

Henryk PALUS
Politechnika Śląska

PRZESTRZEŃ BARW IHS W ZASTOSOWANIU DO ROZPOZNAWANIA OBIEKTÓW

Streszczenie. Barwna wizja komputerowa może odgrywać istotną rolę w szeroko rozumianej robotyzacji i kontroli wizyjnej obiektów w procesach przemysłowych. W artykule przedstawiono wady i zalety przestrzeni barw IHS, jak również osobliwości transformacji RGB/IHS. Trzy przykłady progowania w przestrzeni IHS ilustrują jej przydatność w procesach segmentacji obrazów i rozpoznawania obiektów.

IHS COLOUR SPACE USED FOR OBJECT RECOGNITION

Summary. The colour computer vision can play an important role in robotics in its broad meaning and visual inspection of industrial processes. In the paper the advantages and disadvantages of IHS colour space and the singularities of RGB/IHS transformation are presented. Three examples of thresholding illustrate the IHS space usefulness in image segmentation and object recognition processes.

1. Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych aspektów widzenia jest postrzeganie barwy. Człowiek postrzega barwę obiektów w swoim otoczeniu nie poprzez analizę składowych RGB, ani ich różnic (teoria barw przeciwstawnych), ale za pomocą pojęć takich, jak: odcień **H**, nasycenie **S** i intensywność **I**. Pierwszy zwrócił na to uwagę H.L.Helmholtz, a w 1905 r. amerykański malarz A.H.Munsell zaproponował system opisu i klasyfikacji barw oparty na wyżej wymienionych pojęciach percepcyjnych. Jest on najczęściej dzisiaj stosowanym systemem porządkującym barwy (*colour ordering system*).

Odcień **H** jest to wrażenie odpowiadające barwie w potocznym sensie tego słowa i związane bezpośrednio z długością fali dominującej bodźca barwowego, np. zielony liść ma zielony odcień. Poszczególne odcienie tworzą zamknięte koło barw od czerwonej przez pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską, fioletową, purpurową i z powrotem do czerwonej.

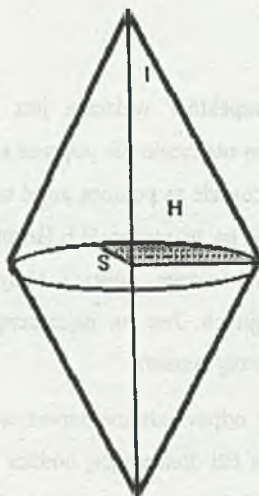
Nasycenie **S** wyraża względną czystość barwy, tj. brak bieli w barwie i jest

największe dla barw czystych. Przykładowo dla żywej barwy czerwonej: $S=1$, a dla bladej barwy czerwonej (różowa): $S=0,5$. Dla barw achromatycznych: $S=0$.

Intensywność I określa stopień podobieństwa danej barwy do barwy białej (maksymalna intensywność) i z drugiej strony do barwy czarnej (minimalna intensywność). W najprostszym przypadku intensywność jest reprezentowana przez średnią arytmetyczną składowych R, G i B, a niekiedy ma znaną z telewizji kolorowej postać luminancji będącej sumą ważoną składowych R, G i B:

$$Y = 0,30R + 0,59G + 0,11B \quad (1)$$

W latach siedemdziesiątych zaczęto stosować taki, zorientowany percepcyjnie i koncepcyjnie podobny do systemu Munsella, opis barw do różnych zagadnień szeroko rozumianego przetwarzania obrazów: od wizji komputerowej (przestrzenie barw: HSI, LHS) po grafikę komputerową (modele barw: HLS, HSV, GHLS). W dalszej części pracy przyjęto wspólną dla tych przestrzeni barw nazwę IHS. Należy pamiętać, że przestrzenie barw IHS, choć bardziej intuicyjnie niż RGB, opisują psychologiczne atrybuty barwy (intensywność, odcień i nasycenie), są jednak tylko ich zgrubną aproksymacją. Przez pojęcie przestrzeni barw (model barw) rozumie się najczęściej trójwymiarowy model geometryczny służący do opisu barw zdefiniowany poprzez: zastosowane składowe barw, wybrany układ współrzędnych i przyjętą metrykę (odległość barw).



