

Roman Vorobel*, Krzysztof Przybyszewski**

Wzmacnianie kontrastu obrazu jako jeden ze sposobów poprawy jego jakości

1. Wprowadzenie

Obrazy wizyjne są dla człowieka podstawą percepcji świata otaczającego. Otrzymywane w różnych warunkach i z różnych źródeł są nosicielem informacji o interesujących nas obiektach. Często konieczne jest przetworzenie obrazu, co oznacza dokonanie różnych operacji, których celem jest wyodrębnienie pożądanego jego cech. Klasycznym przykładem jest zagadnienie poprawy jakości obrazu. Próbowano najpierw rozwiązać ten problem w obrębie optyki poprzez doskonalenie systemów optycznych. Zastosowanie komputerów osobistych spowodowało odsunięcie metod fizycznych na dalszy plan na rzecz wdrożenia metod cyfrowej obróbki obrazów. Cyfrowa obróbka obrazów umożliwia między innymi analizę obrazów scen dynamicznych w czasie rzeczywistym. Jednak i w tym przypadku istnieje potrzeba wprowadzenia opracowania algorytmów szybkiego przetwarzania obrazów, ponieważ znane algorytmy o niskiej złożoności obliczeniowej nie umożliwiają realizacji tego zadania.

Ważną cechą obrazów cyfrowych jest ich jakość. Bez względu na wpływ szumu, zniekształceń geometrycznych i ostrości, zasadniczym parametrem obrazu jest jego dokładność odwzorowania, pozwalająca obserwatorowi rozróżniać poziomy jasności sąsiednich elementów oraz wspierająca wizualizację podstawowych cech i szczegółów. W takim przypadku stosowane jest zwiększenie kontrastu lokalnego w celu poprawienia wartości parametrów charakteryzujących dokładność odwzorowania obrazu [2]. Najczęściej stosowane są dwa sposoby poprawy jakości obrazu. Pierwszym z nich jest zastosowanie miejscowych (lokalnych) transformacji obrazu. Drugim – prostszym, ale równie skutecznym – zastosowanie przekształceń poziomów jasności całego obrazu (przekształceń globalnych). Metody globalne nazywane są także metodami z zastosowaniem przeglądowych tablic danych „look-up-table” [4, 5].

* Społeczna Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania w Łodzi; Fizyko-Mechaniczny Instytut Ukraińskiej Akademii Nauk, Lwów, Ukraina

** Społeczna Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania w Łodzi

W niniejszej pracy skupimy się na rozwiązaniu zagadnienia poprawy jakości obrazu poprzez wykorzystanie metod transformacji globalnych poziomów jasności. Takie podejście daje nadzieję na kompromis pomiędzy poprawą wizualnej jakości obrazu poprzez zwiększenie kontrastu i zastosowaniem prostych algorytmów niewymagających lokalnej analizy obrazu. W artykule omówimy znane już podejścia do realizacji globalnych transformacji obrazu w celu osiągnięcia poprawy jego jakości oraz opiszemy nowe rozwiązanie sformułowanego zagadnienia i przedstawimy analizę porównawczą omówionych metod.

2. Tradycyjne podejście do realizacji globalnych transformacji obrazu na potrzeby poprawy jego jakości

Obrazy, które rejestrujemy w postaci cyfrowej, często są niskokontrastowe, co powoduje złą ich jakość. To znaczy że dla dużej części elementów obrazu ich poziomy jasności są niskie w porównaniu ze średnim poziomem jasności całego obrazu. Jednocześnie poziomy jasności nie zmieniają się od bardzo niskiego do bardzo wysokiego, a są skupione wokół jednej wartości. Powoduje to, iż duża część możliwego przedziału poziomów jasności nie jest wykorzystywana. Dlatego też najłatwiejsze rozwiązanie zagadnienia zwiększenia kontrastu polega na rozciąganiu (przekształceniu) przedziału poziomów jasności obrazu do maksymalnej możliwej szerokości. Można to osiągnąć przez stosowanie transformacji jednopunktowych, znanych jako kontrastowanie liniowe:

$$L^*(i, j) = aL(i, j) + b \quad (1)$$

gdzie:

- a, b – współczynniki,
- $L(i, j)$ – poziom jasności elementu z współrzędnymi (i, j) obrazu,
- $L^*(i, j)$ – nowa wartość poziomu jasności elementu obrazu po przekształceniu.

