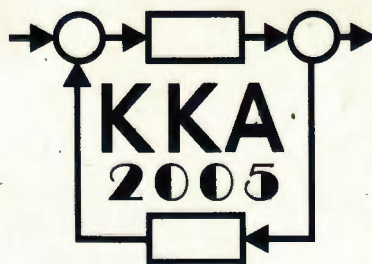


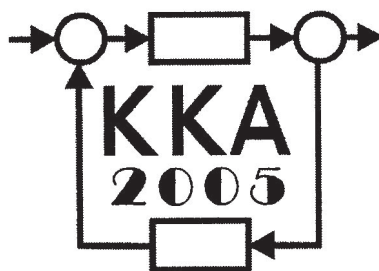
XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom I



**Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk**

XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom I



Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓŁORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący
Zastępca Przewodniczącego

Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA
Mikołaj BUSŁOWICZ
Ryszard GESSING
Jakub GUTENBAUM
Stanisław KACZANOWSKI
Janusz KACPRZYK
Józef KORBICZ
Krzysztof KOZŁOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI
Krzysztof MALINOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI
Tadeusz PUCHAŁKA
Stanisław SKOCZOWSKI
Jerzy ŚWIĄTEK
Ryszard TADEUSIEWICZ
Krzysztof TCHOŃ
Jan WĘGLARZ

Michał BIAŁKO
Władysław FINDEISEN
Henryk GÓRECKI
Jerzy JÓZEFczyk
Tadeusz KACZOREK
Jerzy KLAMKA
Zbigniew KOWALSKI
Juliusz L. KULIKOWSKI
Kazimierz MALANOWSKI
Wojciech MITKOWSKI
Władysław PEŁCZEWSKI
Leszek RUTKOWSKI
Roman SŁOWIŃSKI
Andrzej ŚWIERNIAK
Piotr TATJIEWSKI
Leszek TRYBUS
Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący
Zastępcy Przewodniczącego

Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK
Stanisław KACZANOWSKI
Tadeusz KACZOREK
Krzysztof MALINOWSKI
Roman OSTROWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA
Dariusz WAGNER
Jan STUDZIŃSKI
Jan W. OWSIŃSKI

Członkowie

Sekretarze naukowci

ISBN 83-89475-00-6

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

IDENTYFIKACJA I ROZPOZNAWANIE

PERCEPCYJNA PRZESTRZEŃ KOLORÓW W PRZETWARZANIU I ANALIZIE OBRAZÓW KOMPUTEROWYCH

Paweł BUCZYŃSKI

Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: buczynsp@ee.pw.edu.pl

Streszczenie: Artykuł ten poświęcony jest poszukiwaniu wygodnej reprezentacji kolorów dla cyfrowego przetwarzania i analizy obrazów. Głównym celem opisanych poniżej badań jest odnalezienie takiej przestrzeni barw, która będzie użyteczna przy rozwiązywaniu problemu uporządkowania zbioru kolorowych punktów w obrazie. Euklidesowa przestrzeń RGB bardzo dobrze oddaje budowę czujników światła kolorowego, ale w przetwarzaniu obrazów komputerowych często ważne jest, aby przestrzeń barw była zgodna z ludzką percepcją. Sformułowano tu transformację do percepcyjnej przestrzeni kolorów i przykłady zastosowania w operacjach morfologii matematycznej.

Słowa kluczowe: przestrzenie kolorów, przetwarzanie obrazów kolorowych, morfologia matematyczna.

1. WSTĘP

Kolor jest bardzo bogatą w informację właściwością światła. Wykorzystanie jej pozwala na znaczną poprawę technik wizualizacji danych i widzenia komputerowego w robotyce [4]. Metody nawigacji i rozpoznawania obiektów w otoczeniu robota [5] opierają się na danych w formie sekwencji obrazów o wysokiej rozdzielczości i liczbie kolorów. Dzięki rosnącej w błyskawicznym tempie mocy obliczeniowej współczesnych mikroprocesorów najczęściej stosowane dotychczas podejście ograniczające się do wykorzystania składowej jasności (luminancji) w obrazie przestało być jedynym rozsądnym z punktu widzenia czasu i jakości przetwarzania. Nazwy przestrzeni, model i układ współrzędnych kolorów dotyczą tego samego pojęcia i mogą być stosowane zamiennie. Układy współrzędnych kolorów można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- Obiektywne - wygodne do pomiarów wielkości fizycznych i reprezentacji w urządzeniach elektronicznych.
- Subiektywne - ściśle związane ze sposobem, w jaki człowiek widzi światło kolorowe.