Rys.1. Bryła barw w przestrzeni IHS
Fig. 1. Colour solid in IHS colour space

Jeżeli składowe IHS zostaną przyporządkowane osiom układu współrzędnych walcowych, to powstałą bryłę barw najczęściej przedstawia się w postaci 2 jednakowych stożków złożonych podstawami. Zmiany intensywności mają miejsce wzdłuż osi bryły, zmiany odcienia wzdłuż obwodu odpowiedniego przekroju poprzecznego bryły, a zmiany nasycenia wzdłuż promienia od osi do powierzchni bryły, przy czym największe nasycenie występuje dla barw o średniej intensywności.

W literaturze nie da się znaleźć jednej międzynarodowej normy na transformację z przestrzeni RGB do IHS i odwrotnie [7]. W pracy [8] podjęto próbę porównania 4 najczęściej stosowanych w wizji i grafice komputerowej wersji bezpośrednich transformacji RGB/IHS. Poniżej dla ilustracji przedstawiono najbardziej „klasyczną” wersję J.M. Tenebauma z 1974 r. w postaci z zapisem odcienia za pomocą funkcji \arctg [13].

$$I = \frac{(R + G + B)}{3} \quad (2)$$

jeżeli $R=G=B$, to H - nieokreślone (kolor achromatyczny),
w przeciwnym razie jeśli $R > B$ i $G \geq B$ (B jest min), to

$$H = \frac{\pi}{3} + \arctg \left[\frac{\sqrt{3}(G - R)}{(G - B) + (R - B)} \right] \quad (3)$$

w przeciwnym razie jeśli $G > R$ (R jest min), to

$$H = \pi + \arctg \left[\frac{\sqrt{3}(B - G)}{(B - R) + (G - R)} \right] \quad (4)$$

w przeciwnym razie (G jest min)

$$H = \frac{5\pi}{3} + \arctg \left[\frac{\sqrt{3}(R - B)}{(R - G) + (B - G)} \right] \quad (5)$$

$$S = 1 - 3 \frac{\min\{R, G, B\}}{(R + G + B)} \quad (6)$$

2. Osobliwości transformacji RGB/IHS i właściwości przestrzeni IHS

Z powyższych nieliniowych wzorów transformacyjnych wynika, że wzory na H i S wykazują nieusuwalne osobliwości (*singularities*), których istnienie może być przyczyną niestabilności obliczeniowej. Łatwo zauważyć, że odcień jest nieokreślony wzdłuż całej osi barw achromatycznych, tzn. dla $R=G=B$, a nasycenie dla barwy czarnej: $R=G=B=0$. Gdy mianownik we wzorach (3-5) dąży do zera, to odcień staje się niestabilny obliczeniowo. Oznacza to, że zmiana wartości R, G, B o 1 poziom może wywołać niewspółmiernie dużą zmianę wartości H i S. Punkty odwzorowane z przestrzeni RGB w IHS nie występują w niej równomiernie (zagęszczenia i luki) [3].

Z kołowej natury skali odcieniowej wynika, że 2 barwy czerwone o bardzo zbliżonych odcieniach mogą mieć zupełnie różne wartości H, np. 5° i 355° . Problem dotyczy barwy, dla której przyjęto wartość $H=0$; zwykle jest to barwa czerwona. Utrudnia to niektóre operacje, np. wyznaczanie średniego odcienia dla wybranego obszaru, bo zwykle uśrednianie arytmetyczne wyżej wymienionych wartości H prowadzi do otrzymania barwy o odcieniu $H=180^\circ$, czyli turkusowej (*cyan*). W pracy [5] zaproponowano prosty sposób unikania tego błędu. Za pomocą funkcji trygonometrycznych przechodzi się od wartości kątów odpowiadających uśrednianym odcieniom do wartości współrzędnych kartezjańskich (x,y), uśrednia się oddzielnie wartości x i oddzielnie wartości y, po czym z ich wartościami średnimi „wraca się” na skalę kątową wyznaczając wartość średnią odcienia. Punkty achromatyczne ze względu na nieokreśloność odcienia są pomijane przy uśrednianiu. Bardziej