W tej sytuacji przedział poziomów jasności $[L_{\min}, L_{\max}]$ obrazu L transformowany jest w przedział $[L_{\min}^*, L_{\max}^*]$. To znaczy, iż sprawdza się system równań:

$$\begin{cases} L_{\min}^* = aL_{\min} + b, \\ L_{\max}^* = aL_{\max} + b, \end{cases}$$

skąd otrzymujemy:

$$a = \frac{L_{\max}^* - L_{\min}^*}{L_{\max} - L_{\min}}, \quad b = \frac{L_{\min}^* L_{\max} - L_{\min} L_{\max}^*}{L_{\max} - L_{\min}} \quad (2)$$

Zazwyczaj stosujemy maksymalne rozciąganie przedziału poziomów jasności, kiedy $L_{\min}^* = 0$, a $L_{\max}^* = LMAX = 2^n - 1 = 255$, gdzie $n = 8$, czyli dla 8-bitowej reprezentacji (głębokości) poziomu jasności elementu obrazu. Parametry a i b pozwalają zapisać równanie (1) w postaci podanej w równaniu (3):

$$L^*(i, j) = 255 \cdot \frac{L(i, j) - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \quad (3)$$

Oprócz rozciągania liniowego często jest wykorzystywane rozciąganie nieliniowe poziomów jasności, znane również jako korekcja gamma. Postać matematyczna tej transformacji jest bezpośrednio powiązana ze wzorem (3) i wykorzystuje potęgową zmianę poziomu jasności:

$$L_{\gamma}^*(i, j) = 255 \cdot \left(\frac{L(i, j) - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \right)^{\gamma} \quad (4)$$

gdzie wykładnik: $0,3 < \gamma < 3$.

Oprócz tych dwóch zasadniczych transformacji znane są również odcinkowo liniowe oraz odcinkowo nieliniowe [12] lub S -podobne transformacje [11]. W rzeczywistości transformacje (4) stosowane są w trybie interakcyjnym – poprzez wybór takiej wartości parametru γ , aby otrzymać najlepszą jakość obrazu według percepcji użytkownika analizującego obraz. W takim przypadku L^* jest parametrem charakteryzującym jakość obrazu określonym na podstawie wyników obserwacji.

Oprócz opisanych metod transformacji globalnych, istnieje cała klasa metod tworzenia tablic przeglądowych poprzez definicje pożądanego rozkładu poziomów jasności w transformowanym obrazie. Są to metody z klasy przekształceń histogramu. Najczęściej używaną metodą jest wyrównanie histogramu, opisywane wzorem:

$$L^*(L) = L_{\min}^* + (L_{\max}^* - L_{\min}^*) \cdot \sum_{h=L_{\min}}^L H_L(h) \quad (5)$$

gdzie $H_L(h)$ jest funkcją poziomów jasności obrazu L (funkcją histogramu), zdefiniowaną wzorem:

$$H_L(h) = \frac{1}{N \cdot M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sigma(h, L(i, j)),$$

gdzie:

$$\sigma(h, L(i, j)) = \begin{cases} 1, & \text{kiedy } L(i, j) = h, \\ 0, & \text{kiedy } L(i, j) \neq h, \end{cases}$$

oraz: $h = L_{\min}, L_{\min} + 1, \dots, L_{\max}$.

Często wykorzystywane są metody transformacji histogramu polegające na hiperbolizacji histogramu [3].

Wynikiem działania metod przetwarzania histogramu jest konstruowanie wzoru, według którego, dla każdego poziomu jasności L obrazu obliczana jest jego nowa wartość L^* . Wartości te budują nową tablicę przeglądową, a cała procedura jest nazywana przetwarzaniem funkcjonalnym:

$$L^* = F(L).$$

Mankamentem metod tej klasy jest złożoność obliczeniowa, która powoduje komplikacje przy wykorzystaniu takiego podejścia do przetwarzania obrazów w czasie rzeczywistym. Dlatego też, w celu uproszczenia złożoności obliczeniowej przy jednoczesnej poprawie jakości obrazu, proponujemy metodę dwuparametrycznego sterowania transformacją globalną poziomów jasności obrazu.