Przestrzenie subiektywne są często nazywane przestrzeniami percepcyjnymi. Najczęściej spotykanym sposobem reprezentacji barw jest umieszczenie ich w przestrzeni RGB. Układ współrzędnych RGB (ang. Red, Green, Blue) jest euklidesowym, w którym każda ze współrzęd-

nych odpowiada jednej z barw podstawowych: czerwonej, zielonej i niebieskiej. W technice komputerowej każdy punkt reprezentowany jest przy pomocy trzech wartości z zakresu od 0 do 255 (bajt), co pozwala na przedstawienie ponad 16.5 tysiąca różnych kolorów. Powszechność stosowania układu RGB związana jest z naturą powstawania obrazu w lampach kineskopowych (CRT) - podstawowym elemencie każdego monitora komputerowego. Pobudzony do świecenia fosfor pokrywający wewnętrzną powłokę CRT w zależności od rodzaju może emitować światło odpowiadające jednej z barw czerwonej, zielonej lub niebieskiej. Regulując natężenie strumienia elektronów bombardujących ekran zmienia się intensywność świecenia odpowiedniego fosforu. Oko człowieka „uśredniając” efekty świecenia trzech rodzajów fosforu rejestruje barwę w obrazie. Ważną właściwością, zarówno obiektywnych jak i subiektywnych przestrzeni kolorów, jest możliwość transformacji z i do modelu RGB [6]. Na rysunku 1 zaznaczono wektor \vec{W} leżący na tzw. *osi achromatycznej* przestrzeni RGB.

Definicja 1 *Oś achromatyczna w przestrzeni RGB nazywamy zbiór punktów leżących na głównej przekątnej pomiędzy współrzędnymi $[R_{min} \ G_{min} \ B_{min}]$ a $[R_{max} \ G_{max} \ B_{max}]$.*

2. PERCEPCYJNA PRZESTRZEŃ KOLORÓW

Stosując do pomiaru dystansu między kolorami w RGB odległość euklidesową, można zauważyć znaczącą różnicę w stosunku do tego, co zaobserwuje ludzkie oko. Dla człowieka odpowiedniejszą miarą odległości między kolorami jest kąt zawarty pomiędzy wektorami w RGB [14],[15]. Przyjmując, że mierzony będzie kąt pomiędzy osią achromatyczną a dowolnym punktem w układzie współrzędnych, można wyznaczyć wartości jasności i nasycenia koloru o danych współrzędnych RGB. Załóżmy że mierzona jest odległość dowolnego koloru c o współrzędnych $R_c \ G_c \ B_c$ od wektora barwy białej, czyli punktu \vec{W} o współrzędnych $R_w \ G_w \ B_w = [1 \ 1 \ 1]$. Wektor \vec{OW} leży na osi achromatycznej.

$$\vec{OW} \cdot \vec{OC} = \|\vec{OC}\| \|\vec{OW}\| \cos \beta \quad (1)$$

We wzorze 1 kąt β jest zawarty pomiędzy wektorami \vec{OC} i \vec{OW} . Na osi achromatycznej leżą punkty o równych współrzędnych ($R=G=B$) reprezentujące różne odcienie szarości. Punkt $O = [0\ 0\ 0]$ odpowiada barwie czarnej. Stosując przekształcenie iloczynu skalarnego wektorów \vec{OW} i \vec{OC} można wyprowadzić wzór na składową jasności i nasycenia koloru. Na rysunku 1 pokazany jest kąt β pomiędzy wektorem wybranego koloru \vec{OC} a wektorem na osi achromatycznej \vec{OW} . Przekształcając wzór 1 można funkcję $\cos \beta$ wyrazić równaniem 2.

$$\cos \beta = \frac{\vec{OC}^T \cdot \vec{OW}}{\|\vec{OC}\| \|\vec{OW}\|} \quad (2)$$

Równania 3 do 7 pokazują jak krok po kroku wyprowadzony został wzór na składową jasności w biegunowej przestrzeni kolorów. Składową jasności oznaczono L (Lightness).

$$\vec{OC} = \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad \vec{OW} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\|\vec{OW}\| = \sqrt{1+1+1} = \sqrt{3} \quad (4)$$

$$\|\vec{OC}\| = \sqrt{R_c^2 + G_c^2 + B_c^2} \quad (5)$$

$$\vec{OC} \cdot \vec{OW} = [R_c G_c B_c] \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$L = \frac{R_c + G_c + B_c}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

Ostatecznie po likwidacji niewymierności w mianowniku wyrażenie na składową jasności oświetlenia przybiera postać 8.

$$L = \frac{\sqrt{3}}{3} (R_c + G_c + B_c) \quad (8)$$

Składowa L jest projekcją wektora dowolnego koloru na oś achromatyczną. Wektor normalny do L o wierzchołku w punkcie C jest reprezentacją składowej nasycenia barwy. Z rysunku 1 wynika, że wektor nasycenia jest związany z kątem β poprzez funkcję $\sin \beta$.

$$\sin \beta = \frac{S}{\|\vec{OC}\|} \quad (9)$$

We wzorze 9 S oznacza nasycenie. Korzystając z równania 2 i ogólnie znanej zależności trygonometrycznej, można wyrazić $\sin \beta$ tak jak we wzorze 10.

