

Henryk PALUS
Politechnika Śląska

BARWA W ROZPOZNAWANIU OBIEKTÓW PRZEZ SYSTEM WIZYJNY ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono znaczenie barwy dla rozpoznawania obiektów przez system wizyjny robota przemysłowego na tle roli, jaką odgrywa ona w percepcji wzrokowej człowieka. Dokonany szeroki przegląd literatury pokazuje różnorodność zastosowań systemów barwnej wizji komputerowej w rozpoznawaniu obiektów. Przedstawiony skrótowo przykładowy system rozpoznawania obiektów z wykorzystaniem barwy ilustruje kierunek prac prowadzonych w tym zakresie w Zakładzie Robotyki i Automatykacji Procesów Dyskretnych.

COLOUR OBJECT RECOGNITION IN THE VISION SYSTEM OF INDUSTRIAL ROBOT

Summary. In the paper basing on a role of colour in human visual system, the importance of colour in object recognition in robot vision system is shown. A comprehensive literature review shows the variety of applications of colour computer vision systems in object recognition. An example of colour- and shape-based object recognition system is presented. This example illustrates the direction of works in this field in Robotics and Discrete Events Automation Group.

DIE FARBE IN DER OBJEKTERKENNUNG IM BILDVERARBEITUNGSSYSTEM DES INDUSTRIEROBOTERS

Zusammenfassung. In der Arbeit wird die Bedeutung der Farbe in der Objekterkennung im Bildverarbeitungssystem des Industrieroboters auf dem Hintergrund ihr Rolle in der menschlichen visuellen Wahrnehmung vorgestellt. Die breite Literaturübersicht zeigt die Vielfaltigkeit der Anwendungen der Farbbildverarbeitungssysteme in der Objekterkennung. In Kurzfassung wird ein System für Objekterkennung mit der Farbeausnutzung präsentiert. Dieses Beispiel illustriert die Richtung der Forschungen in diesem Bereich im Lehrstuhl für Robotik.

1. Wprowadzenie

Wyposażenie robota przemysłowego w system wizyjny zwiększa jego elastyczność. Wśród głównych zadań, które wykonuje system wizyjny robota, należy wymienić:

- zadanie rozpoznawania obiektów,
- zadanie lokalizacji obiektów,
- zadanie określenia orientacji obiektów.

Rozpoznawanie (identyfikacja) obiektów stanowi podstawę dla systemu sterowania robota do wyboru ciągu dalszych operacji technologicznych. Lokalizacja dostarcza współrzędnych punktu końcowego trajektorii ruchu manipulatora robota, generowanej przez system sterowania. Określenie orientacji obiektu manipulacji pozwala odpowiednio zorientować chwytak robota.

Złożoność zadania rozpoznawania obiektów na podstawie analizy obrazu wynika z nieskończonej liczby reprezentacji obrazowych, które może "wytworzyć" pojedynczy obiekt. Dzieje się tak, ponieważ obraz obiektu zależy nie tylko od właściwości obiektu, ale również od interakcji energetycznych (światło, cienie) pomiędzy obiektem i środowiskiem, geometrii obrazowania, charakterystyk kamery itp.

Termin "rozpoznać obiekt" oznacza: odnieść go do jednej ze znanych wcześniej klas. Na zadanie rozpoznawania obiektów nakłada się najczęściej ograniczenia co do zakresu rozpoznawanych obiektów. Przykładem może być ograniczenie możliwości rozpoznawania do **obektów dwuwymiarowych** (ang. *2D objects*). Duża rola zadań 2D wynika z faktu, że również zadanie rozpoznawania **obektów trójwymiarowych** (ang. *3D objects*) można sprowadzić do kilku zadań 2D. Często spotykanym ograniczeniem jest ograniczenie kształtu rozpoznawanych obiektów np. do:

- obiektów o krawędziach prostoliniowych,
- obiektów o krawędziach krzywoliniowych,
- obiektów okrągłych,
- obiektów w postaci wielościanów.

W niektórych przypadkach nie nakłada się żadnych ograniczeń na kształt, mówiąc o rozpoznawaniu **obektów dowolnego kształtu** (ang. *free-form objects*). Ograniczenia mogą dotyczyć nie tylko kształtu obiektów, ale i właściwości optycznych ich powierzchni np. tzw. powierzchnie lambertowskie.

