ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: AUTOMATYKA z.101 Nr kol.1083

Henryk Palus
Politechnika Śląska

MODEL I BADANIA BARWOCZUŁEGO SYSTEMU SENSORYCZNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono model barwoczułego systemu sensorycznego opartego na wykorzystaniu obrazowego czujnika barwy. Dla tego systemu pokazano możliwości tworzenia skal barw oraz ich podstawowe właściwości.

1. Wstęp

Nowoczesne roboty przemysłowe powinny mieć możliwości adaptacyjne. W tym celu wyposaża się je w odpowiednie systemy sensoryczne, które dostarczają robotowi informacji zarówno o stanie otaczającego go środowiska, jak i o stanie jego własnego systemu manipulacyjnego. Celowo będzie używane pojęcie systemu, a nie układu sensorycznego, ponieważ bardziej wskazuje ono na jego złożoność. Coraz częściej bowiem system sensoryczny zawiera wiele czujników różnych wielkości fizycznych działających na różnych zasadach oraz układy wspomagające pozyskiwanie i przetwarzanie informacji (np. oświetlenie sceny i dodatkowy procesor w wizyjnym systemie sensorycznym). Od pewnego czasu coraz częściej pojawiają się informacje o systemach sensorycznych, w których podstawową rolę odgrywa barwa.

2. Barwa [1,2]

Barwa jest charakterystyką percepcji wzrokowej, która pozwala rozróżniać promieniowanie świetlne nie tylko na podstawie jego intensywności, ale również i składu widmowego. Określenie to oddaje sens bardziej precyzyjnej definicji barwy przyjętej przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową (CIE) [3]. Z badań neurofizjologów i psychofizjologów wynika związek zjawiska widzenia barwnego z budową anatomiczną siatkówki oka (łac. *retina*), a w szczególności z występowaniem w siatkówce, obok pręcików (łac. *radii*), także receptorów zwanych czopkami (łac. *coni*). Za pomocą bezpośrednich pomiarów stosunkowo niedawno (1964 - Brown P., Wald G. i in.) potwierdzono istnienie 3 rodzajów fotopigmentów (R,G,B) zawartych w czopkach, które reagują na różne zakresy widma. Reakcje fotochemiczne w czopkach wywołują we włóknach nerwu wzrokowego (łac. *fasciculus opticus*) impulsy biopradów

które przekazane do kory mózgowej (tzw. kora wzrokowa, łac. *area striata*) wywołują wrażenie barwy. Wrażenie to jest wypadkową reakcji 3 rodzajów czopków na bodziec. Przedstawione powyżej wyjaśnienie zjawisk związanych z widzeniem barwnym jest oparte na najbardziej uznanej teorii widzenia barw tj. tzw. trójbodźcowej (trójskładnikowej) teorii powstałej w wyniku prac T.Younga (1807) i H.Helmholtza (1852).

Tak więc barwa nie jest zwyczajną wielkością fizyczną charakteryzującą obiekt, tak jak np. temperatura lub masa, lecz jest wrażeniem zarejestrowanym przez oko, a więc uzależnionym od jego właściwości. Mimo tego psychofizycznego charakteru barwy, jej znaczenie dla nauki i przemysłu spowodowało powstanie metrologii barwy, traktowanej nieraz jako dział miernictwa przemysłowego.

Od czasów Helmholtza wiadomo, że dla każdej barwy można określić 3 charakterystyczne jej cechy; odcień, nasycenie i jaskrawość (dla ciał świecących samoistnie) oraz odcień, nasycenie i jasność (dla ciał świecących światłem odbitym lub przepuszczonym). Zgodnie z terminologią CIE można zdefiniować następujące pojęcia [3]:

- **odcień** – właściwość wrażenia wzrokowego, która spowodowała utworzenie nazwy barw takiej, jak: niebieska, zielona, żółta, purpurowa i inne,

- **nasycenie** – właściwość wrażenia wzrokowego umożliwiająca ocenę udziału barwy chromatycznej czystej we wrażeniu ogólnym,

- **jaskrawość** – właściwość wrażenia wzrokowego powodująca, że ciało wydaje się wysyłać więcej lub mniej światła,

- **jasność** – właściwość wrażenia wzrokowego powodująca, że ciało albo powierzchnia wydaje się przepuszczać lub odbijać przy rozpraszaniu większą lub mniejszą część światła padającego.