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{\vec{OC}^T \cdot \vec{OW}}{\|\vec{OC}\| \|\vec{OW}\|} \right)^2} \quad (10)$$

Przyjmując podobne założenia co do \vec{OC} i \vec{OW} tak jak w przypadku wyprowadzenia wzoru na L , a także wykorzystując równania 9 i 10, uzyskujemy równanie nasycenia barwy w postaci 11

$$S = \sqrt{R_c^2 + G_c^2 + B_c^2} \sqrt{1 - \left(\frac{R_c + G_c + B_c}{\sqrt{3} \sqrt{R_c^2 + G_c^2 + B_c^2}} \right)^2} \quad (11)$$

Ostatecznie redukując 11 otrzymujemy wyrażenie 12

$$S = \sqrt{R_c^2 + G_c^2 + B_c^2 - \frac{1}{3} (R_c + G_c + B_c)^2} \quad (12)$$

albo w postaci 13

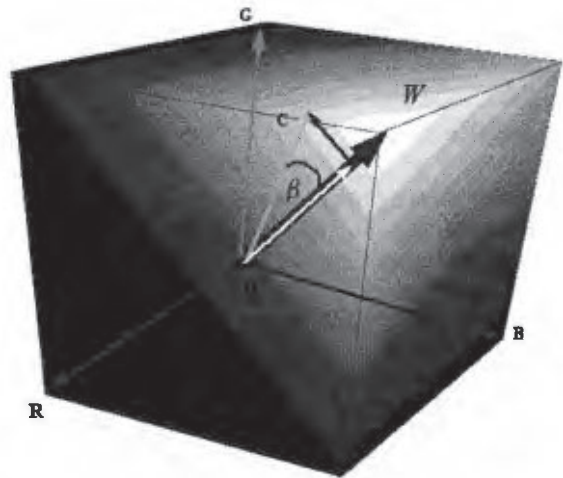
$$S = \sqrt{\frac{1}{3} \left((R_c - G_c)^2 + (G_c - B_c)^2 + (R_c - B_c)^2 \right)} \quad (13)$$

Stosując analogię do postaci zaprezentowanej dla L we wzorze 8 można nasycenie przedstawić w formie równania 14

$$S = \frac{\sqrt{3}}{3} \sqrt{(R_c - G_c)^2 + (G_c - B_c)^2 + (R_c - B_c)^2} \quad (14)$$

Wzór 12 można podzielić na dwie części. Pierwsza to liczba będąca po prostu normą w sensie L_2 wektora analizowanego koloru \vec{OC} podniesioną do drugiej potęgi. Kolejna liczba jest kwadratem składowej natężenia jasności czyli wzoru 8. Można zatem zapisać wyrażenie na składową nasycenia w postaci 15

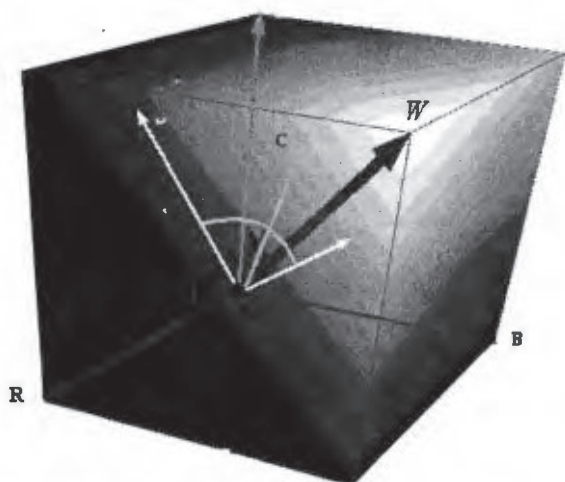
$$S = \sqrt{\|\vec{OC}\|^2 - L^2} \quad (15)$$



Rysunek 1. Składowe jasności barwy i nasycenia wyznaczonych na podstawie miary kąta pomiędzy wektorem na osi achromatycznej a wybranym punktem reprezentującym kolor.

