

Mariusz FRĄCKIEWICZ, Henryk PALUS
INSTYTUT AUTOMATYKI POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Barwność obrazu – globalna miara percepcyjna

mgr inż. Mariusz FRĄCKIEWICZ

Doktorant w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Jego zainteresowania naukowe dotyczą cyfrowego przetwarzania obrazów barwnych.



e-mail: mariusz.frackiewicz@polsl.pl

dr inż. Henryk PALUS

Adiunkt w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Jego zainteresowania naukowe obejmują: metrologię barwy, cyfrowe przetwarzanie obrazów barwnych, grafikę i widzenie komputerowe oraz multimedia. Członek-założyciel Towarzystwa Przetwarzania Obrazów. Członek Rady Redakcyjnej czasopisma „Machine Graphics and Vision”. Były stypendysta DAAD i British Council.



e-mail: henryk.palus@polsl.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono i porównano doświadczalnie 3 definicje barwności obrazu. Pokazano, że barwność negatywu jest równa barwności pozytywu. Spośród percepcyjnych atrybutów barwy piksela największy wpływ na barwność ma nasycenie barwy. Poprawa kontrastu obrazu najczęściej skutkuje wzrostem jego barwności.

Słowa kluczowe: barwność obrazu, odcień, nasycenie

Image colourfulness – global perceptual measure

Abstract

In the paper three definitions of image colourfulness are presented and experimentally compared. The colourfulness of negative is equal to the colourfulness of positive as shown in the paper. The saturation of colour have largest impact on image colourfulness of all perceptual attributes of colour. Image contrast enhancement most often results in growing of image colourfulness.

Keywords: image colourfulness, hue, saturation

1. Wprowadzenie

Obraz barwny zapewnia więcej informacji o obiektach obecnych w scenie i między innymi dlatego jego pozyskiwanie i przetwarzanie jest obecnie tematem wielu badań. Rozwój tej dziedziny wymagał kamer kolorowych, specjalnych interfejsów, wydajnych komputerów i wysokiej jakości monitorów kolorowych. Stąd też szybszy był rozwój przetwarzania obrazów binarnych i monochromatycznych. Obecnie sytuacja uległa zmianie i “bariera sprzętowa” została przełamana. Łatwy dostęp do urządzeń pozyskiwania obrazów barwnych takich jak skanery, cyfrowe aparaty fotograficzne i cyfrowe kamery spowodował, że to obrazy barwne stały się głównym obiektem cyfrowego przetwarzania, a obrazy binarne i monochromatyczne pozostały istotne tylko dla niektórych zastosowań.

W paragrafie 2 zaprezentowano i porównano ze sobą 3 znane z literatury definicje barwności obrazu. Właściwości barwności obliczanej według wybranej definicji Haslera-Suesstrunk omówiono w paragrafie 3. Paragraf 4 zawiera krótkie omówienie dotychczasowych zastosowań pojęcia barwności obrazu w cyfrowym przetwarzaniu obrazów a także wyniki dotyczące wpływu poprawiania obrazu na jego barwność. W ostatnim paragrafie dokonano podsumowania badań globalnej miary percepcyjnej jaką jest barwność obrazu.

2. Definicje barwności obrazu

W dziedzinie nauki o barwie R.W.G Hunt zaproponował w 1977 roku [1] do opisu wrażenia barwnego nowy atrybut i nazwał go barwnością (ang. *colourfulness*). Barwność, nazywana niekiedy chromatycznością (ang. *chromaticness*), jest atrybutem wrażenia wzrokowego zgodnie z którym postrzegana barwa pewnej niewielkiej powierzchni wydaje się bardziej lub mniej chromatyczna, tj. posiadająca odcień. Barwność, obok odcienia, jaskrawości, jasności, chromy i nasycenia, stanowi atrybut barwy stosowany w modelach wrażenia barwnego. Taka definicja barwności powstała dla pojedynczego bodźca, pojedynczej próbki barwnej (ang. *colour patch*) i jest podobna do definicji chromy i nasycenia, chociaż te ostatnie wielkości są wielkościami względnymi. Barwność bodźca jest więc miarą „intensywności” jego odcienia i dlatego w przypadku bodźca achromatycznego jest równa zero.

