

## WYKRYWANIE OBIEKTÓW O CHARAKTERYSTYCZNYCH BARWACH

*Artykuł opisuje metodę wykrywania obszarów o określonej barwie w obrazie z kamery. Metoda pozwala na nauczenie systemu barw rozpoznawanych przedmiotów. Rozpoznawanie obszarów o określonej barwie jest bardzo szybkie. Metoda może być stosowana w bardzo szerokim zakresie: wykrywania znaczników w nawigacji robotów mobilnych, śledzenie obiektów, wykrywanie znaków drogowych, wykrywanie obecności ludzi w miejscach, w których nie powinni się znajdować.*

### DETECTION OF OBJECTS OF SPECIFIED COLOR

*In this paper is presented a method of detection color regions in a digital camera image. The method allows the system to learn colors of detected objects. Detection of color regions is fast. The method can find wide range of use: landmark detection in mobile robots navigation, object tracking, road sign detection, detection of person presence where is it prohibited.*

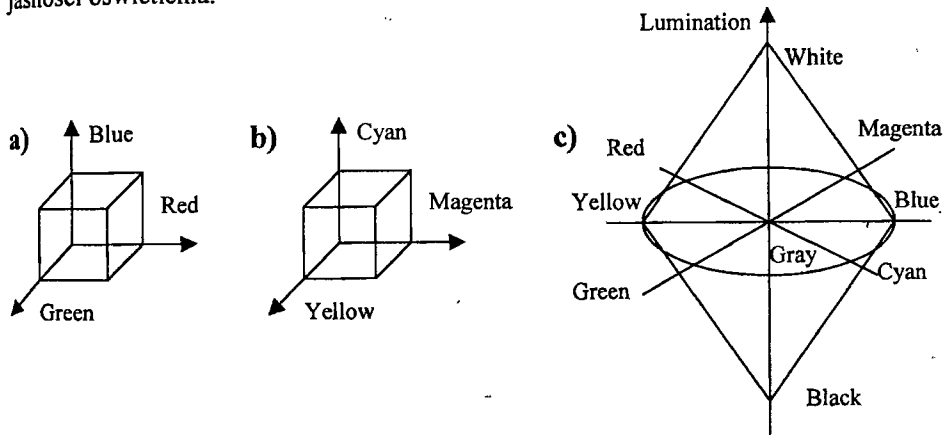
## 1. WSTĘP

Wyodrębnianie obszarów odpowiadających konkretnym obiektom jest jednym z wstępnych etapów przetwarzania obrazów. Prawidłowo przeprowadzone umożliwia uzyskanie informacji o obiektach znajdujących się w obrazie. Wyszukiwanie obiektów na podstawie ich barwy jest jedną z nowszych metod identyfikacji obiektów, możliwych w zastosowaniu wraz ze zwiększeniem się mocy obliczeniowej komputerów. Opracowana metoda pozwala na łatwe znalezienie obiektu o barwie charakterystycznej w jego otoczeniu, w dużym stopniu niezależnie od zmian różnic oświetlenia spowodowanych cieniem czy różnicami w odległości przedmiotów od źródła światła.

### 1.1. Modele barw

W większości codziennych zastosowań wizyjnych kolor reprezentuje się w postaci modelu RGB. Kolor jest w nim opisywany jasnością trzech sumujących się składowych barw. Model ten jest bardzo popularny w cyfrowej reprezentacji obrazu, ponieważ stosuje się go do reprezentacji barw na ekranie kineskopu. Inne ważne modele barw to CMY, HSV i CIE.

Modele CMY i CMYK są stosowane w poligrafii. Kolor jest w nim złożony z trzech barwników, z których każdy pochłania określoną barwę światła. W modelach HSV, HLS i innych pokrewnych barwę określa się nie składowymi barwami, lecz przez odcień, nasycenie i jasność. Schematycznie przedstawiono modele kolorów RGB, CMY oraz HLS na rysunku 1. Rodzina modeli CIE – opiera się na pojęciu chrominancji barwy (CIEXYZ), dwu współrzędnych barwy (CIELAB) lub odległości barwnej (CIELUV) oraz we wszystkich wariantach – luminancji. Zakresy barw możliwych do reprezentacji w danych przestrzeniach różnią się między sobą. Najszerszy zakres barw obejmują modele CIEXYZ i HSV. W pracy dotyczącej wyodrębniania obiektów stosuje się przestrzeń HSV. Powodem jest łatwość określenia koloru (odcienia) całego obiektu w tym modelu oraz fakt, że barwę w tym modelu można łatwo rozpoznać mimo zmiany jasności oświetlenia.