Powyżej przedstawiono metodę wyznaczania składowych jasności i nasycenia barwy przy pomocy iloczynu skalarnego wektora wybranego koloru i wektora leżącego na osi achromatycznej. Produktem ich iloczynu wektorowego jest wektor do nich ortogonalny. Załóżmy, że dominującym kolorem odniesienia dla każdego punktu w RGB będzie w pełni nasycony kolor czerwony $\vec{R} = [1\ 0\ 0]$.

$$\cos \gamma = \frac{(\vec{OW} \times \vec{OR})^T \cdot (\vec{OW} \times \vec{OC})}{\|\vec{OW} \times \vec{OR}\| \|\vec{OW} \times \vec{OC}\|} \quad (16)$$



Rysunek 2. Wyznaczanie składowej odcienia jako iloczynu wektorowego osi achromatycznej z wektorem koloru c.

Wyrażenie z licznika równania 16 można zapisać jako iloczyn skalarny wektorów $[0 \ 1 \ -1]$ i $[B_c - G_c \ R_c - B_c \ G_c - R_c]$ co pokazuje wzór 19.

$$[0 \ 1 \ -1] \begin{bmatrix} B_c - G_c \\ R_c - B_c \\ G_c - R_c \end{bmatrix} = \quad (17)$$

$$(R_c - B_c) - (G_c - R_c) = \quad (18)$$

$$R_c - B_c - G_c + R_c = 2R_c - B_c - G_c \quad (19)$$

Licznik ułamka z wyrażenia 16 przyjmuje formę przedstawioną w równaniu 19.

$$\|\vec{OW} \times \vec{OR}\| = \sqrt{0^2 + 1^2 + (-1)^2} = \sqrt{2} \quad (20)$$

$$\|\vec{OW} \times \vec{OC}\| = \quad (21)$$

$$\sqrt{(B_c - G_c)^2 + (R_c - B_c)^2 + (G_c - R_c)^2} \quad (22)$$

Biorąc pod uwagę przekształcenia 19, 20, 22 można wzór 16 zapisać jak w równaniu 23.

$$\cos \gamma = \frac{2R_c - B_c - G_c}{\sqrt{2} \sqrt{(B_c - G_c)^2 + (R_c - B_c)^2 + (G_c - R_c)^2}} \quad (23)$$

lub po uproszczeniu w postaci 24

$$\cos \gamma = \frac{R_c - \frac{B_c}{2} - \frac{G_c}{2}}{\sqrt{(R_c^2 + G_c^2 + B_c^2) - (R_c B_c + G_c R_c + B_c G_c)}} \quad (24)$$

Ostatecznie składowa H powinna zostać obliczona na podstawie zależności 25:

$$H' = \arccos \left[\frac{R_c - \frac{B_c}{2} - \frac{G_c}{2}}{\sqrt{(R_c^2 + G_c^2 + B_c^2) - (R_c B_c + G_c R_c + B_c G_c)}} \right] \quad (25)$$

$$H = \begin{cases} 360^\circ - H' & \text{gdy } B > G \\ H' & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

2.1. Postać macierzowa i transformacja odwrotna

Wzór 14 można zapisać w nieco innej postaci, zamieniając odpowiednie różnice składowych R G B symbolami S_1, S_2 i S_3 co pokazują wzory 26, 27, 28 i 29.

$$S_1 = R_c - G_c \quad (26)$$

$$S_2 = G_c - B_c \quad (27)$$

$$S_3 = R_c - B_c \quad (28)$$

$$S = \frac{\sqrt{3}}{3} \sqrt{(S_1^2 + S_2^2 + S_3^2)} \quad (29)$$

Aby przetrzeń kolorów spełniała wymagania postawione przez Hanbury'ego i Serre w pracy [2], powinna istnieć transformacja do takiej przestrzeni z RGB jak i odwrotnie do RGB. Omówione powyżej przekształcenia prowadzące wektory RGB do stożkowego układu współrzędnych można opisać przy pomocy równania liniowego o postaci opisanej poniżej 30.

$$\begin{bmatrix} L \\ C_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad (30)$$

gdzie:

- L jest wartością jasności (lightness)
- $C_1 = R_c - \frac{B_c}{2} - \frac{G_c}{2}$ jest pierwszą składową chrominancji (Licznik równania 24)
- S_2 jest drugą składową chrominancji i opisanym przez równanie 27 elementem wzoru 29