matematycznie wyrafinowana, rekurencyjna metoda wyznaczania wartości średniej i wariancji odcienia została przedstawiona w [2].

Przestrzeń IHS, mimo swego zorientowania na postrzeganie barw przez człowieka, nie jest percepcyjnie równomierna. Oznacza to, że zmiana odcienia H o np. 10° może wywołać większą percepcyjnie zmianę w niektórych częściach koła barw niż w innych. Przestrzeń ta zawiera również inne uproszczenia w porównaniu z ludzką percepcją barwy. Przykładowo całkowicie nasycone barwy o różnych odcieniach nie mają w rzeczywistości tej samej wartości intensywności (jasności), jak to ma miejsce w przypadku modeli HSV ($V=1$) i HLS ($L=0,5$), np. żółty jest zawsze jaśniejszy niż niebieski.

Pomimo wymienionych powyżej wad przestrzeń IHS ma również liczne zalety. Można do nich zaliczyć oddzielenie informacji achromatycznej od informacji chromatycznej. Obiekty achromatyczne mogą być opisywane za pomocą intensywności I (H jest nieokreślone) i separowane od obiektów chromatycznych za pomocą nasycenia ($S=0$). Ponieważ składowe IHS odpowiadają ludzkiemu intuicyjnemu rozumieniu barwy, dlatego mogą być stosowane do nazywania barw w bazie wiedzy, co pozwala stosować wiedzę deklaratywną (ramy, reguły produkcji itp.) w analizie obrazów barwnych.

Szczególne znaczenie dla zastosowań ma [2,12]:

- niezmienniczość odcienia ze względu na zmianę natężenia oświetlenia:

$$H(\mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B}) = H(k\mathbf{R}, k\mathbf{G}, k\mathbf{B}) \quad (7)$$

- niezmienniczość nasycenia ze względu na zmianę natężenia oświetlenia:

$$S(\mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B}) = S(k\mathbf{R}, k\mathbf{G}, k\mathbf{B}) \quad (8)$$

- niezmienniczość odcienia ze względu na zmianę nasycenia:

$$H(\mathbf{R}, \mathbf{G}, \mathbf{B}) = H(\mathbf{R} + \mathbf{a}, \mathbf{G} + \mathbf{a}, \mathbf{B} + \mathbf{a}) \quad (9)$$

gdzie: $k \geq 0 \wedge (k\mathbf{R}, k\mathbf{G}, k\mathbf{B}) \in [0,255]$ oraz $\forall \mathbf{a}, (\mathbf{R} + \mathbf{a}, \mathbf{G} + \mathbf{a}, \mathbf{B} + \mathbf{a}) \in [0,255]$

Człowiek posiada zdolność rozpoznawania barwy niezależnie od zmian parametrów oświetlenia (natężenia, barwy itd.). Dwie pierwsze zależności dowodzą, że przestrzeń IHS