Rysunek 1. Modele barw: a) RGB; b) CMY; c) HLS

## 1.2. Wczesniejsze prace

W wielu pracach, np. [1], [3], [4] zakłada się pracę w „zmodyfikowanym” modelu RGB. Modyfikacje powodują zmianę własności modelu, pozwalając na oddzielne określenie barwy i jasności. W pracy [1] przeprowadza się normalizację barwy, przy czym kolor jest opisywany dwoma parametrami:

$$r = \frac{R}{R + G + B}, \quad (1)$$

$$g = \frac{G}{R + G + B}, \quad (2)$$

gdzie R, G i B oznaczają składowe czerwoną, zieloną i niebieską, zaś r i g barwy znormalizowane. Taki model umożliwia wykrywanie kolor skóry, co jednak wymaga kalibracji systemu po zmianie oświetlenia. Inne prace [3] podają podobne metody. W istocie po normalizacji koloru traci się informację o jasności. Podejście takie pozwala wykryć dany kolor niezależnie od jego jasności. Ta sama informacja, jaka pozostaje w składowych r oraz g, jest tożsama z nasyceniem i odcieniem barw w modelach HSV czy HLS.

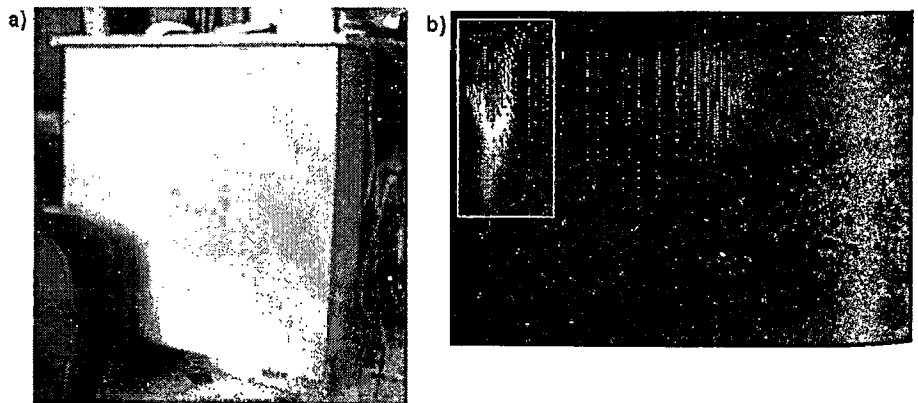
W pracach [5] i [6] opisano algorytm detekcji i śledzenia sztucznych barwnych znaczników, składających się z dwu różnych barw. Barwy znaczników wykrywa się stosując model CIEXYZ.

## 2. WYBÓR BARW WZORCOWYCH

Proponowana metoda powinna znajdować w obrazie obszary łatwo wykrywalne ze względu na charakterystyczną barwę. Metoda wyszukiwania powinna spełniać następujące założenia:

- umożliwiać wykrywanie obiektu o dowolnej barwie mieszczącej się w określonym zakresie;
- charakteryzować się odpornością na zmiany oświetlenia;
- działać w miarę możliwości szybko.

Metoda opiera się na reprezentacji barwy w przestrzeni HSV. Za obszar jednokolorowy uważany jest obszar o jednakowym odcieniu, zaś nasycenie i jasność mogą być zmienne w określonym zakresie. Wynika to z faktu, że różne fragmenty tej samej powierzchni mogą być różnie oświetlone, a także zacienione. Intensywność oświetlenia wpływa przede wszystkim na jasność i nasycenie barwy, a na odcień jedynie wtedy, jeżeli barwa światła znacząco odbiega od białej. Przykład nierównomiernie oświetlonego obiektu, którego odcień jest wszędzie jednakowy, pokazuje rys 2. Rysunek 1 a) pokazuje zdjęcie obiektu, zaś 1 b) - histogram barw, którego osiami są nasycenie (Saturation) w pionie i odcień (Hue) w poziomie. W zaznaczonej ramką części histogramu mieszczą się wszystkie punkty obiektu (biurka).