Ostatecznie składowa L stożkowej przestrzeni LSH ma postać zapisaną przez 8. Nasycenie przedstawia 29, natomiast jeżeli składowa G_c jest większa od składowej B_c , to odcień barwy $H = H'$ z równania 31. W przeciwnym przypadku $H = 360^\circ - H'$

$$H' = \arccos \left(\sqrt{\frac{2}{3}} \frac{C_1}{S} \right) \quad (31)$$

Transformację z LSH do RGB opisuje równanie 32

$$\begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{2}{3} & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ C_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \quad (32)$$

Jeżeli dane są wszystkie trzy współrzędne L, S i H to wartości C_1 oraz S_2 opisane są zależnościami 33 i 34:

$$C_1 = \sqrt{\frac{3}{2}} S \cos H \quad (33)$$

$$S_2 = -\sqrt{2} S \sin H \quad (34)$$

3. UPORZĄDKOWANIE ZBIORU PUNKTÓW W OBRAZIE

Uporządkowanie zbioru punktów w obrazie jest bardzo ważnym zagadnieniem w morfologii matematycznej. Istnieje wiele różnych sposobów na rozwiązanie tego problemu dla zbiorów kolorowych pikseli, będących wielkościami wektorowymi. Najprostsze i często stosowane

jest porządkowanie zbioru ze względu na jedną ze składowych np.: G w modelu RGB albo jasność, luminancja w przestrzeniach percepcyjnych. Posługiwanie się pojedynczą składową nie pozwala na ustalenie w zbiorze porządku zupełnego. Jeżeli potrzebne jest jednoznaczne ustalenie kolejności, to można posłużyć się porządkiem leksykograficznym.

3.1. Porządek leksykograficzny

Pewnym rozwiązaniem problemu uporządkowania zbioru elementów wektorowych jest zastosowanie porządku leksykograficznego. Tego rodzaju uporządkowanie wzorowane jest na sposobie przeszukiwania słowników. Najpierw porównywane są składowe ustalone arbitralnie jako najważniejsze. Jeżeli wynik porównania jest nierozstrzygnięty (składowe są równe), to sprawdzana jest relacja między kolejnymi składowymi zgodnie z obowiązującą hierarchią ważności (np. kolejność liter w alfabecie). W pracy [3] można znaleźć propozycję ustalenia porządku porównywania poszczególnych składowych RGB w kolejności :

1. G potem R i na końcu B.
2. L_n potem G i na końcu B. Gdzie L_n oznacza jedną z norm wektorowych RGB.

Do punktu 2 zaliczyć można przypadek w którym najważniejszą składową jest jasność (luminancja) lub nasycenie koloru. Wzór 36 przedstawia schemat porównań składowych w przestrzeni HLS, zakładając kolejność L, S, H.

$$(L_1, S_1, H_1) > (L_2, S_2, H_2) \Leftrightarrow \begin{cases} L_1 > L_2 \\ \vee \\ L_1 = L_2 \wedge S_1 > S_2 \\ \vee \\ L_1 = L_2 \wedge S_1 = S_2 \wedge H_1 > H_2 \end{cases} \quad (36)$$

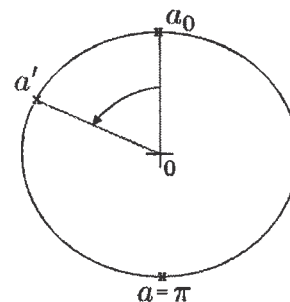
Hanbury [1] dokonał analizy przypadków uporządkowania leksykograficznego w przestrzeni biegunowej HLS. Wnioski płynące z tej pracy są następujące:

1. Bardzo rzadko zachodzi praktyczna konieczność porównywania trzeciej składowej.
2. Ustalenie składowej jasności na pierwszej pozycji jest zasadne jedynie wtedy, gdy interesujące obiekty są najjaśniejsze lub najciemniejsze w obrazie. Najlepiej zachowywane są w tym przypadku kontury i drobne szczegóły.
3. Jeżeli obraz zawiera obiekty kolorowe na szarym tle, to dobre rezultaty uzyskuje się ustalając nasycenie jako najważniejszą składową.
4. Gdy interesujące regiony w obrazie mają jedną szczególną barwę, warto jest w pierwszej kolejności porównywać składową odcienia barwy (hue). Hue jest wyrażone poprzez kąt mierzony od wybranego koloru źródłowego. Miara hue powinna być bezwzględna odległość z przedziału od 0° do 180° od źródła (np. koloru czerwonego).

Wnioski płynące z punktu 4 zostaną nieco szczegółowiej omówione ponieważ wspomniane porównywanie odległości od koloru źródłowego zostało wykorzystane przez autora w rozdziale 5. poświęconym filtracji obrazów sonarowych.