Odcień i nasycenie składają się na złożone wrażenie zwane barwnością (chromatycznością). Tak więc barwę jako wrażenie opisują dwa składniki: chromatyczność i jaskrawość (jasność).

Podejście do barwy jako do wielkości trójwymiarowej potwierdziły prawa addytywnego mieszania barw H.Grassmanna (1853), w szczególności pierwsze prawo Grassmanna, które stwierdza, że dla jednoznacznego określenia dowolnej barwy wystarczy określić udział 3 barw niezależnych w addytywnej mieszaninie wytwarzającej badaną barwę. Badania doświadczalne wykazały, że normalne widzenie barw jest trójchromatyczne w warunkach wystarczającej jaskrawości, wystarczającego czasu obserwacji i przy wystarczających wymiarach obiektu. Opierając się na prawach Grassmanna stworzono tzw.

kolorymetrię trójchromatyczną, której procedury znormalizowane przez CIE stosuje się powszechnie w metrologii barwy [1,2].

Barwa obiektu zależy jednak nie tylko od jego właściwości (dla obiektów przezroczystych od widmowego współczynnika przepuszczania, a dla nieprzezroczystych od widmowego współczynnika odbicia), ale również od rozkładu widmowego strumienia świetlnego padającego na obiekt i od parametrów systemu wzrokowego obserwatora. Dlatego znormalizowano rodzaje stosowanych źródeł światła (źródła normalne CIE), warunki oświetlenia i obserwacji (tzw. geometria pomiaru) oraz zdefiniowano stacjonarne w tych warunkach (widzenie czopkowe, pole widzenia 2°) właściwości systemu wzrokowego przeciętnego człowieka w postaci normalnego obserwatora kolorymetrycznego. Uzyskane w ten sposób funkcje składowe trójchromatyczne widmowe $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ w pełni określają właściwości normalnego obserwatora kolorymetrycznego CIE. Wszystko to służy obiektywizacji i zapewnieniu powtarzalności pomiarów kolorymetrycznych.

Można wyróżnić dwie podstawowe obiektywne metody wyznaczania składowych trójchromatycznych X,Y,Z:

- metoda widmowa,
- metoda trójchromatyczna.

Metoda widmowa jest metodą pośrednią, która polega na wyznaczeniu najpierw rozkładu widmowego $\phi(\lambda)$ bodźca barwowego, a następnie na wyliczeniu, w wyniku m.in. całkowania w zakresie całego widma, składowych trójchromatycznych. Jest to najdokładniejsza i uznana za podstawową, ale równocześnie czasochłonna, metoda pomiaru barwy. Najczęściej jednak stosowaną w przemyśle metodą jest metoda trójchromatyczna, która polega na ocenie promieniowania o wszystkich długościach fali z zakresu promieniowania widzialnego za pomocą fotodetektorów o charakterystykach widmowych skorygowanych do postaci funkcji składowych trójchromatycznych widmowych $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ lub $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$. Metodzie tej odpowiadają takie same równania, jak metodzie widmowej, tylko całkowanie odbywa się optycznie, a nie numerycznie.

3. Barwoczułe systemy sensoryczne (BSS)

Pod nazwą barwoczuły system sensoryczny (BSS) można rozumieć system sensoryczny, w którym występuje chociaż jeden czujnik barwy. W wyniku przeglądu literatury dotyczącej czujników barwy można stwierdzić, że istnieją dwie zasadnicze grupy tych czujników [4]:

- punktowe czujniki barwy (ang. one-point colour sensors),
- obrazowe czujniki barwy (ang. colour-imaging sensors).

Punktowy czujnik barwy-to najczęściej zespół 3 fotodetektorów z filtrami barwnymi o takich charakterystykach widmowych, że wypadkowe charakterystyki 3 kanałów czujnika odpowiadają charakterystykom $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$ [5,6]. W skład typowego systemu z punktowym czujnikiem barwy wchodzi także oświetlacz, np. halogenowy i skupiający układ optyczny. Technika światłowodowa stwarza możliwość nowych rozwiązań konstrukcyjnych dla takich czujników.