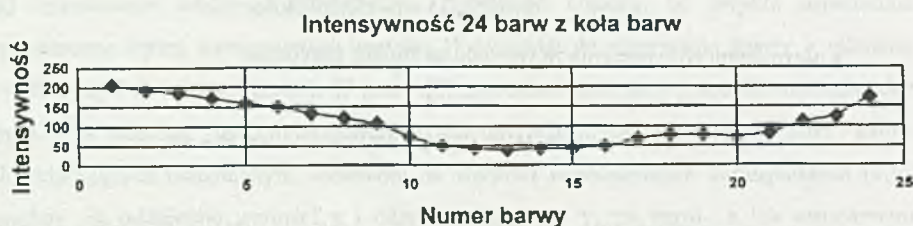
opisuje barwę w sposób zbliżony do człowieka, również jeżeli chodzi o niewrażliwość na zmiany natężenia oświetlenia. Ostatnia zależność odpowiada zjawisku niezmienności odcienia podczas zmniejszania się nasycenia w wyniku dodawania bieli do barwy. Prawdziwość powyższych wzorów można łatwo sprawdzić korzystając ze wzorów na odcień i nasycenie w transformacji RGB/IHS (3-6). W realizacji praktycznej niezmienniczość jest spełniona dopóty, dopóki wartości RGB pozyskiwane przez system wizyjny leżą w jego zakresie przetwarzania, tj. nie występuje obcinanie sygnału (*clipping*).

3. IHS w rozpoznawaniu obiektów

Zastosowanie barwy w systemach rozpoznawania obiektów wynika głównie z następujących powodów:

- większość systemów wizyjnych w organizmach żywych potrafi rozróżnić więcej barw niż poziomów szarości,
- dla sceny znajdującej się w zmiennych warunkach oświetleniowych cechy barwne mogą być mniej wrażliwe na ich zmianę niż cechy intensywnościowe,
- barwa może być jedyną cechą pozwalającą rozróżnić jednakowo oświetlone obiekty barwne nie różniące się ani kształtem, ani rozmiarami.

Rolę barwy w poszczególnych etapach rozpoznawania obiektów przedstawiono szerzej w pracach [8,10,11]. Przydatność przestrzeni IHS w procesach segmentacji obrazu i rozpoznawania obiektów wynika z faktu, że granice obiektów są bardziej skorelowane z różnicami w odcieniu niż w intensywności.



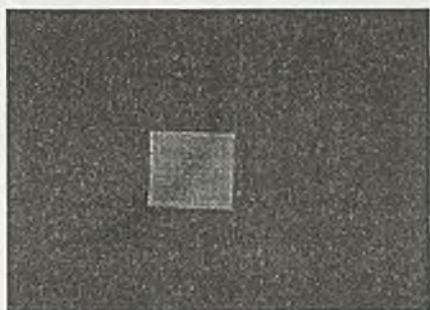
Rys.2. Intensywność (poziom szarości) 24 próbek z koła barw
 Fig.2. The intensity (grey level) of 24 samples from colour circle

Z drugiej strony wartość odcienia jest mało wrażliwa na występujące w obrazie odbłyski (*highlights*), cienie i zmiany orientacji powierzchni obiektów (*shading*) [12]. Wynika stąd, że odcień i nasycenie mogą odgrywać istotną rolę w rozpoznawaniu obiektów. Intensywność ma dużo mniejsze znaczenie. We wczesnej fazie rozwoju barwnej wizji komputerowej próbowano rozpoznawać objekty barwne na podstawie intensywności [1]. Rozróżnialność barw na skali poziomów szarości jest słaba, co ilustruje poniższy wykres [6], który przedstawia intensywność próbek barw z 24-elementowego koła barw. Widać, że prawie dla każdej barwy z koła barw istnieje na nim barwa o zbliżonej intensywności.

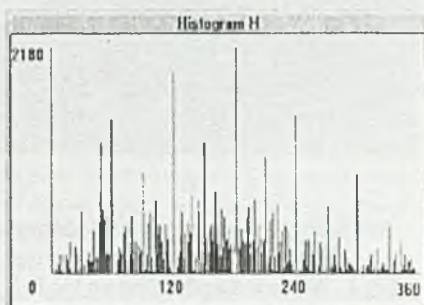
3.1. Detekcja obiektu o znanej barwie metodą progowania oknowego

Dysponując obrazem barwnym o składowych IHS można przeprowadzić progowanie oknowe (*window thresholding*) na każdej składowej, na parze składowych np. na płaszczyźnie H-S, czy w całej przestrzeni IHS. Znając zakres odcienia obiektu, otrzymuje się w wyniku progowania oknowego na kole odcieni obraz binarny przedstawiający sylwetkę obiektu.