3.2. Operatory w kole jednostkowym

W technikach przetwarzania kolorowych obrazów kodowanie informacji przy pomocy kąta jest zabiegiem dosyć popularnym. Wyrażanie składowej odcienia barwy (hue) jako kąta mierzzonego od barwy odniesienia jest najlepszym tego dowodem. Hanbury i Serra [7], [8] użyli operatorów morfologicznych opisanych przy pomocy kąta w kole jednostkowym (rysunek 3). Ustalmy źródło a_0



Rysunek 3. Odległość mierzona w kole jednostkowym.

(odcień koloru odniesienia) leżący na obwodzie koła jednostkowego C o środku o w najwyższym możliwym położeniu. Symbolem a' oznaczmy dowolne punkty, których położenie względem a_0 będziemy mierzyć na obwodzie koła C . Niech $a_0 \div a'$ oznacza odległość w kole jednostkowym zdefiniowaną przez 37 :

$$D(a, a') = a_0 \div a' = \begin{cases} |a - a'| & \Leftrightarrow |a - a'| < \pi \\ 2\pi - |a - a'| & \Leftrightarrow |a - a'| \geq \pi \end{cases} \quad (37)$$

4. OPERACJE MORFOLOGII MATEMATYCZNEJ

Istnieją dwie podstawowe operacje morfologii matematycznej: erozja i dylacja. Wykonanie dowolnej z nich polega na przeszukaniu pewnego zbioru punktów, zdefiniowanego poprzez tzw. element strukturujący. W przypadku erozji poszukiwany jest największy, a w dylacji najmniejszy element w zbiorze. W celu zilustrowania zalet transformacji z RGB do nowej przestrzeni percepcyjnej wybrano operacje gradientu morfologicznego, otwarcia oraz cylindryczną „Black Top Hat” wykonane na obrazach kolorowych. Operacje te zdefiniowano przy pomocy wzorów

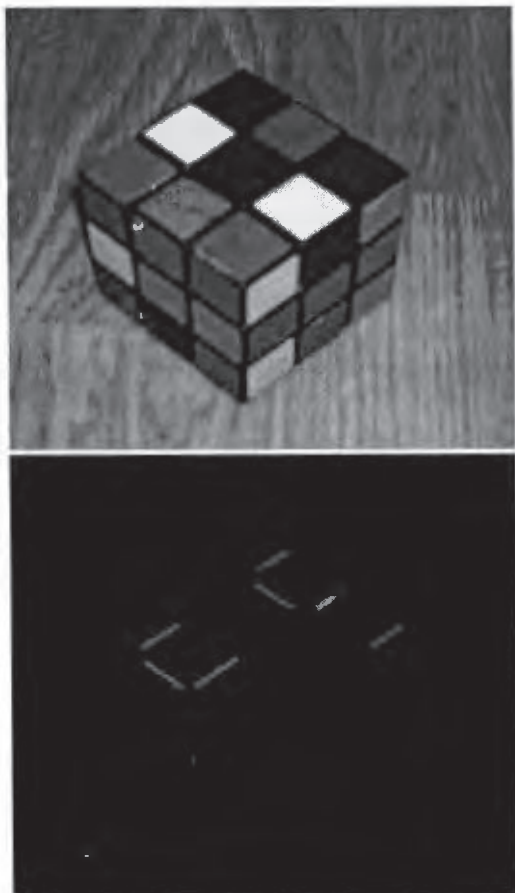
$$\nabla f = \delta(f) - \epsilon(f) \quad (38)$$

$$\gamma(f) = \delta(\epsilon(f)) \quad (39)$$

$$BTH = f - \gamma(f) \quad (40)$$

$\delta(f)$ oznacza dylację a $\epsilon(f)$ erozję wykonaną na obrazie f . Ciekawym przykładem zastosowania przestrzeni per-

cepcyjnej jest wykrycie niekolorowych granic pomiędzy barwnymi segmentami kostki Rubika przy pomocy operacji cylindrycznej BTH jedynie na składowej nasycenia. Wynik można ocenić oglądając obraz 4.



Rysunek 4. BTH na składowej S obrazu kostki Rubika

4.1. Erozja i dylacja w kole jednostkowym

Wzór 37 opisuje odległość stowarzyszoną z każdym pikselem należącym do elementu strukturującego. Peters [9] zaproponował aby najmniejsza wartość $D(a, a')$ odpowiadała infimum a największa supremum zbioru punktów. Operator dylacji powinien promować elementy najbliższe barwie odniesienia a erozji najdalsze [1]. Stąd definicja erozji 41 i dylacji 42 według odwróconej reguły Petersa.

$$\epsilon_H f(x) = \{c_j : D(H_j, H_0) = \sup [D(H_i, H_0)], c_i \in B_x\} \quad (41)$$

$$\delta_H f(x) = \{c_j : D(H_j, H_0) = \inf [D(H_i, H_0)], c_i \in B_x\} \quad (42)$$

Symbol H_0 oznacza wartość koloru odniesienia.