Istotne są również relacje pomiędzy rozpoznawanymi obiektami w scenie. Gdy obiekty częściowo się przesłaniają (ang. *partially occluded objects*), zadanie rozpoznawania jest dużo trudniejsze. Podobnie rzecz się ma, gdy obiekty się poruszają (ang. *moving objects*). Wtedy zadanie rozpoznawania może być pierwszym etapem **zadania śledzenia** (ang. *tracking*) obiektu. Ostatnio próbuje się rozpoznawać obiekty nie będące **obiettami sztywnymi** (ang. *non-rigid objects*).

Wśród rozpoznawanych obiektów można wyróżnić dwie rozłączne klasy, różniące się pochodzeniem:

- **obiekty naturalne** (np. owoce, drzewa, ludzie, twarze ludzi itd.),
- **obiekty sztuczne** (ang. *man-made objects*) (np. detale przemysłowe, znaki alfanumeryczne, znaki drogowe, pojazdy).

Obiekty rozpoznawane przez roboty należą na ogół do drugiej klasy.

W procesie rozpoznawania obiektów najczęściej wykorzystywane są cechy kształtowe (geometryczne), dlatego w literaturze dość często obok terminu rozpoznawanie obiektów występuje synonim **rozpoznawanie kształtu** (ang. *shape recognition*). Bardzo ważny jest właściwy wybór metody opisu kształtu obiektów, aby zapewnić pewne i szybkie rozpoznawanie. Istnieje literatura oceniająca przydatność poszczególnych cech kształtowych, których opisano do tej pory kilkaset, do rozpoznawania obiektów [9, 15, 17].

2. Rola barwy w rozpoznawaniu obiektów przez system wzrokowy człowieka

Barwa nie tylko dodaje piękna temu, co widzimy, ale i stanowi elementarny środek komunikacji międzyludzkiej oraz jeden z podstawowych czynników poznania i kształtowania środowiska człowieka. Percepcja barwy odgrywa tak samo ważną rolę w systemie wzrokowym człowieka, jak percepcja kształtu, ruchu i głębi. Barwa, obok kształtu, wielkości i tekstury, należy do najważniejszych czynników służących rozpoznawaniu obiektów. Szczególna rola barwy wynika z faktu, że większość systemów wzrokowych (biologicznych systemów wizyjnych) potrafi rozróżnić więcej barw niż poziomów szarości. Dla ludzkiego systemu wzrokowego gęstość informacji pozyskiwana przy jednakowej rozdzielczości przestrzennej jest kilka rzędów wyższa dla widzenia chromatycznego niż dla widzenia achromatycznego. Również w zmiennych warunkach oświetleniowych informacja barwna dostarcza bardziej "odpornych" (ang. *robust*) cech do rozpoznawania niż informacja jasnościowa [7].

Percepcja wzrokowa u człowieka sprowadza się do wydzielania "użytecznej informacji" z otaczającego go świata rzeczywistego. Barwa w procesie percepcji spełnia dwie istotne funkcje [4,7]:

- bierze udział w kształtowaniu konturów,
- umożliwia postrzeganie kategoryzujące (ang. *categorical perception*).

Podstawą postrzegania obiektów jest postrzeganie ich kształtu poprzez percepcję konturów. W świecie rzeczywistym najczęściej jednocześnie występują różnice w składowych chromatycznych i achromatycznych (luminancyjnych) barw obiektów znajdujących się w polu widzenia. Dlatego większość konturów w obrazie jest formowana przez ich złożenie. Małe straty informacji konturowej w obrazach czarno-białych świadczą wyraźnie o dominacji konturów achromatycznych. Fakt, że przez długi czas zadawano się fotografią, filmem i telewizją czarno-białą, wskazuje na to, że dużą część informacji zawartej w obrazie barwnym można wyekstrahować z czarno-białej wersji obrazu. Występują jednak sytuacje, gdy kontury chromatyczne stanowią wyłączną podstawę do percepcji konturów. Sytuacja taka powstaje, gdy w polu widzenia znajdują się obiekty izoluminacyjne. Na ogół jednak różnice chromatyczne "dokładają się" do konturów powstałych w wyniku różnic luminancji.