3. Dwuparametryczne przekształcenia poziomów jasności obrazu

Proponowana metoda poprawy jakości obrazu wykorzystuje przekształcenia, oparte na obliczaniu funkcji kontrastu C elementów obrazu o poziomie jasności L . W celu umożliwienia sterowania przetwarzaniem poziomów jasności, będziemy funkcję kontrastu C obliczać w odniesieniu do wielkości, nazwanej przez nas poziomem adaptacji $\bar{L} \in [L_{\min}, L_{\max}]$. Wartość $\bar{L}$ jest parametrem, którym można będzie sterować. W przetwarzaniu obrazów najczęściej stosuje się trzy rodzaje kontrastu: absolutny, stosowany i ważony. Dlatego też w dalszej części pracy omówimy sposoby wyznaczania tych rodzajów kontrastu dla każdej proponowanej metody poprawy jakości obrazu.

Przypadek 1. Zastosowanie: wyznaczanie kontrastu absolutnego.

Kontrast absolutny elementu (i, j) obrazu L jest wyznaczany według wzoru [6, 9]:

$$C(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{L_{MAX}} \quad (6)$$

gdzie $\bar{L}(i, j)$ jest poziomem adaptacji systemu wzrokowego człowieka do jasności elementów obrazu przynależących do ślizgającego okna $W(i, j)$ z centrum w elemencie (i, j) , obliczany ze wzoru:

$$\bar{L}(i, j) = \underset{L(i, j) \in W(i, j)}{\text{mean}} \{L(i, j)\}.$$

Jednak, w celu realizacji szybkich obliczeń, zamiast obliczanego $\bar{L}(i, j)$ będziemy stosować wybrany wstępnie poziom adaptacji $\bar{L}$. W takim przypadku wzór (6) możemy przedstawić w następującej postaci:

$$C(i, j) = \frac{|L(i, j) - \bar{L}|}{LMAX} \quad (7)$$

a po przekształceniach:

$$L(i, j) = \bar{L} + \text{sign}(C(i, j)) \cdot LMAX \cdot C(i, j) \quad (8)$$

gdzie:

$$\text{sign}(C(i, j)) = \begin{cases} 1, & \text{kiedy } L(i, j) > \bar{L}, \\ -1, & \text{kiedy } L(i, j) < \bar{L}, \\ 0, & \text{kiedy } L(i, j) = \bar{L}. \end{cases}$$

Do dalszych przekształceń zastosujemy metodę wzmacniania kontrastu (7) poprzez nieliniową transformację, w postaci danej wzorem (9):

$$C^*(i, j) = F(C(i, j)) = (C(i, j))^\gamma \quad (9)$$

gdzie: $0 < \gamma < 1$ jest współczynnikiem (wykładnikiem) wzmacniania kontrastu (drugi parametr sterowania w metodzie przetwarzania obrazu). Przekształcenie (9) prowadzi do zmiany poziomu jasności elementu (i, j) z $L(i, j)$ na $L^*(i, j)$ i transformacji wzoru (8) do następującej postaci:

$$L^*(i, j) = \bar{L} + \text{sign}(C(i, j)) \cdot LMAX \cdot (C(i, j))^\gamma \quad (10)$$

We wzorze (10) widoczne są dwa parametry sterowania: poziom adaptacji $\bar{L}$ oraz wykładnik γ . Wybierając określone wartości $\bar{L}$ i γ , możemy zmieniać poziom kontrastu obrazu L po jego przekształceniu w L^* i w ten sposób realizować dwuparametryczne sterowanie poziomem kontrastu obrazu przy przekształceniach globalnych poziomów jasności obrazu.

Przypadek 2. Zastosowanie: wyznaczanie kontrastu stosowanego.

