrazów barwnych. W przypadku obrazów barwnych pojęcie kontrastu dotyczy nie tylko składowej opisującej jasności pikseli, ale ulega rozszerzeniu na pozostałe składowe opisujące barwę pikseli. Ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie obrazów barwnych w wielu istotnych zastosowaniach (np. diagnostyce medycznej, monitoringu środowiska) badania nad poprawą szeroko rozumianego kontrastu tego typu obrazów mają duże znaczenie praktyczne.

## Literatura

- [1] Gonzalez R. G., Woods R. E.: Digital image processing, Addison-Wesley Publishing Co. 1992.
- [2] Ketchum D. J.: Real-time image enhancement techniques, Proc. SPIE/OSA, 1976, 74: 120–125.
- [3] Pizer S. M., Amburn E. P., Austin J. D. i inni: Adaptive histogram equalization and its variations, Computer Vision Graphics and Image Processing, 1987, 39(3), 355–368.
- [4] Pratt W.: Digital image processing, John Wiley & Sons, 2001.
- [5] Rosenfeld A., Kak A. C.: Digital picture processing, Computer Science and Applied Mathematics, Academic Press, 1982.
- [6] Stark J. A., Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization, IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(5), 889–896.
- [7] Zuiderveld K.: Contrast limited adaptive histogram equalization, w Graphics gems IV, Academic Press Professional, Inc., San Diego, CA, USA, 1994, 474–485.

**Title:** Weighted local contrast enhancement method for digital images.

Artykuł recenzowany