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie barwnością obrazów (ang. *image colourfulness*) traktowanych jak bodźce wielobarwne. Miara barwności obrazu powinna więc wyrażać obecność wysokonasycionych barw o różnych odcieniach. Wyznaczenie barwności obrazu wymaga niekiedy transformacji z bazowej przestrzeni RGB do przestrzeni reprezentującej percepcyjne atrybuty barwy bezpośrednio (np. HSI, HSV, HLS itp.) lub pośrednio (np. CIELUV, CIELAB itp.). Poniżej zostały przedstawione w kolejności chronologicznej 3 propozycje definicji barwności obrazu pochodzące z literatury.

W pracy Tamury i Tanaki [2] opisano badania doświadczalne na zwierzętach, którym pokazywano obrazy barwne stanowiące bodźce pobudzające je do określonych działań. Barwność obrazów oceniano stosując poniższą miarę:

$$M = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sqrt{(R_{ij} - I)^2 + (G_{ij} - I)^2 + (B_{ij} - I)^2} \quad (1)$$

gdzie: m, n – wymiary obrazu, R_{ij}, G_{ij}, B_{ij} – składowe barwy piksela o współrzędnych ij , I – intensywność barwy piksela (średnia arytmetyczna składowych RGB).

Brown, w zatwierdzonym w USA patencie [3], opisał inną definicję barwności obrazu. Najpierw składowe RGB podlegają transformacji na płaszczyznę wyznaczoną przez składowe nazwane przez Browna: *Green-Magenta* i *Illumination*:

$$G-Mg = (2G - R - B) / 4 \quad (2)$$

$$Illumination = (B - R) / 2 \quad (3)$$

Płaszczyzna ta zostaje podzielona na 12 jednakowych sektorów kątowych, w których znajdują się punkty odpowiadające barwie poszczególnych pikseli obrazu. Dla każdego punktu można

wyznaczyć jego odległość od początku układu współrzędnych, wyrażającą nasycenie barwy. W ocenie barwności uwzględniane są jedynie punkty, których nasycenie przekracza pewien próg T_s , równy np. 33% na skali 0 – 100%. Ocena barwności wg Browna jest wyrażona przez liczbę aktywnych sektorów tzn. sektorów zawierających wysokonasycone punkty w ilości większej od progowej wartości T_c . Poniżej przedstawiono wzór dla barwności:

$$M = \min\left\{\left(\frac{\text{Liczba_aktywnych_sektorów}}{10}\right), (1,0)\right\} \quad (4)$$

Konieczność przyjęcia 2 progów stanowi niewątpliwą wadę tej definicji.

Hasler i Suesstrunk zaproponowali miarę barwności obrazu opartą na statystycznych parametrach rozkładu składowych opozycyjnych barwy $R-G$ i $Ye-B$ [4]. Barwność obrazu można obliczyć według następującego wzoru:

$$M = \sqrt{\sigma_{rg}^2 + \sigma_{yb}^2} + 0,3\sqrt{\mu_{rg}^2 + \mu_{yb}^2} \quad (5)$$

gdzie: σ i μ to odpowiednio odchylenie standardowe i wartość średnia składowych opozycyjnych barwy pikseli obrazu. Składowe opozycyjne barwy wyrażają poniższe wzory:

$$R-G = R - G \quad (6)$$

$$Y-B = 0,5(R+G) - B \quad (7)$$

Przeprowadzili oni badania psychofizyczne, w których badani klasyfikowali obrazy (20 osób, 84 obrazów) do 7 kategorii ze względu na ich barwność (niebarwny, słabo barwny, umiarkowanie barwny, średnio barwny, barwny, dosyć barwny, wysoce barwny, ekstremalnie barwny). Hasler i Suesstrunk sprawdzili różne wyrażenia dla barwności oraz zaproponowali miarę stosunkowo prostą do obliczania i dobrze skorelowaną (95%) z danymi eksperymentalnymi.