W życiu codziennym kojarzymy barwę z obiektami. Oczekujemy, że ten sam obiekt ma określony kolor gdziekolwiek i kiedykolwiek go spotykamy. Wśród zadań postrzegania kategoryzującego, opartych na wykorzystaniu percepcji barwy i ogólnoludzkiej wiedzy o barwie, można przykładowo wymienić:

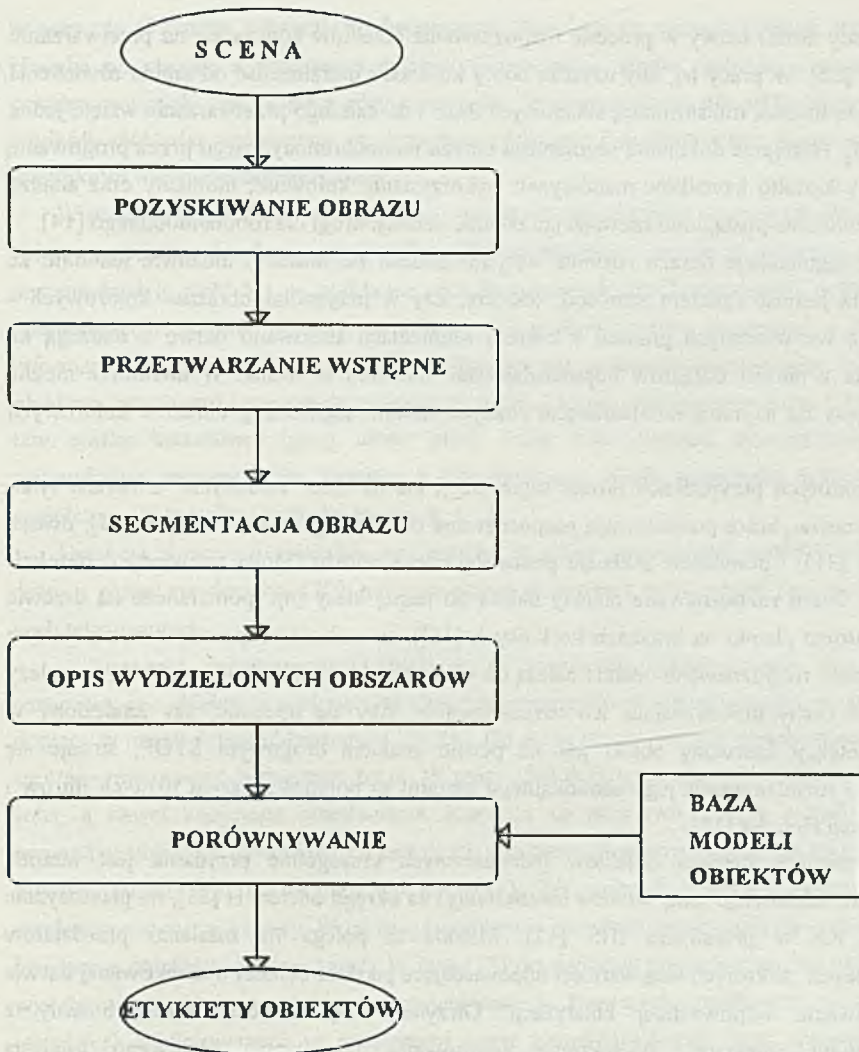
- ocenę jakości produktów spożywczych,
- ocenę dojrzałości owoców,
- ocenę temperatury rozgrzanego przedmiotu,
- poszukiwanie określonego samochodu na parkingu,
- rozróżnianie graczy przeciwnych drużyn sportowych,
- rozpoznawanie znaków drogowych i stanów sygnalizacji świetlnej.