5. REDUKCJA SZUMU W SEKWENCJACH SONAROWYCH

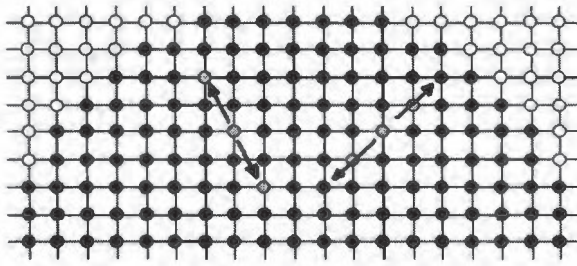
Poniższy tekst wprowadzi czytelnika w tematykę obrazowania na podstawie przetworzonej fali akustycznej [12].

Fala elektromagnetyczna w odróżnieniu od akustycznej jest silnie tłumiona w wodzie. Światło i obraz wideo używane są jedynie do zadań wykonywanych w bezpośrednim sąsiedztwie kamery np. do prac inspekcyjnych. Roboty do prac podwodnych często wyposażone są w systemy nawigacyjne zawierające urządzenie hydrolokacyjne zwane też Sonarem [10]. Hydrolokator do obserwacji toni wodnej i dna (ang. forward-looking sonar FLS) umieszczany jest w części dziobowej robota w bezpośrednim sąsiedztwie ewentualnych manipulatorów i kamery telewizyjnej [11]. Obecnie istnieje wiele różnych konstrukcji urządzeń FLS. Systemy służące do wykrywania i unikania przeszkód wyposażone są w emiter fali dźwiękowej i macierz hydrofonów odbierających echo odbite od obiektów lub dna morskiego. Każdy odbiornik odbiera sygnał z innego kierunku odpowiadającego stożkowej wiązce o rozpiętości od 5° do 10° [10]. Współczesne urządzenia sonarowe potrafią wygenerować bardzo dokładne obrazy o wysokiej rozdzielczości. Jakość obrazowania jest zależna od częstotliwości emitowanej fali akustycznej i odległości nadajnika od dna morskiego a także od siły emitowanego sygnału. Im wyższa jest częstotliwość, tym większe są możliwości do uzyskania rozdzielczości obrazu. Zwiększanie częstotliwości powoduje równoczesne skracanie zasięgu wiązek sygnałów akustycznych. Czynnikiem ograniczającym zasięg jest też interakcja dźwięków z dnem i powierzchnią morską tzw. rewerberacja. Zjawisko to polega na pojawianiu się fal odbijanych od granicy dwóch ośrodków, widocznych w postaci artefaktów rozmieszczonych radialnie względem nadajnika (rysunek 6).

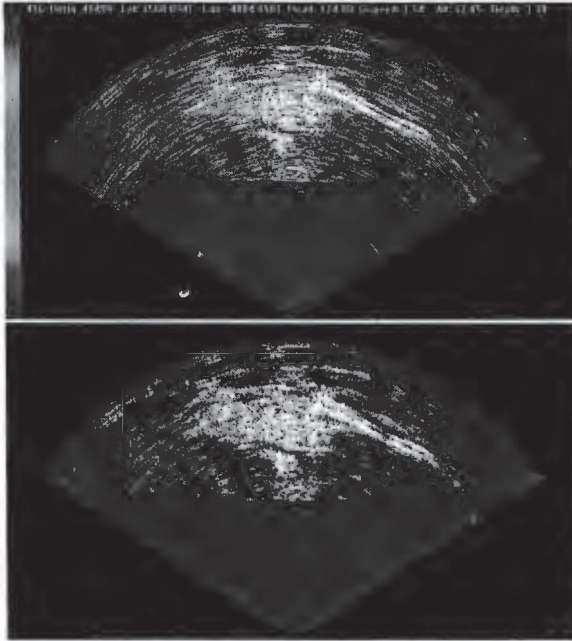
W pracy [13] opisano metodę redukcji radialnego szumu losowego związanego z rewerberacją, sprowadzając pseudokolorowe obrazy sonarowe do skalarnych szarościowych poprzez wyznaczenie luminancji każdego z punktów. Dobre rezultaty w procesie odszumiania klatek sekwencji daje zastosowanie opisanego wyżej morfologicznego operatora erozji w kole jednostkowym działającego na składowej odcienia barwy H . Łatwo zauważyć, że szum rozkłada się w każdym z obrazów wzdłuż fragmentu obwodu okręgu o środku umieszczonym na dole obrazu odpowiadającym położeniu nadajnika fali akustycznej. Wyszukiwanie elementu minimalnego w zbiorze punktów obrazu można ograniczyć więc do elementów rozmieszczonych wzdłuż promienia wspomnianego wycinka okręgu. W ten sposób wprowadzamy pewien nowy rodzaj sąsiedztwa analizowanego punktu, który można nazwać sąsiedztwem w obrazie rozpiętym na **siatce biegunowej**. Schematyczny rysunek takiej siatki przedstawia rysunek 5. Poniżej, na rysunku 6 zamieszczono wynik redukcji szumu w sekwencjach obrazów sonarowych rozpiętych na siatce biegunowej, dokonany za pomocą erozji na składowej kątovej H w kole jednostkowym.