Omówione powyżej 3 definicje barwności obrazu zostały poddane badaniom na zbiorze 20 reprezentatywnych obrazów barwnych o rozdzielczości 800 x 600 pikseli (10 różnego pochodzenia m.in. z Internetu a 10 wykonanych cyfrowym aparatem fotograficznym). Algorytmy wyznaczania barwności według 3 opisanych powyżej definicji zostały zaimplementowane i zostały wyznaczone wartości M dla 20 obrazów. Po uszeregowaniu obrazów wg barwności zaobserwowano dobrą zbieżność wyników pomiędzy definicjami Haslera-Suesstrunk oraz Tamury-Tanaki. Natomiast uszeregowanie dla definicji Browna było inne. Dlatego do dalszych badań wybrano definicję barwności obrazu wg Haslera-Suesstrunk. Więcej szczegółów odnośnie doświadczeń porównujących definicje barwności obrazu zawarto w pracy [5].

Należy odróżniać barwność obrazu od, wyznaczonej w wielu programach graficznych, liczby barw w obrazie (ang. *number of unique colours*). Z numerycznego punktu widzenia ta liczba to liczba różnych trójek RGB występujących w obrazie i nie musi być skorelowana z miarą percepcyjną jaką jest barwność obrazu. Barwność obrazu M jest miarą nie wymagającą znajomości obrazu odniesienia (ang. *no-reference metric*). Obraz ten jest natomiast potrzebny do wyznaczenia zmiany barwności ΔM (rozdz.4).

Niezależnie od przyjętej definicji barwności obrazu można ją, obok ostrości i naturalności, zaliczyć do globalnych atrybutów percepcyjnych, które służą do oceny jakości obrazu. Szersze tło literaturowe barwności obrazu przedstawiono w pracy [6].

3. Właściwości barwności obrazu

Negacja obrazu barwnego jest jedną z najprostszych operacji na obrazie barwnym. Jeżeli składowe R , G , B przyjmują wartości całkowite z przedziału $[0, 255]$, to wzory służące do wyznaczenia negatywu można zapisać w następującej postaci:

$$R_{neg} = 255 - R \quad (8)$$

$$G_{neg} = 255 - G \quad (9)$$

$$B_{neg} = 255 - B \quad (10)$$

Prosta analiza wzorów na barwność obrazu pokazuje, że wprowadzenie składowych negatywu zmienia jedynie znak w wyrażeniach rg oraz yb :

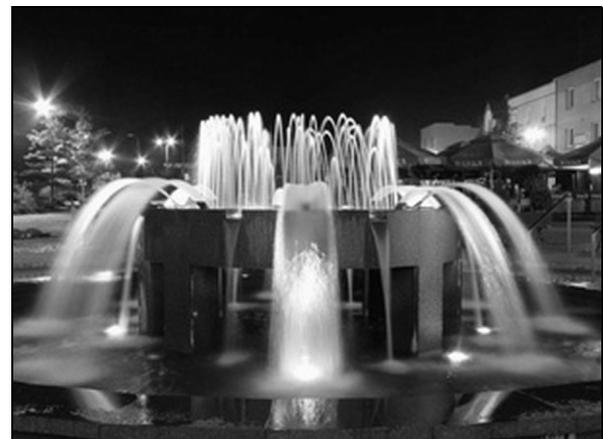
$$rg_{neg} = (255 - R) - (255 - G) = -rg \quad (11)$$

$$yb_{neg} = 0,5(255 - R + 255 - G) - (255 - B) =$$

$$B - 0,5(R + G) = -yb$$

Barwność zależy od kwadratów wartości średnich i odchyłeń standardowych powyższych wyrażeń. Dlatego barwność negatywu jest równa barwności pozytywu. Testy na obrazach potwierdzają tę właściwość barwności obrazu.