Barwa większości obiektów zależy od materiałów, z których są one zbudowane, a właściwie od tego, jak pochłaniają energię świetlną w określonych przedziałach widma widzialnego. Barwa nie jest jednak cechą bezwarunkowo związaną z obiektem. Zależy ona nie tylko od rozkładu widmowego współczynnika odbicia obiektu, ale również składu widmowego źródła światła i czułości widmowych receptorów oka. Barwa obiektu znajdującego się w terenie ulegnie pewnej zmianie, gdy chmury zasłonią słońce lub obiekt wskutek swego ruchu znajdzie się w cieniu. System wzrokowy człowieka radzi sobie z tym problemem za pomocą niezbyt jeszcze dobrze zbadanego mechanizmu stałości barwy (ang. *colour constancy*). Potrafimy identyfikować obiekty w scenie na podstawie ich barwy, mimo zmian oświetlenia. Zjawisko stałości barwy wskazuje na to, że widzenie barwne jest procesem złożonym, w którym po dokonaniu przez system wzrokowy pomiaru barwy następuje przetwarzanie jego wyników.

3. Rola barwy w rozpoznawaniu obiektów przez system widzenia komputerowego

Barwny obraz zapewnia bogatszą informację o obiektach i dlatego jego analiza może uprościć ich rozpoznawanie i lokalizację. W procesie rozpoznawania obiektów można wyróżnić kilka zasadniczych etapów (rys.1). Wykorzystywanie barwy decyduje o specyfice poszczególnych etapów.

Etap pozyskiwania obrazów kolorowych wymaga stosowania jedno- lub trójprzetwornikowej kamery kolorowej, interfejsu wizyjnego pozwalającego pozyskiwać obrazy z 24 bitami informacji barwnej o każdym pikselu (8 bitów na każdą z barw podstawowych R, G, B) oraz oświetlacza ze źródłami światła o wysokim wskaźniku oddawania barwy. Jeżeli w danym zastosowaniu jest istotna wierność kolorymetryczna systemu wizyjnego, to wymaga ona dodatkowej kalibracji kolorymetrycznej kamery [6].



Rys.1. Zasadnicze etapy procesu rozpoznawania obiektów

Fig.1. General stages of the object recognition process

Etap przetwarzania wstępnego rozumiany jest najczęściej jako etap poprawy właściwości obrazu kolorowego (np. filtracja odszumiająca) lub etap przekodowania informacji barwnej do innej przestrzeni barw. O ile w zastosowaniach robotycznych unika się raczej dodatkowej czasochłonnej filtracji, to transformacja współrzędnych RGB na współrzędne innej przestrzeni barw [18,19] może pomóc w realizacji dalszych etapów procesu rozpoznawania obiektów. W niektórych przypadkach (np. RGB/HIS) istnieją już, działające w czasie rzeczywistym, konwertery sprzętowe.

Niekiedy udział barwy w procesie rozpoznawania obiektów kończy się na przetwarzaniu wstępnym [22]. W pracy tej, aby uzyskać dobry kontrast i niezależność od zmian oświetlenia zastosowano liniową transformację składowych RGB i do dalszego przetwarzania wzięto jedną składową I_2 . Następnie dokonano segmentacji obrazu monochromatycznego przez progowanie, a do oceny kształtu kawałków mandarynek wykorzystano: kołowość, momenty oraz analizę konturu. Podobnie postąpiono rozwiązując zadanie detekcji drogi dla robota mobilnego [14].

Przez segmentację obrazu rozumie się jego podział na obszary, możliwie jednolite ze względu na jasność (poziom szarości), teksturę, czy w przypadku obrazów kolorowych - barwę. Już we wczesnych pracach z zakresu segmentacji stosowano barwę z nadzieją na wydzielenie z obrazu obszarów odpowiadających obiektom w scenie. W literaturze można znaleźć opisy co najmniej kilkudziesięciu różnych technik segmentacji obrazów kolorowych [21,25].

W niektórych przypadkach proces segmentacji ma na celu "wydobycie" z obrazu tylko takich obszarów, które przedstawiają rozpoznawane obiekty (np. znaki drogowe [33], owoce cytrusowe [31]) i pominięcie podziału pozostałej części obrazu. Mówi się wtedy o **detekcji obiektów**. Jeżeli rozpoznawane obiekty należą do jednej klasy (np. pomarańcze na drzewie [26], kolorowe plamki na krążkach korkowych [16]), to zadanie rozpoznawania się na tym kończy. Jeżeli rozpoznawane obiekty należą do wielu klas (np. znaki drogowe [34]), to należy wyznaczyć cechy umożliwiające ich rozpoznawanie. Aby się upewnić, czy znaleziony w wyniku detekcji czerwony obiekt jest na pewno znakiem drogowym STOP, stosuje się dodatkowo rozpoznawanie jego ośmiokątnego kształtu za pomocą złożenia różnych filtrów i transformacji Hougha [12].