Światłowód nadawczy może dostarczać strumień świetlny ze źródła światła do badanego obiektu, a światłowody odbiorcze mogą transmitować strumień odbity selektywnie na powierzchnię fotodetektora. Uzyskany w ten sposób sygnał świetlny można przetwarzać na różne sposoby. Jedna z możliwości to doprowadzenie tego sygnału za pomocą rozgałęziacza światłowodowego do 8 filtrów interferencyjnych i 8 fotodiod [7]. Nowocześniejsze rozwiązanie oparte na tej samej zasadzie stanowi czujnik, w którym światło odbite od obiektu jest rozkładane przez pryzmat i pada na 8-elementową fotolinijkę CCD [8]. Sygnały uzyskane z poszczególnych elementów fotolinijki i sygnał sumacyjny służą do wyznaczenia wartości cech będących podstawą rozpoznawania barwy. System z takim czujnikiem jest w stanie rozpoznawać 20 różnych barw, przy czym błąd klasyfikacji wynosi 3 %. Połączenie nadawczo-odbiorczego kanału światłowodowego z miniaturowym spektrofotometrem i systemem mikrokomputerowym tworzy światłowodowy czujnik kolorymetryczny [9], który umożliwia dokładny pomiar barwy wyrażonej przez składowe trójchromatyczne X, Y, i Z. Światłowody zapewniają punktowym czujnikom barwy małe wymiary geometryczne, a w związku z tym możliwość zamontowania w chwytaku robota.

Postęp w zakresie technologii półprzewodnikowej rokuje nadzieje na miniaturyzację i integrację punktowego czujnika barwy [4]. Z amorficznego krzemu otrzymano fotodiody dryftowe, których czułość zależy nie tylko od długości fali padającego światła, jak dla fotodiody dyfuzyjnej, ale również od wartości przyłożonego do niej napięcia wstecznej polaryzacji. Pozwala to zmieniając napięcie wstecznej polaryzacji zmieniać charakterystykę fotodiody i w ten sposób uwrażliwiać fotodiodę na różne zakresy widma.

Wadą punktowych czujników barwy jest to, że mierzą one barwę obiektu tylko w bardzo wąskim zakresie pola widzenia. Natomiast obrazowe czujniki barwy są w stanie pozyskiwać z wysoką rozdzielczością barwny obraz sceny lub jej znacznego fragmentu. Podstawowym obrazowym czujnikiem barwy jest kamera telewizyjna: czarno-biała z filtrami R, G i B [10,11] lub kolorowa z wyjściem RGB [12,13]. System sensoryczny z obrazowym czujnikiem barwy jest systemem wizji komputerowej, co oznacza, że sygnał wizyjny z czujnika po dyskretyzacji podlega dalszemu cyfrowemu przetwarzaniu w systemie sterowania robota. Powstały w tym systemie opis wyjściowy sceny zawiera cechy obiektów (m.in. ich barwę) i opis relacji między obiektami.

Coraz więcej uwagi poświęca się BSS, mimo iż pozyskiwanie informacji

barwnej wymaga, w porównaniu z czarno-białą, odbioru i przetwarzania 3-krotnie większej ilości informacji. Zainteresowanie to wynika m.in. z tego, że rozpoznawana barwa obiektu nie zmienia się, dopóki nie ulegnie zmianie temperatura barwowa źródła światła oświetlacza. Natomiast jasność (poziom szarości), wyznaczana łatwiej niż barwa, zależy od odległości obiektu od źródła światła, kąta padania światła i światłości źródła światła. Poza tym istnieją sytuacje, w których barwa jest najefektywniejszym deskryptorem do rozpoznawania obiektu, np. robot - bibliotekarz rozpoznający książki na podstawie barwy okładki [12].

BSS znajdują największe zastosowanie w tych zrobotyzowanych systemach, gdzie obiekt manipulacji jest barwny (np. tabletka, butelka [12], kabel [14]), staje się barwny (np. powierzchnia lakierowana [8]) lub jest kodowany za pomocą barwy (np. rezystor, kondensator [13]). Tym niemniej zastosowanie BSS nie ogranicza się do przypadków związanych z pomiarem i rozpoznawaniem barwy obiektów. W pracy [15] przedstawiono i zweryfikowano koncepcję BSS, który wyznacza trójwymiarowy kształt obiektu niezależnie od jego barwy. W systemie tym wykorzystano kilka barwnych źródeł światła, które oświetlając obiekt wytwarzają wokół niego różnobarwne cienie. Analiza tych cieni za pomocą kamery TV kolorowej pozwala określić parametry geometryczne trójwymiarowego obiektu. W BSS z podobnym wielobarwnym oświetlaczem barwa może służyć do przestrzennego rozdzielenia strumieni świetlnych w ten sposób, że kilka kamer z odpowiednimi filtrami może pracować równocześnie [16].