Innym interesującym zagadnieniem jest problem jak na barwność obrazu wpływają percepcyjne atrybuty barwy pikseli takie jak odcień H , jasność L i nasycenie S . Wpływ ten można ocenić używając programu umożliwiającego zmianę składowych HLS pikseli w obrazie. W tym celu wykorzystano możliwości programu Paint Shop Pro w wersji 9, który zapewnia płynną i niezależną zmianę atrybutów percepcyjnych. Przedział zmian dla odcienia wynosi $(-180^\circ, +180^\circ)$ a dla jasności i nasycenia $(0, 100)$, chociaż dla tych 2 wielkości na poniższych wykresach przyjęto skalę znormalizowaną $(0, 1)$. Poniżej (Rys.1) przedstawiono wyniki dla obrazów Fontanna oraz Kwiaty:

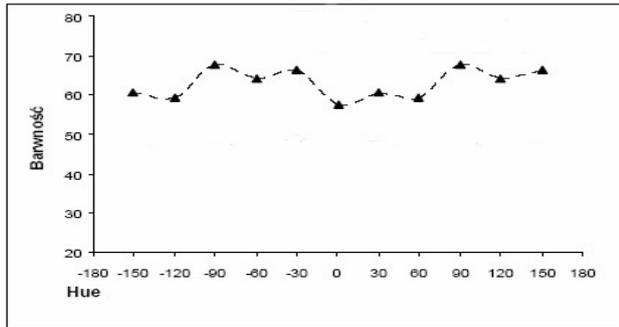


a)

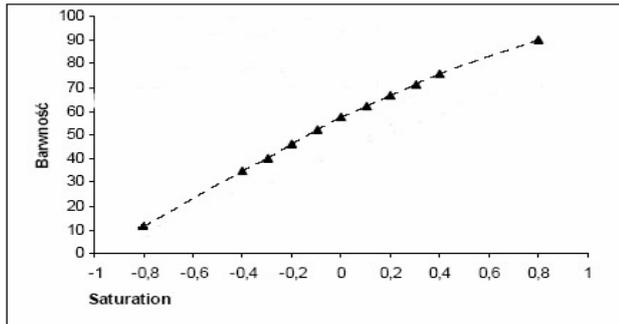


b))

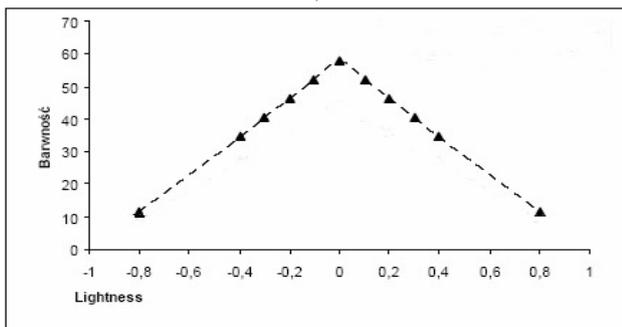
Rys. 1. Obrazy testowe: a) Fontanna, b) Kwiaty
Fig. 1. Test images: a) Fountain, b) Flowers



a)



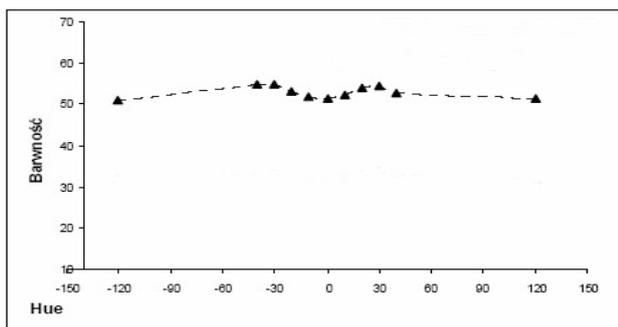
b)