W zadaniach detekcji obiektów jednobarwnych szczególnie przydatna jest metoda **progowania oknowego** (ang. *window thresholding*) na okręgu odcieni H [23], na płaszczyźnie HS [26] lub w przestrzeni IHS [12]. Metoda ta polega na ustaleniu przedziałów współrzędnych, w których leżą wartości odpowiadające pikselom obiektu o detekowanej barwie i zastosowaniu odpowiedniej binaryzacji. Otrzymuje się wówczas obraz binarny z detekowanymi obiektami. Wielokrotne zastosowanie progowania oknowego pozwala rozpoznawać kolejno różne barwy opisane np. na płaszczyźnie HS (identyfikacja kodu paskowego na elementach elektronicznych [1]). Istnieją rozwiązania, gdzie progowanie odbywa się w innej przestrzeni np. rgb [31].

W zależności od potrzeb (złożoności modelu) można używać do opisu obszarów w obrazie różnych atrybutów barwnych i ich zestawów. Przykładowo dla przestrzeni IHS mogą to być [11,26]: przedział odcieniowy $H_{min} - H_{max}$, płaszczyzna HS lub HI. Proponowano również **sygnatury widmowe** (ang. *spectral signatures*) składające się z 6 cech barwnych (r, g, b, H1, H2, H3) [3].

Bardziej złożone zadania wymagają użycia, oprócz cech barwnych, również cech kształtowych i wielkościowych. Rozpoznawanie kolorowych pokrywek pojemników z lakierem

w aerozolu [3] może odbywać się dwuetapowo. Najpierw za pomocą kołowej transformacji Hougha na obrazie z poziomami szarości wyznacza się środki ciężkości i promienie kół przedstawiających, na rzucie z góry, pokrywki. W drugim etapie dla pikseli leżących wokół środków ciężkości wyznaczane są sygnatury widmowe i porównywane z wzorcami przez klasyfikator minimalnoodległościowy.

W pracy [27] przedstawiono problem sortowania ryb morskich według gatunków. Jeśli w zbiorze sortowanych ryb występuje tylko kilka gatunków, to można je sortować z wysoką niezawodnością (>90 %) na podstawie cech kształtowych. Jeżeli sortowaniu podlegają ryby kilkudziesięciu gatunków, to poza informacją kształtową trzeba skorzystać z dodatkowej informacji, np. barwnej. Specyficznym problemem jest zmienność kształtu ryby (nie jest ona obiektem sztywnym) i zmienność zabarwienia wzdłuż jej osi. Aby go rozwiązać, konstruuje się tzw. siatkę kształtową (ang. *shape grid*), która dzieli aktualną powierzchnię ryby na czworokątne segmenty. Dla każdego z kilkudziesięciu takich segmentów wyznacza się 2 współczynniki kształtu i wartości średnie R, G, B.

Detekcja złożonych obiektów, np. wątroby w scenie zawierającej podroby wołowe [8], drogi o różnej nawierzchni [30], może wymagać stosowania oprócz cech barwnych również cech teksturowych.

Trudność rozpoznawania obiektów na podstawie barwy istotnie wzrasta, gdy rozpoznawane obiekty są wielobarwne i/lub dynamiczne. Prace w tym kierunku rozpoczęły się dopiero w latach dziewięćdziesiątych [24,28]. Do opisu barwy obiektu wielobarwnego używa się trójwymiarowego histogramu barw. W pracy [24] dopuszcza się styk obiektów pomiędzy sobą, a nawet wzajemne przesłanianie. Korzysta się przy tym z cech kształtowych. W przypadku obiektów dynamicznych kształt ich reprezentacji obrazowych może ulegać zmianie wskutek ruchu (np. poruszający się człowiek), lub wskutek zmiany położenia obiektu względem statycznej kamery. W takiej sytuacji barwa pozostaje cenną cechą do rozpoznawania i śledzenia obiektów dynamicznych. W pracy [5] do śledzenia poruszającego się człowieka w wielobarwnym ubraniu użyto czterowymiarowych barwnych szablonów (ang. *colour templates*) zdefiniowanych w przestrzeni barw przeciwstawnych (ang. *opponent colour space*).