4. Model BSS

Poniżej opisano model BSS, który wykorzystuje obrazowy czujnik barwy. Model składa się z:

- oświetlacza,
- kamery telewizji czarno - białej z obiektywem i filtrami barwnymi,
- interfejsu kamery telewizyjnej,
- mikrokomputera z monitorem.

W modelu zastosowano układ oświetleniowy oparty na urządzeniu do reprodukcji typu UR - 9711. Urządzenie to, zasilane z sieci prądu przemiennego, zawiera 4 stożkowe oprawy oświetleniowe do pracy z żarówkami 60 W, które oświetlają pulpit. Wykorzystano uniwersalną kamerę telewizji użytkowej typu TP-K 16 ze standardowym obiektywem typu Tevidon 1,4/25. Kamerę zamontowano w uchwycie urządzenia do reprodukcji, co daje możliwość płynnej zmiany odległości kamery od pulpitu. Na obiektyw za pomocą

specjalnej oprawki można nakładać filtry.

W celu pozyskiwania składowych trójchromatycznych można zastosować filtry R, G i B. Widmowe charakterystyki filtrów złożone z charakterystyką widikonu kamery powinny odpowiadać, charakteryzującym widzenie barwne człowieka, funkcjom składowym trójchromatycznym: $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ lub $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$. W praktyce jednak trudno osiągnąć takie charakterystyki. Korzysta się więc z filtrów, które w sposób przybliżony odpowiadają tym charakterystykom. Najczęściej są to filtry żelatynowe firmy Kodak Wratten (USA) oznaczone numerami: 25 (czerwony), 58 (zielony), 47 (niebieski) [10].

W niniejszym modelu zastosowano szklane filtry absorpcyjne firmy Schott (NRD). Z katalogu [17] wybrano 3 typy filtrów, które pokrywają łącznie cały zakres widma dla światła widzialnego, tj. 380 ÷ 780 nm. Są to następujące filtry:

- dla składowej R: filtr RG1 (nazwa stosowana przez producenta: jasnoczerwony),
- dla składowej G: filtr VG6 (nazwa stosowana przez producenta: jasnoniebieskozielony),
- dla składowej B: filtr BG12 (nazwa stosowana przez producenta: niebieski).

Grubość wykorzystywanych w modelu filtrów RGB wynosi odpowiednio: 1,6 mm, 1,9 mm, 2,0 mm. Charakterystyki widmowe współczynników przepuszczania dla filtrów o tych grubościach przedstawia rys.1.

Do pamiętania i cyfrowego przetwarzania informacji obrazowej użyto mikrokomputera klasy IBM PC, ponieważ w chwili obecnej jest to uniwersalny mikrokomputer do zastosowań profesjonalnych. Otwarta konstrukcja tego mikrokomputera umożliwiła umieszczenie karty interfejsu kamery telewizyjnej w jego gnieździe rozszerzającym. Wybrany prosty interfejs firmy Reflex [18] umożliwia m.in. dyskretyzację obrazu na 200*320 elementów, przy czym wartość sygnału dla każdego z elementów obrazu jest kwantowana na 256 poziomów szarości.