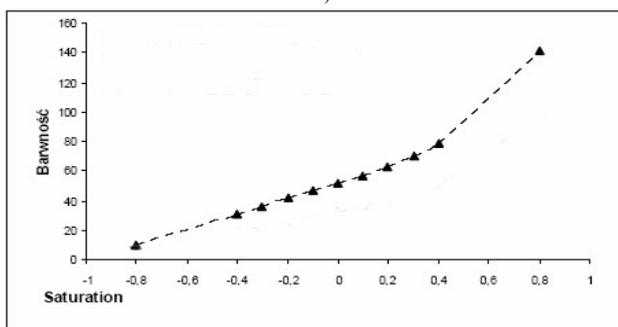
c)

Rys. 2. Wpływ zmian składowych HLS na barwność obrazu Fontanna: a) wpływ odcienia, b) wpływ nasycenia, c) wpływ jasności

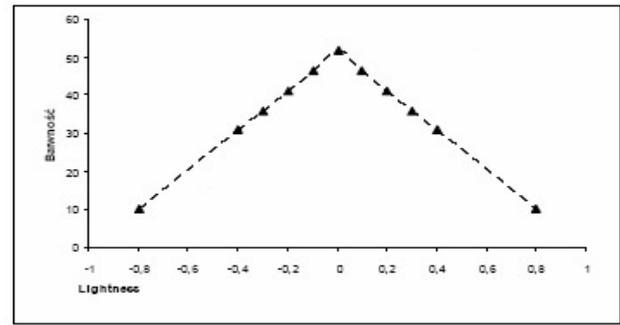
Fig. 2. Impact of change of HLS components on the colourfulness of Fontanna image: a) impact of H, b) impact of S, c) impact of L



a)



b)



c)

Rys. 3. Wpływ zmian składowych HLS na barwność obrazu Kwiaty :

a) wpływ odcienia, b) wpływ nasycenia, c) wpływ jasności

Fig. 3. Impact of change of HLS components on the colourfulness of Kwiaty image: a) impact of H, b) impact of S, c) impact of L

Podsumowując powyższe badania można stwierdzić, że potwierdzają one doświadczalnie silną korelację pomiędzy barwnością obrazu a nasyceniem barw w obrazie. Barwność obrazu maleje symetrycznie wraz ze wzrostem jak i ze spadkiem poziomu jasności L . Można to wytłumaczyć kształtem bryły barw w przestrzeni HLS, która jest podwójnym stożkiem z osią symetrii wzdłuż L . Dlatego wraz ze zwiększaniem lub zmniejszaniem się jasności punkt reprezentujący barwę oddala się od podstawy stożka i zmniejsza się maksymalna, możliwa do osiągnięcia, wartość nasycenia (odległość od osi symetrii bryły barw). Spadek nasycenia oznacza zmniejszanie się barwności. W czasie zmiany odcienia barwność obrazu utrzymuje stały poziom z małymi odchyleniami, chociaż jednocześnie obraz traci na naturalności. Zmiana barwności obrazu nie ma miejsca, ponieważ w wyniku operacji nie ulega zmianie ilość odcieni obecnych w obrazie ani ich nasycenie.

4. Barwność w przetwarzaniu obrazów

Podczas przetwarzania obrazu jego barwność może się zmieniać: na przykład wzrastać w wyniku poprawiania obrazu lub spadać w wyniku jego kompresji stratnej. Wzrost barwności obrazu poza pewien optymalny poziom, obniża jego jakość ocenianą przez obserwatorów. Niekiedy jednak barwność obrazu powinna być niezmienna, np. w procesach takich jak kwantyzacja barwy lub filtracja odszumiająca.