Kontrast stosowany elementu (i, j) obrazu L jest zdefiniowany wzorem [7, 8]:

$$C(i, j) = \frac{L(i, j) - \bar{L}(i, j)}{\max\{L(i, j), \bar{L}(i, j)\}} \quad (11)$$

Analogicznie do rozumowania zaprezentowanego w przypadku 1, w celu realizacji szybkich obliczeń zamiast obliczanego $\bar{L}(i, j)$ będziemy stosować wybrany wstępnie poziom adaptacji $\bar{L}$. W takim przypadku wzór (11) przedstawić w następującej postaci:

$$C(i, j) = \frac{|L(i, j) - \bar{L}|}{\max\{L(i, j), \bar{L}\}} \quad (12)$$

a po przekształceniach:

$$L(i, j) = \begin{cases} \frac{\bar{L}}{1 - C(i, j)}, & \text{kiedy } L(i, j) \geq \bar{L}, \\ L \cdot [1 - C(i, j)], & \text{kiedy } L(i, j) < \bar{L}. \end{cases} \quad (13)$$

Stosując metodę wzmacnianie kontrastu (12) wykorzystującą nieliniową transformację (9) możemy przekształcić wzór (13) do następującej postaci:

$$L^*(i, j) = \begin{cases} \frac{\bar{L}}{1 - (C(i, j))^\gamma}, & \text{kiedy } L(i, j) \geq \bar{L}, \\ L \cdot [1 - (C(i, j))^\gamma], & \text{kiedy } L(i, j) < \bar{L}. \end{cases} \quad (14)$$

W otrzymanym wzorze (14) występują również te same dwa parametry sterowania: $\bar{L}$ i γ . Zmieniając wartości parametrów $\bar{L}$ i γ , zmieniamy poziom kontrastu obrazu wynikowego i tym samym realizujemy dwuparametryczne sterowanie jakością obrazu poprzez zwiększenie jego kontrastu.

Przypadek 3. Zastosowanie: wyznaczanie kontrastu ważonego.

Kontrast ważony elementu (i, j) obrazu L jest definiowany wzorem [1, 13]:

$$C(i, j) = \frac{|L(i, j) - \bar{L}(i, j)|}{L(i, j) + \bar{L}(i, j)} \quad (15)$$

Stosując te same podejście co poprzednio, w celu umożliwienia szybkich obliczeń, zamiast obliczania $\bar{L}(i, j)$, będziemy wykorzystywać wybrany wstępnie poziom adaptacji $\bar{L}$. W takim przypadku wzór (15) możemy przedstawić w następującej postaci:

$$C(i, j) = \frac{|L(i, j) - \bar{L}|}{L(i, j) + \bar{L}} \quad (16)$$

i po przekształceniach:

$$L(i, j) = \begin{cases} \bar{L} \cdot \frac{1 + C(i, j)}{1 - C(i, j)}, & \text{kiedy } L(i, j) \geq \bar{L}, \\ \bar{L} \cdot \frac{1 - C(i, j)}{1 + C(i, j)}, & \text{kiedy } L(i, j) < \bar{L}. \end{cases} \quad (17)$$

Stosując metodę wzmacniania kontrastu (16) wykorzystującą nieliniową transformację (9), możemy przedstawić wzór (17) w następującej postaci:

$$L^*(i, j) = \begin{cases} L \cdot \frac{1 + (C(i, j))^\gamma}{1 - (C(i, j))^\gamma}, & \text{kiedy } L(i, j) \geq \bar{L} \\ L \cdot \frac{1 - (C(i, j))^\gamma}{1 + (C(i, j))^\gamma}, & \text{kiedy } L(i, j) < \bar{L} \end{cases} \quad (18)$$

W otrzymanym wzorze występują również parametry $\bar{L}$ i γ pozwalające zrealizować dwuparametryczne sterowanie jakością obrazu przez zwiększenie jego kontrastu.