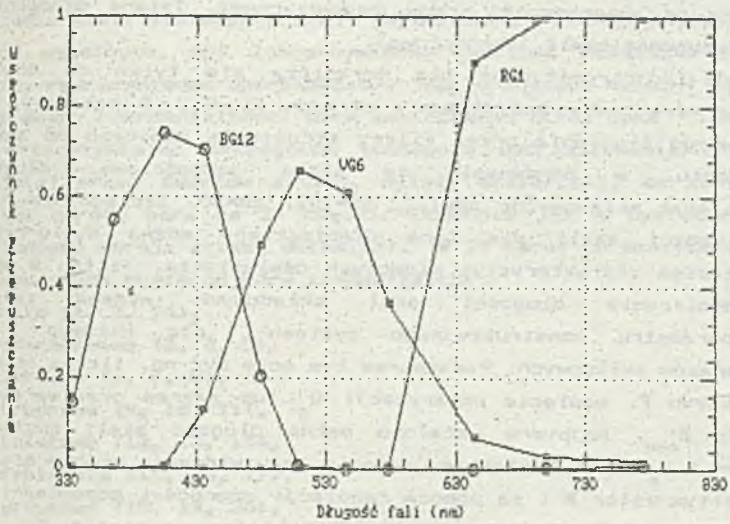
Niewątpliwą zaletą takiego modelu jest jego łatwa realizacja i niski koszt, ponieważ korzysta się z typowych, produkowanych seryjnie urządzeń (kamera, mikrokomputer). Zdecydowano się zastosować kamerę telewizyjną czarno-białej, a nie kolorowej, ponieważ ta pierwsza jest dużo tańsza i nie wymaga złożonego interfejsu.

W pracy [19] przedstawiono model matematyczny dla takiego BSS. Wynika z niego, że niektóre parametry konstrukcyjne systemu takie, jak:

- liczba otworu względnego obiektywu F,
- napięcie polaryzacji płytki sygnałowej widikonu U_p,
- zakres przetwarzania przetwornika a/c interfejsu U_{max}

pozwalają ukształtować w nim skalę barw, na której barwy estymowane są

pomocą poziomów szarości (tzw. jasnościowa skala barw).



Rys.1. Charakterystyki widmowe zastosowanych filtrów absorpcyjnych

Fig.1. The spectral transmission characteristics of applied absorption filters

3. Badania modelu BSS

Celem badań modelu BSS przedstawionego powyżej było uzyskanie odpowiedzi na pytanie: Jakie skale barw, w jaki sposób i o jakich właściwościach można utworzyć w opisanym BSS? W badaniach tych ograniczono się do sceny dwuwymiarowej. Podjęto próby utworzenia jednowymiarowej, zdefiniowanej powyżej, jasnościowej skali barw, oraz 2 skal trójwymiarowych: RGB (trójchromatycznej) i LHS (odcieniowo-jasnościowej).

Skrajne punkty na jasnościowej skali barw: l_{min} i l_{max} odpowiadają poziomom szarości dla czerni i bieli. Dlatego w polu widzenia kamery umieszczono 2 próbki barwne: czarną i białą, pochodzące z atlasu barw L.Gerickego [20], opisanego w dalszej części artykułu. Utworzony w ten sposób obraz zapisywano w pamięci komputera przy różnych wartościach F i U_p. Za pomocą odpowiedniego programu komputerowego wyznaczano dla tego obrazu l_{min} i l_{max}. Optymalna długość skali wyniosła 238 przy F=4 i U_p=20 V. Rozłączenie obwodu automatycznej regulacji czułości widikonu i polaryzacja jego płytki sygnałowej stabilnym napięciem U_p wynikało z

konieczności uniknięcia wpływu średniego poziomu szarości w obrazie na poziom szarości mierzonej barwy. Wyniki te uzyskano dla określonej odległości kamery od obserwowanej sceny dwuwymiarowej. Zmiana odległości powoduje zmianę długości skali jasnościowej.