W pracy [7] jeden z Autorów pokazał, że zmiana barwności obrazu może być przydatna do oceny algorytmów kwantyzacji barwy. Badano 3 metody kwantyzacji barwy: kwantyzację równomierną w przestrzeni RGB, kwantyzację równomierną w przestrzeni HSV oraz adaptacyjną metodę kwantyzacji opartą na technice klasteryzacyjnej k -means. Wyniki kwantyzacji były oceniane przy użyciu 3 miar: standardowej PSNR, ΔE - błędu barwy w przestrzeni CIELAB oraz, dodatkowo, przy pomocy różnicy barwności pomiędzy obrazem oryginalnym a obrazem po kwantyzacji. Zauważono, że im mniejsza jest strata barwności obrazu w procesie kwantyzacji. Stwierdzono, że barwność obrazu może być przydatna w procesie porównania algorytmów kwantyzacji barwy łącznie z miarami tradycyjnie stosowanymi, takimi jak MSE, PSNR oraz ΔE , szczególnie wtedy gdy tradycyjne miary dają sprzeczne wyniki.

Szum barwny zwiększa barwność obrazu o niskiej barwności, a szum achromatyczny obniża barwność obrazu o wysokiej barwności. Z drugiej strony redukcja szumu w obrazie barwnym nie powinna zmieniać jego barwności. Na przykładzie 2 technik filtracji medianowej (skalarna, wektorowa) w pracy [8] pokazano przydatność barwności do oceny wyników filtracji obok takich miar jak PSNR czy ΔE .

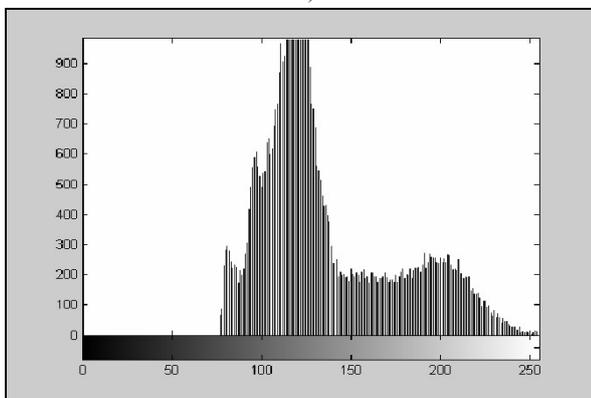
Pozyskane cyfrowe obrazy barwne często wymagają poprawy jakości np. w zakresie kontrastu. Ciekawym zagadnieniem jest jak procedury poprawy jakości obrazu wpływają na jego barwność.

Kilkanaście obrazów barwnych poddano procedurom zwiększania kontrastu takim jak rozciąganie histogramu, wyrównywanie histogramu oraz zwiększanie średniego nasycenia w obrazie. Rys.4 przedstawia przykład takiego przetwarzania. Dla obrazu pokazanego na Rys.4a wyznaczono histogramy R , G , B . Histogram dla kanału R o ograniczonym zakresie poziomów pokazuje Rys.4b, a ten sam histogram po jego rozciągnięciu na całą skalę 0-255 zamieszczono na Rys.4c.