4. Badania efektywności dwuparametrycznego przetwarzania obrazu

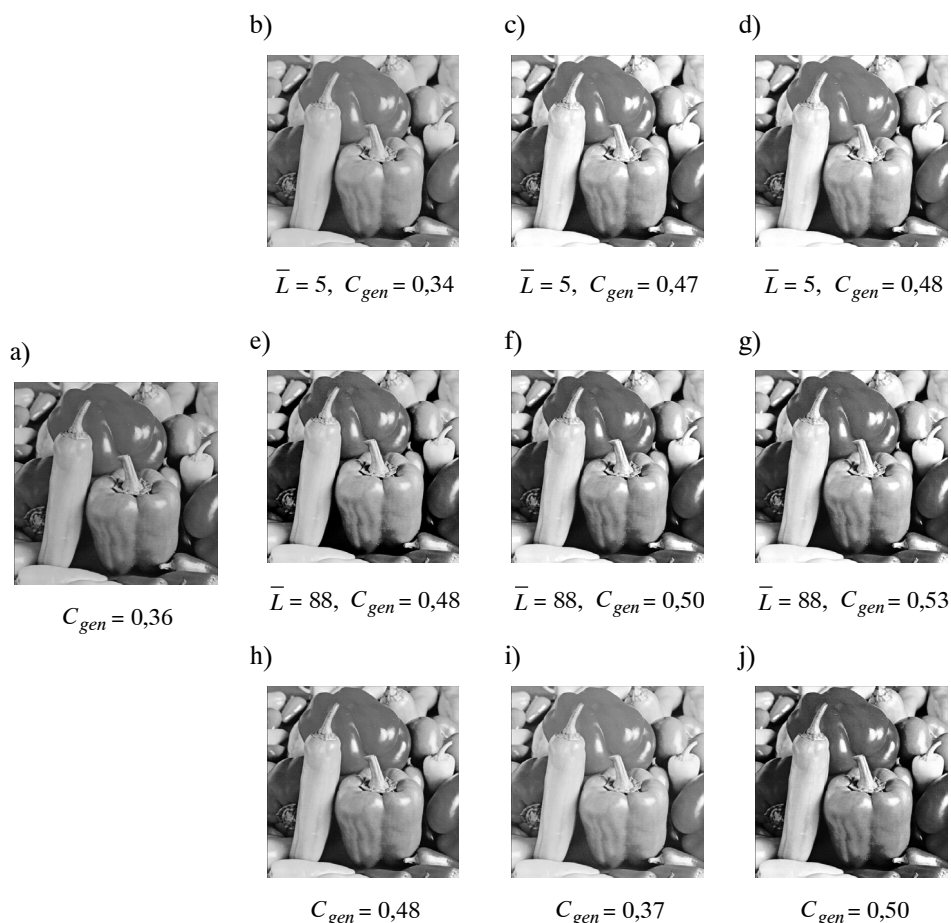
W celu zbadania efektywności zaproponowanych metod (wzory: (10), (14) i (18)) dwuparametrycznego przetwarzania obrazu, porównamy otrzymane jako efekt ich działania wyniki z wynikami otrzymanymi z zastosowaniem tradycyjnych rozwiązań dla globalnych transformacji poziomów jasności obrazu, jakimi są metody oparte na: liniowym przekształceniu poziomów jasności (3), korekcji gamma (4), dla wartości $\gamma = 0,75$ i wyrównaniu histogramu (5) z wartościami: $L_{\min}^* = 0$, $L_{\max}^* = 255$.

W celu prezentacji efektywności opisanych metod transformacji globalnych przedstawiamy: na rysunku 1a obraz testowy *Pepper* o rozmiarze $512 \times 512 \times 8$ i obrazy wynikowe jego przekształcenia: dla $\bar{L} = 5$ oraz $\bar{L} = 88$ i γ dla kontrastu absolutnego (10): rysunki: 1b, e; dla kontrastu stosowanego (14): c, f; oraz kontrastu ważonego (18): 1c, f. Dla porównania przedstawiono wyniki działania znanych tradycyjnych metod: rysunek 1h – liniowe rozciąganie histogramu (3); rysunek 1i – korekcją gamma oraz rysunek 1j – wyrównaniem histogramu. Dla każdego z obrazów obliczany jest jego uogólniony kontrast absolutny C_{gen} [10].

Jak łatwo zaobserwować na obrazach, zaproponowane dwuparametryczne metody pozwalają na efektywne sterowanie jakością transformowanych obrazów, co ilościowo potwierdzają również liczbowe wartości uogólnionego kontrastu C_{gen} .

W wyniku możliwych transformacji obrazu zaproponowanymi metodami, możliwe jest otrzymanie obrazu z mniejszym lub większym od poziomu kontrastu obrazu testowego, kontrastem uogólnionym.