Tworzenie skali trójchromatycznej nie ogranicza się tylko do doboru filtrów. Już pierwsze próby pozyskiwania obrazów R, G i B pokazały, że wskutek selektywnego tłumienia przez filtry strumienia odbitego od sceny ulega zmniejszeniu, w porównaniu ze skalą jasnościową, długość jednowymiarowych skal składowych: $\Delta R=122$, $\Delta G=102$, $\Delta B=30$. Szczególnie duże zmniejszenie długości skali dla toru niebieskiego można wytłumaczyć znacznym rozsunięciem charakterystyk widmowych oświetlacza, filtru B oraz widikonu. Ujednolicenie długości skal składowych wymaga zmiany odpowiedniego parametru konstrukcyjnego systemu dla każdego z 3 pozyskiwanych obrazów składowych. Parametrem tym może być np. liczba otworu względnego obiektywu F, napięcie polaryzacji U_p lub zakres przetwarzania przetwornika a/c U_{max}. Najpierw ustalono pełną długość skali poziomów szarości przy F=4 i U_p=20 V. Następnie, mając w polu widzenia próbkę białą, założono na obiektyw filtr R i za pomocą regulacji oporności odpowiedniego potencjometru na płytce interfejsu kamery TV obniżano napięcie U_{max} do takiego poziomu, przy którym dla białej próbki maksymalny poziom barwy R_{max} wynosił 255. Odpowiadająca mu wartość napięcia U_{max} była równa: 0,56 V. W ten sposób utworzono skalę dla składowej R. Aby w podobny sposób utworzyć skalę dla składowej G zmniejszono napięcie U_{max} do wartości 0,42 V. Natomiast uzyskanie pełnej skali dla składowej B wymagało oddziaływania nie tylko na U_{max} (zmniejszono je do najmniejszej osiągalnej wartości 0,28 V), ale również na F, której wartość zmniejszono do 1,9.

Trzecią skalą tworzoną w tym BSS jest skala zbudowana w oparciu o przestrzeń barw LHS, gdzie L - jasność, H - odcień i S - nasycenie. Ze względu na interesujące właściwości istnieją już BSS wykorzystujące tę skalę [13,14,21]. Utworzenie skali LHS wymaga jedynie dokonania transformacji RGB na LHS. Może to być zrealizowane na drodze sprzętowej (produkowane są odpowiednie układy scalone [22]) lub programowej. W niniejszych badaniach uruchomiono program wykonujący transformację dla każdego piksela obrazu RGB według wzorów zawartych w [13].

Jedną z podstawowych własności metrologicznych rozpatrywanego BSS, decydujących o zakresie jego zastosowań, jest rozróżnialność barw. Jest to wielkość pochodząca z badań nad systemem widzenia barwnego człowieka; dla przeciętnego człowieka sięga wartości rzędu 10^7 barw [2]. Dla BSS rozróżnialność zależy od rodzaju skali barw w nim ukształtowanej. W celu ilościowej oceny rozróżnialności barw można zdefiniować wskaźnik rozróżnialności barw n. Wskaźnik ten, dla systemu z określoną skalą barw i danego zbioru próbek barwnych, będzie równy liczebności największego podzbioru próbek jednoznacznie rozróżnialnych na tej skali. Jednoznaczna

rozróżnialność, rozumiana tutaj deterministycznie, będzie mieć miejsce, kiedy "prążki" (w przypadku skali jednowymiarowej) lub klastery (w przypadku skali wielowymiarowej) odpowiadające różnym próbkom nie będą mieć części wspólnych. Aby zobiektywizować wartość wskaźnika n, próbki barw powinny reprezentować uporządkowany (np. w postaci atlasu) system barw.

Do oceny rozróżnialności barw zastosowano atlas barw L.Gerickego [20]. Nie przedstawiając szczegółów koncepcji uporządkowania przestrzeni barw przyjętej przez twórców atlasu, należy stwierdzić, że zastosowano w nim podział okręgu barw na 24 części (podobnie jak w systemie DIN 6164 i w podstawowej wersji atlasu Ostwalda). Te 24 barwy chromatyczne należące do 8 następujących obszarów barw zasadniczych:

- żółte (1, 2, 24),
- pomarańczowe (3, 4, 5),
- czerwone (6, 7, 8),
- purpurowe (9, 10, 11),
- fioletowe (12, 13, 14),
- niebieskie (15, 16, 17),
- turkusowe (18, 19, 20),
- zielone (21, 22, 23).