Rysunek 2. Histogram barw: a) Obiekt nierównomiernie oświetlony.  
b) Histogram obrazu w modelu HSV

### 2.1. Zakres barw

Podczas sporządzania histogramu wyznacza się nasycenie i odcień każdego punktu obrazu. Ilość punktów o tych samych parametrach przekłada się na jasność punktu we współrzędnych odcień i nasycenie.

Problemem podczas sporządzania histogramu jest konwersja niektórych ciemnych barw RGB na mocno nasycone barwy w modelu HSV. Dla uniknięcia fałszywych sygnałów, pochodzących głównie od obiektów ciemnych, podczas sporządzania histogramu stosuje się progi nasycenia zależne od jasności [2], co pozwala wyeliminować bardzo ciemne punkty o „dużym” nasyceniu. Przykładowo, punkt praktycznie czarny (R=4, G=1, B=1) mógłby zostać zinterpretowany jako punkt czerwony o nasyceniu 60%. Filtr ten jednocześnie eliminuje możliwość identyfikacji punktów czarnych i szarych. Działanie filtru polega na odrzucaniu pikseli o zbyt małej jasności dla danego nasycenia. Tabela 1 zawiera warunki, jakie muszą spełniać jasność i nasycenie, aby odcień punktu nie był nieokreślony i punkt był uwzględniany przy sporządzaniu histogramu.

Zakres jasności (0-255)	Nasycenie (0%-100%)
0 – 10	Brak
11 – 15	$\geq 55\%$
16 – 20	$\geq 40\%$
21 – 30	$\geq 30\%$
31 – 40	$\geq 22\%$
41 – 50	$\geq 17\%$
51 – 100	$\geq 12\%$
101 – 180	$\geq 7\%$
181 – 255	$\geq 3\%$

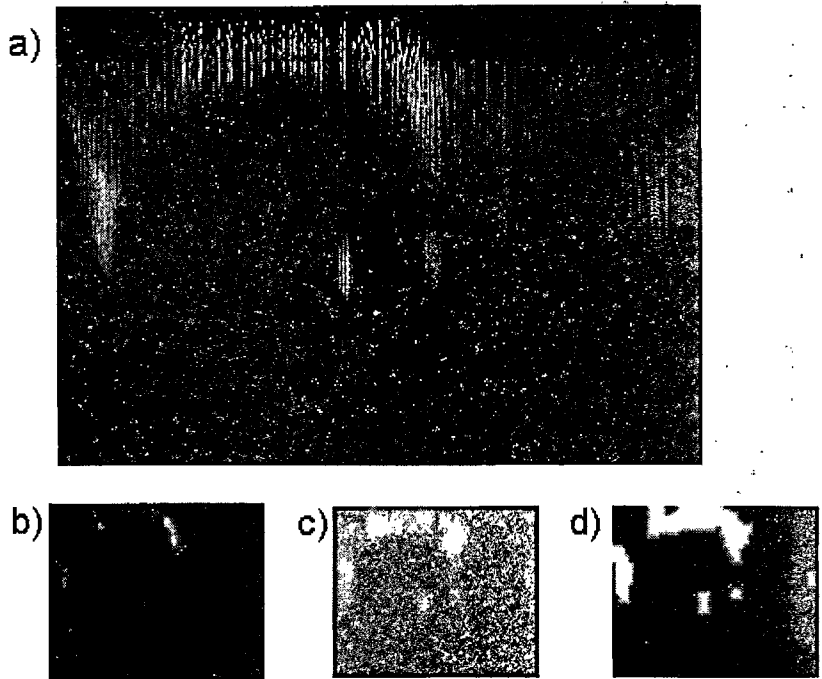
Tabela 1. Warunki, jakie musi spełniać punkt w modelu HSV, aby jego barwa była określona