Biorąc pod uwagę to, że zaproponowane metody (na podstawie otrzymanych wyników dla kontrastu absolutnego, stosowanego i ważonego) nie wykorzystują obliczeń w lokalnych oknach oraz algorytmiczne są bardzo proste, można stwierdzić, że mogą być wykorzystywane w różnych celach przy obróbce wstępnej obrazów oraz w realizacji zarówno programowej, jak i sprzętowej, zwłaszcza w systemach przetwarzania obrazów w czasie rzeczywistym.



Rys. 1. Wyniki przetwarzania obrazu *Peper*: a) przy $\gamma = 0,75$ oraz $\bar{L} = 5$ i $\bar{L} = 88$ odpowiednio: b), e) wzór (10); c), f) wzór (14); d), g) wzór (18); h) wzór (3); i) wzór (4); j) wzór (5)

5. Wnioski

W pracy przedstawiono nowe dwuparametryczne metody przetwarzania obrazów bazujące na wyznaczeniu różnych rodzajów kontrastu między poziomem jasności elementów obrazu i poziomem adaptacji jaskrawości obrazu. W przypadku kontrastu: globalnego, stosowanego oraz ważonego, obliczanych zgodnie z algorytmami tych metod, pozwalają one na realizację szybkich metod poprawy jakości obrazu, opartych na zwiększeniu ich kontrastu. Zastosowanie dwóch parametrów do sterowania procesem przetwarzania obrazu pozwala także optymalizować przebieg procesu, zarówno w trybie interaktywnym (dopasowanie wartości wykładnika funkcji adaptacyjnej na podstawie obserwacji użytkownika), jak i w trybie nieinteraktywnym w systemach czasu rzeczywistego.

Literatura

- [1] Dash L., Chatterji B.N., *Adaptive contrast enhancement and de-enhancement*. Pattern Recognition, No. 4, vol. 24, 1991, 289–302.
- [2] Gonzalez R.C., Woods R.E., *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 2002.
- [3] Hummel R.A., *Histogram modification techniques*. Computer Graphics & Image Processing, No. 4, vol. 3, 1975, 209–224.
- [4] Pratt W.K., *Digital Image Processing*. John Wiley and Sons, 2001.
- [5] Saitoh F., *Image contrast improvement based on differential Gray-levels Histogram*. The Journal of the Institute of Image Electronic Engineers of Japan, No. 2, vol. 126-C, 2006, 228–236.
- [6] Vorobel R., *Conception and definition of image elements contrast*. The Third All-Ukrainian International Conference Signal/Image Processing and Pattern Recognition, 26–30 November 1996, Kyjiv, Ukraine, 197–200.
- [7] Vorobel R.A., *Kernels for the evaluations of the image element contrast*. Information Extracting and Processing, No. 11(87), 1997, 96–100.
- [8] Vorobel R., *Kontrast lokalny jako podstawa konstrukcji składowych wysokoczęstotliwościowych obrazu*. Automatyka (półrocznik AGH), t. 7, z. 3, 2003, 525–535.
- [9] Vorobel R.A., *Linear description for evaluation of image elements contrast*. Reports of the Ukrainian Academy of Sciences, No. 1, 1998, 128–132.
- [10] Vorobel R.A., *Perception of the subject images and quantitative evaluation of their contrast based on the linear description of elements of contrast*. Reports of the Ukrainian Academy of Sciences, No. 9, 1998, 103–108.
- [11] Vorobel R.A., *Some approaches to an estimation of quality of the monochrome images and their improvement by means of non-linear stretching*. Information Technologies and Systems, No. 1, vol. 3, 2000, 101–114.
- [12] Vorobel R.A., *Using linear and gamma-correction for visual quality enhancement of gray-level images*. Electronics and Communications, vol. 5, 1998, 25–28.
- [13] Vorobel R.A., Beregulyak O.R., *Edge artifacts removal at image contrast enhancement*. Information Extracting and Processing, No. 22(98), 2005, 81–87.
- [14] Vorobel R., Stobińska M., *Histogram transformation using contrast as a function of visual perception*. [w:] Artificial Intelligence and Soft Computing, A. Cader, L. Rutkowski, R. Tadeusiewicz, J. Zurada (Eds), Warsaw, Academic Publishing House EXIT 2006, 367–374.