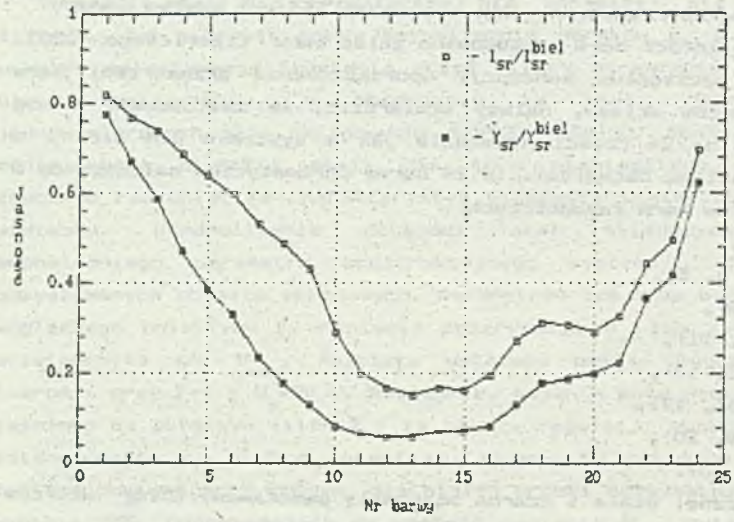
i 2 barwy achromatyczne: biała i czarna stanowiły podstawowy zbiór wzorców barw, który wykorzystano dla badań właściwości modelu BSS.

Uzyskane wyniki pokazują, że dla BSS z jasnościową skalą barw wskaźnik rozróżnialności n wynosi 7. Poniżej wymieniono nazwy próbek należących do jednego z takich, rozróżnialnych na skali jasnościowej, siedmiobarwnych zestawów barw:

- barwa czarna (nr 020)	l = 24 ÷ 41,
- barwa niebieska (nr 16)	l = 42 ÷ 61,
- barwa purpurowa (nr 10)	l = 67 ÷ 81,
- barwa czerwona (nr 7)	l = 116 ÷ 142,
- barwa pomarańczowa (nr 4)	l = 157 ÷ 184,
- barwa żółta (nr 1)	l = 189 ÷ 216,
- barwa biała (nr 00)	l = 234 ÷ 253.

Interesujące wyniki uzyskano porównując ze sobą jasność próbek barwnych, wyrażoną poprzez wielkość mierzoną l_{mr} i poprzez składową trójchromatyczną Y daną dla każdej próbki. Aby doprowadzić do takiego porównania, wprowadzono wielkości względne, tj. odniesiono średnią jasność próbki barwnej do średniej jasności próbki białej. Odpowiednie wykresy przedstawiono na rys.2. Przebieg wykresu dla poziomów szarości, mimo jego przesunięcia w stronę większych jasności, potwierdza prawomocność nazywania skalą jasnościową ukształtowanej w BSS skali barw. Z zasady estymacji barwy za pomocą jasności wynika, że istnieją barwy, które są nierozróżnialne na

podstawie jasności. W przypadku naszej skali barwami takimi, często łatwo rozróżnialnymi przez człowieka, są np. barwa nr 9 (czerwonawopurpurowa) i barwa nr 22 (zielona), dla których poziom szarości wynosi odpowiednio $l_{sr}(9)=108$ i $l_{sr}(22)=111$.



Rys.2. Jasność próbek barw z atlasu Gerickego
Fig.2. The lightness for colour samples from Gericke atlas

Ilościowa ocena rozróżnialności barw dla modelu BSS ze skalą trójwymiarową nie jest już tak prosta, jak w przypadku skali jednowymiarowej. Zamiast "prążków" na osi poziomów szarości poszczególnym próbkom barw odpowiadają trójwymiarowe klastery. W celu wyznaczenia wartości wskaźnikarozróżnialności barw n napisano specjalny program komputerowy. W programie tym każdy klaster reprezentowany jest przez opisany na nim prostopadłościan np. R_{min}, R_{max}, G_{min}, G_{max}, B_{min}, B_{max} dla przestrzeni RGB. W wyniku porównywania wszystkich prostopadłościanów ze sobą wyznacza się wskaźnik rozróżnialności barw. Dla obydwu skal trójwymiarowych wynosił on 14, co potwierdziło prawidłowość dokonanej transformacji RGB na LHS. Skalę LHS można nazywać skalą odcieniowo-jasnościową, ponieważ podczas rozróżniania barw główną rolę odgrywa odcień, rolę pomocniczą jasność (odróżnianie bieli od czerni oraz purpur między sobą), a praktycznie żadnej roli nie odgrywa nasycenie. W niektórych sytuacjach może stwarzać to możliwość skutecznej segmentacji obrazu pozyskiwanego przez BSS na podstawie jednej tylko cechy H.

Przeprowadzono również badanie wpływu zmiany nasycenia próbki barwnej

(przy stałym odcieniu i jasności) na wynik pomiaru barwy w modelu BSS. Wpływ ten, zgodnie z przewidywaniami, jest najmniejszy przy pracy ze skalą odcieniowo-jasnościową, a największy w przypadku jasnościowej skali barw.