W etapie porównywania cech opisujących obszary z modelami obiektów obok klasycznych klasyfikatorów minimalnoodległościowych, bayesowskich [11] i liniowych klasyfikatorów Fishera [27] w ostatnich latach stosuje się również sieci neuronowe. W literaturze można znaleźć przykłady następujących zastosowań klasyfikatorów neuronowych w rozpoznawaniu obiektów:

- kontrola obecności elementów elektronicznych określonej barwy na płytkach drukowanych [10],
- rozpoznawanie rodzaju pojazdu na podstawie cech kształtowych i barwnych [35],
- rozpoznawanie kolorowych liter (sieć o strukturze 396-40-78 dla rozpoznawania liter i sieć o strukturze 3-40-5 dla rozpoznawania barwy liter) [32].

4. Przykładowe zadanie rozpoznawania obiektów z wykorzystaniem barwy

Poniżej przedstawiono wyniki uzyskane w ramach pracy dyplomowej [13], w której rozwiązywano konkretne zadanie rozpoznawania obiektów z wykorzystaniem barwy. W zadaniu tym przyjęto następujące założenia odnośnie do sceny:

- rozpoznawane obiekty są dwuwymiarowe, jednobarwne i chociaż są dowolnie rozmieszczone w scenie nie przestają się, ani nie dotykają,
- powierzchnie obiektów są powierzchniami lambertowskimi, tzn. odbijają światło równomiernie we wszystkich kierunkach,
- zbiór rozpoznawanych obiektów liczy 50 sztuk: 10 barw chromatycznych \times 5 kształtów (koło, trójkąt równoramienny, romb, kwadrat i strzałka),
- wielkość obiektów może ulegać zmianie,
- rozpoznawane obiekty występują na tle o znanej, jednolitej barwie.

Sformułowano również wymagania względem przebiegu procesu rozpoznawania obiektów:

- do segmentacji obrazu i rozpoznawania obiektów należy wykorzystać składowe przestrzeni barw IHS (I - intensywność, H - odcień, S - nasycenie),
- uniezależnić wyniki rozpoznawania od barwy tła sceny,
- zminimalizować czas procesu rozpoznawania obiektów.

Proces rozpoznawania przebiegał według schematu z rys.1. Zgodnie z wymaganiami dokonywano najpierw transformacji obrazu kolorowego z przestrzeni RGB do przestrzeni IHS. Ponieważ nie istnieje żaden międzynarodowy standard wzorów transformujących RGB/IHS, to wybrano wersję transformacji znaną jako HLS [20]. Na etap segmentacji złożyła się wstępna binaryzacja obrazu kolorowego poprzez progowanie w przestrzeni IHS, a następnie właściwa segmentacja (etykietowanie) obrazu binarnego. Binaryzacja pozwoliła oddzielić piksele należące do obiektów od pikseli należących do tła. Przyjęto tutaj, podobnie jak w [2,3], założenie, że barwa każdego z obiektów różni się od barwy tła. Dziedzina, w której odbywało się progowanie, zależała od barwy tła. I tak dla:

- tła czarnego - progowanie histogramu I,
- tła szarego lub białego - progowanie I oraz S,
- tła barwnego - progowanie w przestrzeni barw IHS.

Segmentację obrazu binarnego przeprowadzono przy użyciu klasycznej metody rozrostu obszaru (ang. *region growing*). Do opisu poszczególnych obszarów użyto zarówno cech kształtowych (niezmiennik momentowy $M1$ [29]), jak i barwnych (odcień H). Podczas obliczania wartości niezmiennika wyliczano również momenty pierwszego rzędu, co pozwoliło wyznaczać środki ciężkości obiektów. W otoczeniu środka ciężkości uśredniano wartości odcienia, co w przypadku jednobarwnego i chromatycznego obiektu pozwalało

określić jego barwę. Zastosowanie tak prostych modeli obiektów (2 cechy) umożliwiło szybkie porównywanie rozpoznawanych obszarów z modelami obiektów.