## 2.2. Uczenie barw charakterystycznych

Możliwe jest automatyczne nauczanie systemu kolorów rozpoznawanych obiektów. Polega ono na rozpoznaniu we wzorcowym obrazie kolorów o dużym nasyceniu, kontrastujących z innymi kolorami. W tym celu wykonuje się następujące kroki:

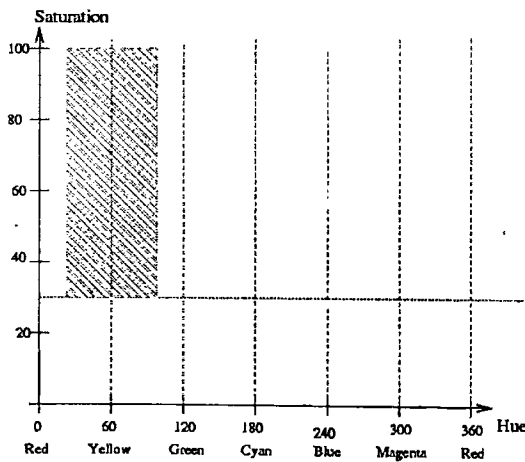
- sporządzenie histogramu HSV w małej skali;
- znalezienie obszarów o nasyceniu większym od progowego, zajmujących wąskie pasmo odcienia;
- określenie zakresu parametrów barw odpowiadających tym odcieniom.

Sporządzany jest histogram dwuwymiarowy na płaszczyźnie HS, której współrzędnymi są odcień i nasycenie koloru. W histogram zlicza się punkty obrazu o nasyceniu i barwie należących do wyznaczonych przedziałów. Podstawą do automatycznego wyboru danej barwy jako wzorca jest obecność na obrazie odpowiednio dużej ilości pikseli o zbliżonym odcieniu i nasyceniu większym od progowego, co daje efekt jasnego obszaru w histogramie. Aby łatwo można było wyznaczyć takie obszary, histogram wykonuje się w bardzo małej rozdzielczości. Piksele o zbliżonych parametrach odpowiadają temu samemu punktowi histogramu. Zaimplementowany algorytm wykonuje histogram w rozdzielczości 60 odcieni i 50 stopni nasycenia. Uzyskany histogram jest poddawany działaniu filtru maksymalnego, a następnie progowaniu. Obiekty o barwach charakterystycznych są widoczne w postaci niewielkich obszarów w obszarze dużego nasycenia barw. Postać histogramu w kolejnych fazach detekcji barw przedstawia rysunek 4. Na rysunku 4d) barwy charakterystyczne widoczne są jako małe obszary w dolnej części (nasycenie barw rośnie z góry na dół).



Rysunek 3. Wybór barw do rozpoznawania na podstawie histogramu:  
 a) Histogram w dużej rozdzielczości; b) ten sam histogram w małej rozdzielczości;  
 c) poddany działaniu filtra maksymalnego; d) po progowaniu - widać  
 4 charakterystyczne kolory o odpowiednim nasyceniu

### 2.3. Wybór barw wzorcowych bez uczenia

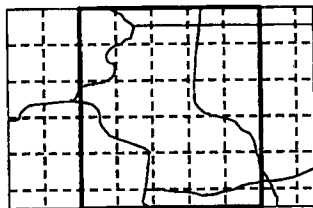


Możliwe jest przyjęcie barw wykrywanych bez uczenia. Wówczas każdy z kolorów zajmuje równy fragment osi odcieni, zaś każdy kolor zajmuje dopuszczalny zakres nasycenia. Gdy kolorów wzorcowych jest 6, wówczas każdy ze zbiorów odpowiada jednemu z 6 odcieni (Red, Yellow, Green, Cyan, Blue, Magenta) o dużej szerokości zakresu. Zasadę podziału przedstawiono na rysunku 4.