6. Uwagi końcowe

Przeprowadzone badania modelu BSS pokazały możliwości rozpoznawania barwy za pomocą prostego obrazowego czujnika barwy w przypadku statycznej sceny dwuwymiarowej. Dobór skali barw powinien zależeć od wymagań stawianych systemowi sensorycznemu przez rozpatrywane zadanie robotyzacji.

Literatura

[1] Grum F., Bartleson C.J. /eds./, Optical Radiation Measurements, vol.2, Color Measurement, Academic Press, New York 1980.

[2] Judd D.B., Wyszecki G., Color in business, science and industry, J.Wiley & Sons, New York 1975.

[3] CIE, International Lighting Vocabulary, 3rd ed., Paris 1970.

[4] Wolffenbuttel R.F., Regtien P.P.L., Sensors, color sensing, in: Dorf R.C., Nof S.Y., /eds/, International Encyclopedia of Robotics: Applications and Automation, vol.3, J.Wiley & Sons, New York 1988.

[5] Stötzner H., Ein Farbsensorsystem zur Steuerung schneller Prozessabläufe und zur Qualitätskontrolle, VDI-Berichte Nr. 551, Düsseldorf 1985.

[6] Lechner H., Jahns J., Color Recognition System for Automation Engineering, Siemens Forsch.-u.Entwickl.-Ber. 1, 1984.

[7] Marszalec J., Marszalec E., Światłowodowe czujniki zbliżenia dotyku i barwy oraz ich integracja w chwytaku robota, Elektronika 5, 1989.

[8] Barschdorff D., Bentlage D., Jeude M., Farberkennung mit schneller sequentieler Klassifikation, Elektronik 13, 1988.

[9] Ollion P., Fibre optic colorimetric sensor, Proceedings of the 6th RoViSeC, Paris 1986.

[10] Yachida M., Tsuji S., Applications of Color Information to Visual Perception, Pattern Recognition 3, 1971.

[11] Chen M.J., Milgram D.L., Binary Color Vision, Proceedings of the 2nd RoViSeC, Stuttgart 1982.

[12] Loughlin C., Faster processing with colour, Sensor Review, July 1983.

[13] Bajon J., Cattoen M., Liang L., Identification of multicoloured objects using a vision module, Proceedings of the 6 th RoViSeC, Paris 1986.

[14] Gordillo J.L., Colour representations for a vision machine, Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Intelligence, London 1985.
[15] Mahdavieh Y. et al., The utilization of colour in machine vision, Proceedings of the 5th RoViSeC, Amsterdam 1985.
[16] Anon., Knowledge-based vision software for car industry, Sensor Review, October 1984.
[17] Farb- und Filterglas, katalog firmy VEB Jenaer Glaswerk Schott (NRD).
[18] Interfejs kamery TV, instrukcja użytkowania, PWPO-T Refleks, Warszawa 1987.
[19] Palus H., Wizyjny system pomiarowy do pomiaru barwy, Materiały VIII KK Metrologii i Budowy Aparatury Pomiarowej, ZN Politechniki Śląskiej, Seria: Automatyka z.98, Gliwice 1989.
[20] Gericke L., Schumitz R., Richter O., Schöne K., Farbenkatalog für die Gestaltung, Zentralinstitut für die Gestaltung, Berlin b.r.w.
[21] Gagliardi G., Hatch G.F., Sarkar N., Machine Vision Applications in the Food Industry, Proceedings Vision'85 Conference, Detroit 1985.
[22] U.S. Patent 4183046.

Recenzent: Prof.dr h.inż.A.Woźniak

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

МОДЕЛЬ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЦВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОЧУВСТВЛЕНИЯ

Р е з ю м е

В статье представлена модель цветочувствительной системы очувствления, которая основана на использовании изобразительного датчика цвета. Для этой системы показаны возможности создания цветовых шкал и их основные свойства.

COLOUR-SENSING SENSOR SYSTEM: MODEL AND INVESTIGATIONS

S u m m a r y

A physical model of colour-sensing sensor system with colour image sensor is presented. The possibilities for colour scales creation and their properties are discussed.