Program komputerowy realizujący opisaną tutaj metodę rozpoznawania obiektów przy użyciu barwy spełnił sformułowane powyżej założenia i wymagania dla obrazów kolorowych scen o różnym tle i różnie oświetlonych.

5. Wnioski

Barwa może odgrywać istotną rolę w procesie rozpoznawania obiektów; nie tylko na etapie segmentacji, ale i podczas porównywania obrazowych obszarów z modelami obiektów. Istotne znaczenie ma dobór właściwych atrybutów barwy (przestrzeń barw) i ich wspólne wykorzystanie z odpowiednimi cechami kształtowymi i teksturowymi. Jeżeli dla badanej sceny można mówić o tle, to jego znajomość może znacznie uprościć rozpoznawanie obiektów.

LITERATURA

- [1] Asano T., Kenwood G., Mochizuki J., Hata S., Color image recognition using chrominance signals, Proc. 8th IC on Pattern Recognition, 804-807, Paris 1986.
- [2] Bajon J., Cattoen M., Liang L., Identification of multicoloured objects using a vision module, Proc. 6th IC on Robot Vision and Sensory Control, 21-30, Paris 1986.
- [3] Berry D.T., Colour recognition using spectral signatures, Pattern Recognition Letters vol.6, 69-75, 1987.
- [4] Boynton R.M., Human color perception, in: Leibovic K.N. /ed./, Science of Vision, Springer-Verlag, Berlin 1990.
- [5] Brock-Gunn S., Ellis T., Using colour templates for target identification and tracking, Proc. BMVC'92, 207-216, Springer-Verlag, Berlin 1992.
- [6] Frey H., Palus H., Sensor calibration for video - colorimetry, Proc. of Workshop on Design Methodologies for Microelectronics and Signal Processing, Gliwice - Cracow, 109-113, 1993.
- [7] Gershon R., Aspects of perception and computation in color vision, CVGIP, 32(2), 244-277, 1985.
- [8] Gibbons R.J., Williams D.J., Colour and texture analysis for automated sorting of eviscera, Proc. of BMVC'91, 327-330, Springer-Verlag, Berlin 1991.
- [9] Hogg D.C., Shape in machine vision, Image and Vision Computing, vol.11, no.6, 309-316, July/August 1993.
- [10] Jia J., Chua H.-C., Coloured object identification with neural networks: a case study, Proc of 3rd ICARCV, 1314-1318, Singapore 1994.
- [11] Kay G., de Jager G., A versatile colour system capable of fruit sorting and accurate object classification, Proc. of the COMSIG'92, 145-148, Cape Town 1992.
- [12] Kehtarnavaz N., Griswold N.C., Kang D.S., Stop-sign recognition based on color/shape processing, Machine Vision and Applications, no. 6, 206-208, 1993.