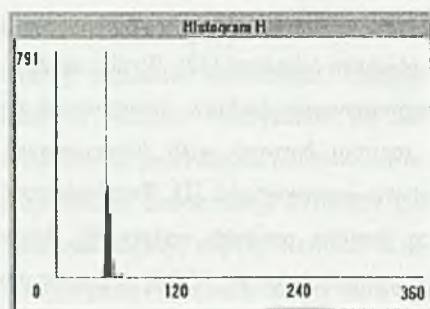
Poniżej przedstawiono przykład progowania obrazu przedstawiającego żółty obiekt na ciemnym (czarnym) tle (rys.3a). Histogram H dla takiego obrazu zawiera „słupki” rozłożone na całej skali odcieniowej, chociaż można było oczekiwać jednego „słupka” w okolicach $H=60^\circ$ (odcień żółty) (rys.3b). Przyczyną są piksele tła, które w rzeczywistości w wyniku niedokładnego zbalansowania czerni i szarości w systemie wizyjnym są pikselami o bardzo różnych odcieniach (pełna skala) i niskim nasyceniu. Dlatego zgodnie z sugestią zawartą w [4] do budowy histogramu H użyto pikseli, których nasycenie przekracza pewien próg. Przyjęto $S \geq 0,20$. Wynik (rys. 3c) odpowiada oczekiwaniom. Ostateczny rezultat binaryzacji obrazu barwnego w oparciu o próg oknowy wyznaczony przez histogram odcieniowy pokazano na rys. 3d.



a)



b)



c)

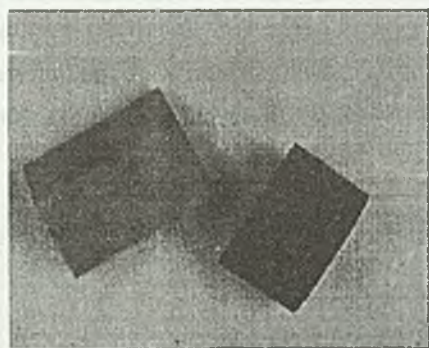


d)

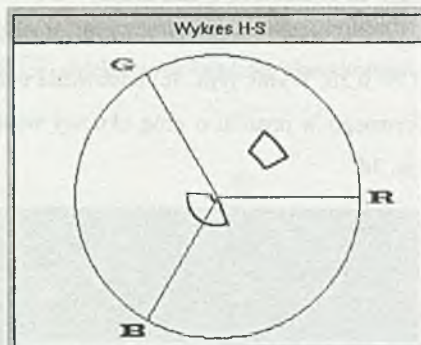
Rys.3. Progowanie oknowe obrazu odcieniowego: a) monochromatyczna wersja obrazu barwnego, b) histogram odcieniowy, c) „poprawiony” histogram odcieniowy, d) obraz barwny po binaryzacji

Fig.3. Window thresholding of the hue image: a) grey-level version of colour image, b) hue histogram, c) „corrected” hue histogram, d) colour image after binarisation

Znajomość zakresu odcienia i nasycenia dla obiektu pozwala na bardziej niezawodne progowanie oknowe na płaszczyźnie H-S. Wielokrotne stosowanie progowania służy rozpoznawaniu kolejnych obiektów o różnych barwach. Niewrażliwość odcienia i nasycenia na zmiany natężenia oświetlenia sceny i orientacji powierzchni obiektów zwiększa praktyczną przydatność metody. Na rys.4a pokazano obraz sceny złożonej z 2 obiektów: żółtego i niebieskiego. Rzuty klasterów reprezentujących te obiekty w przestrzeni IHS na płaszczyznę H-S (rys.4b) są rozłączne, co decyduje o prawidłowej detekcji tych obiektów w obrazie.