6. WNIOSKI I DALSZE ROZWINIĘCIA

W pracy tej zamieszczono wyniki poszukiwania wydajnej transformacji do percepcyjnej przestrzeni kolorów oraz zaproponowano wykorzystanie jej do morfologicz-



Rysunek 5. Biegunowa siatka obrazu



Rysunek 6. Redukcja szumu w obrazie sonarowym

nego przetwarzania obrazów naturalnych oraz pseudokolorowych klatek sekwencji sonarowych. W przyszłości poszukiwane będą nowe obszary zastosowań w tym wyszukiwanie charakterystycznych cech w obrazie np.: ludzkich twarzy, a także indeksowanie w celu ich szybkiego odnajdywania w bazach danych obrazowych

PERCEPTUAL COLOR SPACE IN IMAGE PROCESSING AND ANALYSIS APPLICATIONS

Abstract: This paper is focused on searching for a color representation suitable for image analysis. The primary goal is to find representation that would be useful for ordering the colored pixel sets. The RGB space is the Euclidean one and it corresponds most closely with physical sensors for colored light but in many image processing applications it is vital to represent colors according to human being's perception. In the paper a formulation of a perceptual color space is given and its application in several mathematical morphology operations.

Literatura

[1] A G Hanbury (2001) Lexicographical order in the HLS Colour Space. Technical Report N-04/01/MM,

Centre de Morphologie Mathematique Ecole des Mines de Paris.

- [2] A G Hanbury J Serra (2002) 3D-polar coordinate colour representation suitable for image analysis. echnical Report PRIP-TR-077, TU Wien.
- [3] M Iwanowski (2000) Zastosowanie morfologii matematycznej do interpolacji obrazów cyfrowych. Praca doktorska, Politechnika Warszawska.
- [4] R Tadeusiewicz (1992) Systemy wizyjne robotów przemysłowych, Wydawnictwa Naukowo Techniczne.
- [5] T Ruiz Y Petillot D Lane J Bell, Tracking objects in underwater mutibeam sonar images, Department of Computing and Electrical Engineering, Heriot Watt University, Edinburgh, Scotland.
- [6] Tian-Yuan Shih (1995) The reversibility of Six Geometric Color Spaces, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 61, 1223-1232.
- [7] A G Hanbury J Serra (2001) Morphological Operators on the Unit Circle, IEEE Transactions On Image Processing, 10, 1842-1850
- [8] A G Hanbury, Circular Statistics Applied to Color Images, PRIP TU Wien
- [9] R A Peters (1997), Mathematical morphology for angle-valued images in non-linear image processing, SPIE, 3026
- [10] C D Loggins, A comparison of Forward-Looking Sonar Design Alternatives, Sonatech, Inc. 879 Ward Drive Santa Barbara, CA
- [11] A Morecki J Knapczyk (1994), Podstawy robotyki - teoria i elementy manipulatorów i robotów, Wydawnictwa Naukowo Techniczne
- [12] Imagnex Technology Corp., Sonar theory and applications, Excerpt from Imagnex Model 855 color imaging sonar user's manual
- [13] P Buczyński (2002), Mathematical Morphology in Multi-Beam Forward Looking Sonar Image Sequences, International Conference on Computer Vision and Graphics, 25-29 Sptember ,Zakopane, 1
- [14] S Wesolkowski E Jernigan (1999), Colour edge detection in RGB using jointly euclidean distance and wektor angle, Vision Interface 99, 9-16
- [15] Ho Young Lee Ho Keun Lee (2003), Spatial Color Descriptor for Image Retrival and Video Segmentation, EEE Transactions On Multimedia, 5, 358-367



**Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk**

ISBN 83-89475-02-2