Rysunek 4. Automatycznie generowane kolory wzorcowe

### 3. ZNAJDOWANIE OBSZARÓW O CHARAKTERYSTYCZNEJ BARWIE

Algorytm wykrywania obszaru musi być przede wszystkim szybki. Zakłada się, że wykrywany obiekt musi być dość duży (zajmować powierzchnię  $>400$  piksli), aby można było go jednoznacznie identyfikować. Schemat wykrywania obiektu prezentuje rys 3. Przy odstępach punktów kontrolnych równych 10 (tzn., że sprawdzany jest co dziesiąty piksel w pionie i w poziomie) faktycznie sprawdzany jest 1% powierzchni obrazu. Pozwala to szybsze znalezienie poszukiwanych kolorów mimo wyznaczania wartości nasycenia i odcienia piksli. Schemat metody szybkiego wykrywania obszarów pokazuje rysunek 5. Cienkie nierówne linie oznaczają granice obszarów o różnych barwach. Linie przerywane – linie siatki, w której węzłach sprawdza się kolor piksli. Gruba ramka oznacza region, w którym w całości znajduje się poszukiwany kolor.



Rysunek 5. Szybkie wykrywanie obszarów o jednakowym kolorze

### 4. EKSPERYMENTY

Przeprowadzono eksperymenty z kolorową kamerą robota mobilnego B-14. Zestaw kamera i frame grabber pozwala uzyskać obraz w maksymalnej rozdzielczości 640 na 480 piksli, przy 15 bitowym kolorze. Przeprowadzono eksperymenty z rozpoznawaniem obiektów po uczeniu systemu w zmiennym oświetleniu i z zastosowaniem kolorów wzorcowych generowanych automatycznie.

Uczenie systemu przeprowadzono dla koloru czerwonego i zielonego. Bardzo duże znaczenie ma ustawienie kamery względem obiektu – obiekty o wzorcowych barwach muszą być odpowiednio duże, aby nie zostały pominięte. Podczas uczenia okazało się, że system dodatkowo uznał barwę drewnianej podłogi za charakterystyczną. Obraz z wybranymi przez system obiektami barwnymi przedstawia rysunek 6. Zdefiniowany kolor określa się w granicach nasycenia, odcienia i jasności. Podczas uczenia definiuje się dopuszczalne minimalne nasycenie, w którym powinien znaleźć się obszar po progowaniu (20%-30%), minimalną (20-30) i maksymalną (200-255) jasność oraz wartość progu (30-60). Modyfikując te wartości można dostosować optymalnie system do wzorcowego zdjęcia w celu wykrycia wszystkich charakterystycznych barw.

Przeprowadzono eksperyment z wykrywaniem barw wyznaczonych automatycznie przez równomierny podział skali odcieni. Dla 6 barw uzyskano wyniki znacznie różniące się od uzyskanych z uczącym się systemem. Główne różnice są następujące:

- Wykrywane są obiekty o różnych kolorach, w ogólności wszystkie barwne
- Wiele wykrytych obszarów nie odpowiada konkretnym obiektom, są przypadkowe

- Obszary o barwach pośrednich między wzorcowymi są różnie klasyfikowane zależnie od oświetlenia

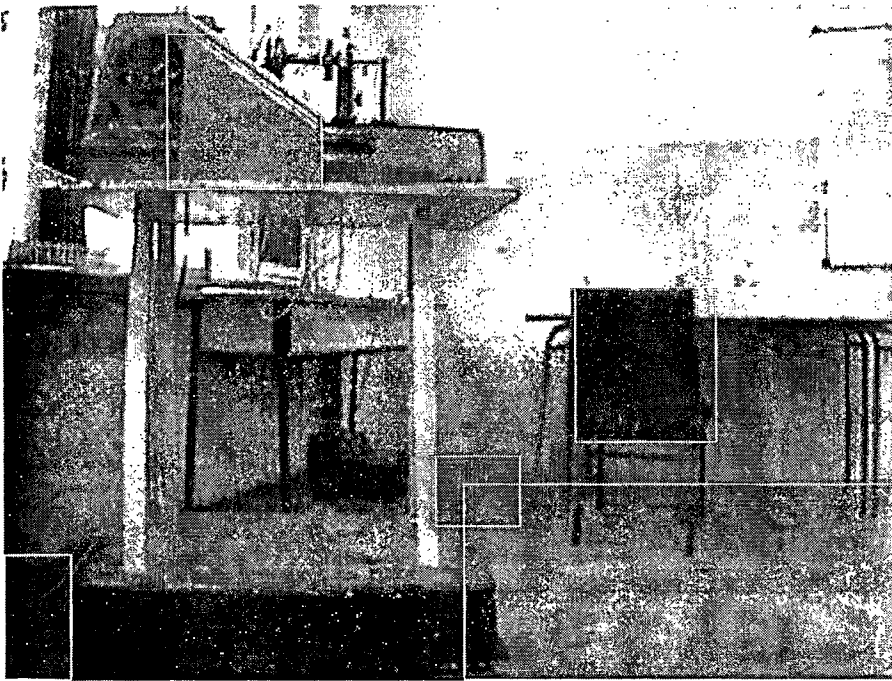
Czas wykrywania obszarów zależy od dwu czynników: ilości barw wzorcowych, do których powinien być wprost proporcjonalny oraz ilości punktów i obszarów każdego poszukiwanego koloru. Zależność czasu przetwarzania od drugiego czynnika jest skomplikowana, wpływ mają tutaj:

- Ilość znalezionych pikseli danego koloru wzorcowego;
- Czas scalania pojedynczych oczek siatki w obraz, który zależy od kształtu obszaru;
- Czas łączenia obszarów rozłącznych przylegających do siebie o tej samej długości boku przylegającego;
- Czas wykrywania i pomijania usuwania izolowanych pikseli i obszarów składających się z mniejszej liczby pikseli niż progowa (w badaniach 4).

Czasy wykrywania obszarów podaje tabela 2. Pozycje, w których znajdowano 3 kolory dotyczą barw nauczonych, zaś 6 kolorów zostało wygenerowanych automatycznie. W przypadku 6 kolorów duży jest udział przypadkowych obszarów, wydłużających czas przetwarzania. Pomiar wykonano w programie napisanym w języku Visual C++ v6.0 Professional, na komputerze PC z procesorem AMD K6 350MHz, działającym pod kontrolą systemu operacyjnego Windows NT 4.0. Najdłuższy z czasów nie przekracza 40 ms, co pozwala na przetwarzanie nawet na stosunkowo wolnym komputerze 25 klatek na sekundę, szczególnie jeżeli system szuka nauczonych wcześniej kolorów.

Ilość barw wzorcowych	Ilość wykrytych obszarów	Czas szukania [ms]
3	5	9
3	9	9
3	9	11
6	17	27
6	19	21
6	27	38
6	28	23
6	36	28

Przykład wykrytych w ten sposób obszarów o barwach nauczonych znajduje się na rys. 6.



Rysunek 6. Wykrywanie obszarów o nauczonych barwach wzorcowych

## 5. LITERATURA

1. Kapuściński T., Wysocki M. *Hand gesture recognition for man-machine interaction*, Second Workshop on Robot Motion and Control, 2001
2. Bal A., Plus H., Wołczyk P.: *Selected Properties of perceptual colour space*, proc. Of 2<sup>nd</sup> Conference on Computer Recognizing Systems – KOSYR2001, Wrocław 2001
3. Aires K., Alsina P., Medeiros A.: *A global vision system for mobile mini-robots*
4. Kestler H., Sablatnög S., Simon S., Enderle S., Baune A., Kraetzschmar G., Schwenker F., Palm G. *Concurrent Object Identification and Localization for a Mobile Robot*
5. Jang G., Kim S., Wangheon L., Kweon I.: *Color Landmark Based Self-Localization for Indoor Mobile Robots*, Proc. Of the 2002 IEEE ICRA, Washington 2002
6. Yoon K., Jang G., Kim S., Kweon I.: *Fast Landmark tracking and Localization Algorithm for the mobile robot self-localization*, IFAC Workshop on Mobile Robot Technology, May 20-30, 2001, Jejudo Island, Korea, pp190-195.
7. Dokumentacja techniczna firmy Adobe dotycząca reprezentacji barw znajdująca się na stronie internetowej  
<http://www.adobe.com/support/techguides/color/colormodels>