a)



b)

Rys.4. Progowanie oknowe na płaszczyźnie H-S: a) monochromatyczna wersja obrazu barwnego, b) rzuty klasterów reprezentujących obiekty na płaszczyznę H-S

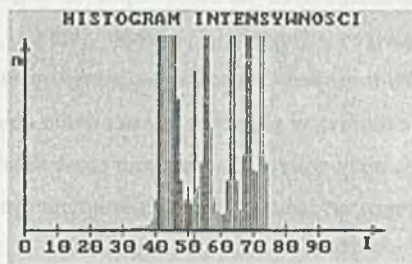
Fig.4. Window thresholding on the H-S plane: a) grey-level version of colour image, b) projections of clusters representing objects on H-S plane

3.2. Rozpoznawanie obiektów jednobarwnych

Dysponując informacją o barwie tła sceny, można znacznie uprościć etap segmentacji, przy założeniu że obiekty mają barwy chromatyczne i różne od barwy tła. I tak segmentację można sprowadzić do progowania histogramu I (tło ciemniejsze niż obiekty), progowania histogramów I oraz S (tło jaśniejsze niż obiekty) lub pełnego progowania w przestrzeni IHS. W tym ostatnim przypadku program musi dysponować składowymi IHS tła. Segmentacja pozwala oddzielić piksele należące do segmentów (obiektów) od pikseli należących do tła. Rozpoznawanie obiektów jednobarwnych może nastąpić na podstawie cech kształtowych segmentu i odcienia uśrednionego w sąsiedztwie środka ciężkości każdego segmentu (obektu) [5].



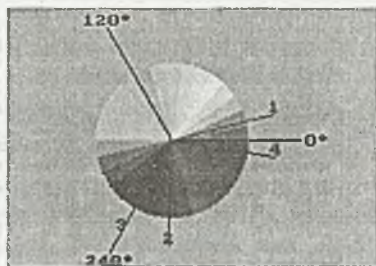
a)



b)



c)



d)

Rys.5. Rozpoznawanie obiektów w wyniku progowania histogramu I, wyznaczenia średniego odcienia i cech kształtowych: a) monochromatyczna wersja obrazu barwnego, b) histogram I, c) obraz barwny po binaryzacji, d) średnie odcienie rozpoznanych obiektów

Fig.5. Object recognition based on intensity histogram thresholding and average hue and shape features calculating: a) grey-level version of colour image, b) intensity histogram, c) colour image after binarisation, d) average hues of recognised objects

Na rys.5a przedstawiono następującą scenę: na ciemnozielonym tle znajdują się 4 obiekty (1-pomarańczowy, 2-jasnoróżowy, 3-jasnoniebieski, 4-żółty). Ponieważ intensywność

tła jest zdecydowanie niższa niż intensywność obiektów, to zastosowano progowanie histogramu intensywności (rys.5b). W wyniku binaryzacji i etykietowania (*labeling*) otrzymano obraz przedstawiony na rys. 5c. Ostatecznego rozpoznawania obiektów dokonano wyznaczając średnie wartości H , co przedstawiono na kole odcieni (rys.5d).

4. Podsumowanie i kierunki dalszych badań

Nie istnieje jedna optymalna przestrzeń barw. Również w procesie rozpoznawania obiektów na podstawie barwy można korzystać z różnych przestrzeni barw. Intuicyjność przestrzeni IHS pozwala na efektywne wykorzystanie progowania histogramów poszczególnych jej składowych do segmentacji obrazów i rozpoznawania obiektów. W dalszych badaniach należy ocenić przydatność najnowszych, aproksymujących równomierność percepcyjną wersji przestrzeni IHS (przestrzeń HVC, TekIIVC firmy Tektronix) w procesie rozpoznawania obiektów. Ważne zadanie może stanowić określenie, jak duży wpływ na niezmienniczość składowych HS względem zmian oświetlenia i wyniki rozpoznawania ma kalibracja kolorymetryczna systemu wizyjnego.