- [13]Kocot G., Rozpoznawanie obiektów w systemie barwnej wizji komputerowej, praca dyplomowa, Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.
- [14]Kuan D., Phipps G., Hsueh A.-C., Autonomous robotic vehicle road following, IEEE Trans. on PAMI, vol.10, no.5, 648-658, September 1988.
- [15]Marshall S., Review of shape coding techniques, Image and Vision Computing, vol.7, no.4, 281-294, 1989.
- [16]Muge F., Pina P., Guimaraes C., Applications of image analysis techniques to the characterization and quality control of natural resources, Proc. of CAIP'91, 254-259, 1991.
- [17]Palus H., Wyznaczanie współczynnika kompaktowości w systemach wizyjnej identyfikacji obiektów, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Automatyka, z.113, 259-270, Gliwice 1994.
- [18]Palus H., Systemy barwnej wizji komputerowej dla potrzeb robotyki, Materiały IV KK Robotyki, Prace Naukowe ICT PWr. z.94, 132-139, Wrocław 1993.
- [19]Palus H., Colour spaces in computer vision, Machine GRAPHICS and VISION, vol.1, no.3, 543-554, 1992.
- [20]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, 825-827, Edinburgh 1995.
- [21]Palus H., Bereska D., Segmentacja obrazów w przestrzeni IHS: problem przenoszenia informacji kształtowej, Prace IPI PAN, z.772, Warszawa 1995.
- [22]Sanchez R.T. et al., Colour image processing and artificial vision techniques, used for detection, segmentation and identification satsuma slices, Proc. of 3rd ICARCV, 1955-1959, Singapore 1994.
- [23]Sandini G., Buemi F., Massa M., Zucchini M., Visually guided operations in green-houses, Proceedings IROS '90, IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems '90, vol.1, 279-85, IEEE, New York 1990.
- [24]Schettini R., Multicolored object recognition and location, Pattern Recognition Letters vol.15, 1089-1097, November 1994.
- [25]Skarbek W., Segmentation of colour images, Prace IPI PAN, z. 749, 1994.
- [26]Slaughter D.C., Harrell R.C, Colour vision in robotic fruit harvesting, Trans. of ASAE, vol. 30 (4), 1144-1148, July-August 1987.
- [27]Strachan N.J.C., Recognition of fish species by colour and shape, Image and Vision Computing, vol.11, no.1, 2-10, 1993.
- [28]Swain M.J., Ballard D.H., Color indexing, IJCV, vol.7, 11-32, November 1991.
- [29]Tadeusiewicz R., Systemy wizyjne robotów przemysłowych, WNT, Warszawa 1992.
- [30]Thorpe C., Hebert M.H., Kanade T., Shafer S.A., Vision and navigation for the Carnegie-Mellon Navlab, IEEE Trans. on PAMI, vol.10, no.3, 362-373, May 1988.
- [31]Weill R., Nes Y., Use of colour vision for citrus plucking, in: G. Halevi /ed./, Robotic Systems and AMT, 161-170, Elsevier, Amsterdam 1990.
- [32]Yamaba K., Miyake Y., Color character recognition method based on human perception, Optical Engineering, vol.32, no.1, 33-40, 1993.
- [33]Yang H., Halme A., Fast detecting landmarks on color image, Proc. of ICEIT, Beijing 1994.

- [34] Yang H., Halme A., Fast recognizing landmarks on color image, Proc of 3rd ICARCV, 395-399, Singapore 1994.
- [35] Zhang H.J. et al., Moving object detection, tracking and recognition, Proc of 3rd ICARCV, 1990-1994, Singapore 1994.

Recenzent: Doc.dr hab.inż. Wojciech Mokrzycki

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1995 r.

Abstract

The paper presents an idea of a robot vision system for colour-based object recognition. The very problem of object recognition can be very complex (2D or 3D objects, rigid or non-rigid objects, static or moving objects, partially occluded objects, natural or man-made objects etc.). 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. Different colour spaces (colour models, colour coordinate systems) are used for representing of colours. For example: IHS colour system (intensity, hue, saturation) 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 H and S attributes, particularly useful for recognition, describe a colour object in the way independent of intensity changes.

Man makes use of colour in different realized tasks. Colour is one of the features recognized in human visual perception process, such as edges, gray levels, shadows etc. Some of the tasks - so-called categorical perception tasks - may be fulfilled more efficiently when colour and knowledge of object colours are involved. An example is the task of searching a particular book on a bookshelf: knowing its cover colour one may find it more easily. Another example is using colour to wire and pipe coding. Colour recognition is an important function in quality control of coloured objects. In case of objects of equal shape and size colour may be the only feature enabling their recognition.

The presented review of applications of colour-based object recognition shows the role of colour in basic stages of this process (colour image acquisition, preprocessing, image segmentation, description of extracted regions, matching). The growing importance of neural networks in matching stage of this process is stressed.

An example of the problem of colour- and shape-based 2D object recognition is presented. The preprocessing stage contained: the median filtering of RGB image and the transformation from RGB to IHS (HLS version of this transformations). In segmentation stage (thresholding in IHS space and region growing method) the knowledge about colour of background is used. The moment invariant M1 and hue H as features used for matching are applied.

All of the discussed algorithms and applications show that the colour introduces the new quality for object recognition and reduces the ambiguity of recognition process. Finally the conclusion is presented considering advantages of using colour features for object recognition.