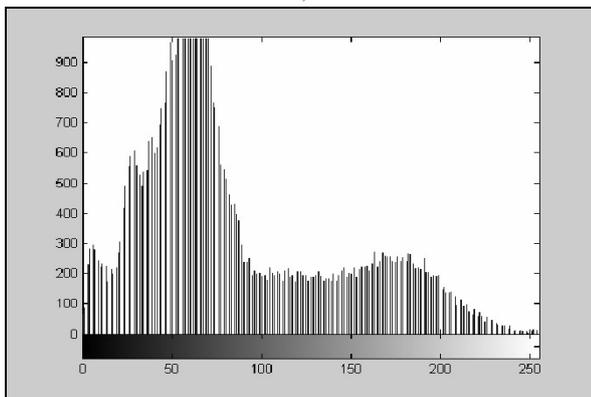
Obraz z Rys.4d przedstawia obraz wejściowy z poprawionym kontrastem. Barwność obrazu przed rozciągnięciem histogramu liczona według definicji Haslera - Suesstrunk wynosiła 14,33 a po poprawie kontrastu – 20,14. Nie można jednak twierdzić, że zawsze poprawie jakości towarzyszy wzrost barwności obrazu, chociaż dla większości badanych obrazów tak właśnie było. To jak zmienia się barwność obrazu po poprawie jakości zależy głównie od tego, jakie wady ma obraz wyjściowy. Jeżeli występują w nim silnie przebarwione powierzchnie achromatyczne i w związku z tym zawyżają barwność, to barwność poprawionego obrazu zmniejsza się.



a)



b)



c)



d)

Rys. 4. Poprawianie kontrastu obrazu barwnego: a) obraz wejściowy, b) histogram obrazu wejściowego, c) histogram poprawionego obrazu, d) obraz wyjściowy

Fig. 4. Contrast enhancement for colour image: a) input image, b) histogram of input image, c) histogram of enhanced image, d) output image

Zwiększanie barwności obrazu podczas procesu jego poprawy powinno mieć swoje granice, bo przekroczenie pewnego poziomu może wiązać się z utratą przez obraz naturalności. Ten poziom jest różny dla różnych obrazów, co utrudnia automatyzację procesu poprawy obrazu.

5. Podsumowanie

Badaniom na reprezentatywnym zbiorze obrazów poddano trzy definicje barwności obrazu. W artykule zwrócono uwagę na szczególną przydatność miary barwności obrazu wg Haslera i Suesstrunk, która jest miarą stosunkowo prostą obliczeniowo i dobrze skorelowaną z badaniami psychofizycznymi. Stwierdzono, że barwność obrazu, będąca jego globalną miarą percepcyjną podobnie jak ostrość czy naturalność obrazu, zależy od lokalnych atrybutów percepcyjnych takich jak odcień, jasność i nasycenie barwy.

Uzasadniono teoretycznie i potwierdzono doświadczalnie jednakową barwność pozytywu i negatywu obrazu barwnego, chociaż może to budzić wątpliwości obserwatorów. Na przykładzie problemu poprawiania obrazu zostało pokazane zastosowanie barwności w przetwarzaniu obrazów.

6. Literatura

- [1] Hunt R.W.G.: The specification of colour appearance. *Color Research and Applications*, vol.2, 1977, 55-69 i 109-120.
- [2] Tamura H., Tanaka K.: Visual response properties of cells in the ventral and dorsal parts of the macaque inferotemporal cortex. *Cerebral Cortex*, vol.11, no.5, 2001, 384-399.
- [3] Brown J.: Method for varying an image processing patch based on image emphasis and appeal. US Patent No. 4 555 661, 2002.
- [4] Hasler D., Suesstrunk S.: Measuring colourfulness for natural images. *Proc. IS&T/SPIE Electronic Imaging 2003: Human Vision and Electronic Imaging VIII*, Proceedings of SPIE, vol.5007, 2003, 87-95.
- [5] Frąckiewicz M.: Poprawianie obrazów barwnych poprzez zmianę ich barwności. Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006 (praca nie publikowana).
- [6] Palus H., Colorfulness of the image: definition, computation and properties, *Proc. of SPIE*, vol.6158, 05-1 – 05-6, 2006.
- [7] Palus H.: Application of colourfulness of the image in colour image quantization. In: Tadeusiewicz R., Ligeża A., Szymkat M., /Eds./, *Computer Methods and Systems*, vol.2, Cracow 2005, 205-210.
- [8] Palus H.: Colourfulness of the image and its application in image filtering. *Proc. of the 5th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT'2005)*, Athens, Greece 2005, 884-889.