LITERATURA

1. Chen M.J., Milgram D.L.: Binary Color Vision. Proc. of 2nd IC on RoViSeC, Stuttgart 1982, pp.293-306.
2. Crevier D.: Computing statistical properties of hue distributions for image analysis. SPIE vol.2055, Intelligent Robots and Computer Vision XII, 1993, pp.613-623.
3. Frey H.: Digitale Bildverarbeitung in Farbräumen. Technische Universität München, praca doktorska, 1988.
4. Gong Y., Sakauchi M.: Detection of Regions Matching Specified Chromatic Features. Computer Vision and Image Understanding, vol.61, no.2, 1995, pp.263-269.
5. Kocot G.: Rozpoznawanie obiektów w systemie barwnej wizji komputerowej. Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, praca dyplomowa, Gliwice 1995 (praca nie publikowana).
6. Palus H.: Tworzenie skali barw w systemie wizji komputerowej do odczytu wielobarwnego rysunku mozaikowego. Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, praca doktorska, Gliwice 1990 (praca nie publikowana).
7. Palus H.: Colour Spaces in Computer Vision. Machine GRAPHICS and VISION, vol.1, no.3, 1992, pp.543-554.
8. Palus H., Bereska D.: Segmentacja obrazów w przestrzeni IHS: problem przenoszenia informacji kształtowej. Prace IPI PAN, z.772, Warszawa 1995.

9. Palus H., Bereska D.: The comparison between transformations from RGB colour space to IHS colour space, used for object recognition. Proc. of the 5th Int. Conf. on Image Processing and its Applications, Edinburgh 1995, pp.825-827.
10. Palus H.: Barwa w rozpoznawaniu obiektów przez system wizyjny robota przemysłowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Automatyka, z.116, Gliwice 1995, ss. 117-127.
11. Palus H.: Farbe in der Objekterkennung: Versuch der Systematisierung und ein Beispiel. Rehrmann V. /ed./, 1. Workshop Farbbildverarbeitung, Fachberichte Informatik 15/95, Universität Koblenz - Landau, 1995, pp. 17-20.
12. Perez F., Koch C.: Toward Color Image Segmentation in Analog VLSI: Algorithm and Hardware. International Journal of Computer Vision, vol.12, no.1, 1994, pp.17-42.
13. Tenenbaum J.M., Garvey T.D., Weyl S., Wolf H.C.: An Interactive Facility for Scene Analysis Research. Stanford Research Institute, AI Centre, Technical Note 87, January 1974.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Adam Mrózek

Wpłynęło do redakcji do 30.06.1996 r.

Abstract

The paper presents an idea of using IHS colour space for colour-based object recognition. Although most often the shape-based (geometrical, topological) features are used for object recognition, the colour features also are crucial for recognition of objects in visual images. The colour computer vision can play an important role in robotics in its broad meaning and visual inspection of industrial processes.

Different colour spaces (colour models, colour coordinate systems) are used for representing of colours. In the perception process man easily recognises basic attributes of colour: intensity (brightness, lightness) I, hue H and saturation S. IHS colour space is the one with components much less correlated than the components of RGB colour space. Another important advantage of the IHS space is good compatibility with the human's intuition. The advantages and disadvantages of IHS colour space and the singularities of RGB/IHS transformation are presented. The aim of applying IHS space may be separation of chromatic colours from achromatic colours using S values. Sometimes, instead of performing a 3-feature (RGB) based segmentation, only one feature (H) may be used, saving time. The H and S attributes, particularly useful for recognition, describe a colour object in the way independent of intensity changes.

For typical scenes the usefulness of window thresholding of I-, H- and S- histograms is shown. In segmentation stage the knowledge about colour of background can be used. The solutions of hue averaging problem are presented.

Finally the conclusion is presented considering advantages of using IHS colour space for object recognition. The directions of further investigations in this field are outlined.