ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: AUTOMATYKA z. 125 Nr kol. 1391

Henryk PALUS
Politechnika Śląska

WYKORZYSTANIE ODBLASKÓW W OBRAZACH BARWNYCH DO ZLICZANIA OBIEKTÓW W SCENIE

Streszczenie. Zliczanie obiektów w scenie znajduje zastosowanie w niektórych procesach wizyjnej kontroli jakości. W pracy krótko opisano stosowane dotychczas modele odbiciowe. Do detekcji odblasków wykorzystano wiedzę o wartościach składowych IHS na powierzchniach z odblaskami. Dla pewnej klasy obiektów zaproponowano nową metodę ich zliczania na podstawie zliczania odblasków powstałych na powierzchniach obiektów.

USING OF HIGHLIGHTS IN COLOUR IMAGES FOR OBJECT COUNTING IN THE SCENE

Summary. Object counting in the scene can be used for some visual inspection processes. In the paper the reflection models are briefly reviewed. The knowledge about values of IHS components on surfaces with highlights is applied for highlight detection. A new method for counting some objects based on counting highlights on their surfaces is proposed.

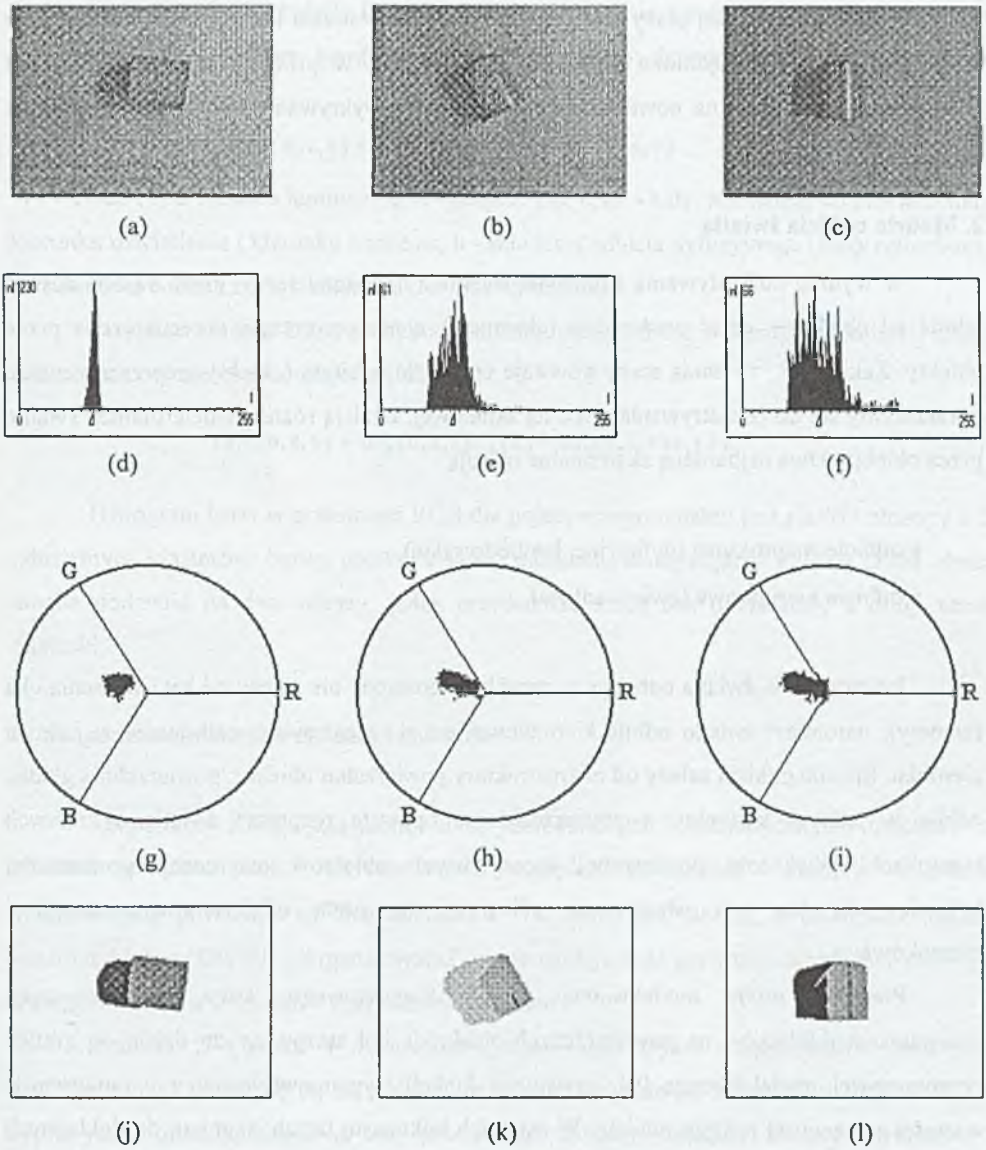
1. Wprowadzenie

Zmienność barwy jednobarwnych obiektów w obrazach scen pozyskiwanych przez system wizyjny robota nie jest wyłącznie wynikiem szumu, ale również takich zjawisk optycznych, jak odblaski i cienie. Odblaski (refleksy świetlne) są zjawiskiem tak typowym dla pewnych klas obiektów trójwymiarowych, że w programach graficznych stosuje się je jako środek urealniający obrazy. W widzeniu komputerowym odblaski są często uznawane za zjawisko niepożądane, przeszkadzające zarówno w segmentacji obrazów (obszary odblasków są traktowane jako oddzielne obszary o dużej jasności: rys.1 k, l), jak i na wyższych etapach przetwarzania (stereowizja, analiza ruchu na podstawie ciągu obrazów itp.).Występowanie odblasków na powierzchni obiektów zależy od kąta, pod jakim kamera widzi obiekt. Stąd dla obiektów ruchomych lub dla systemu tzw. aktywnego widzenia na powierzchni tego samego

obiektu w jednym obrazie mogą występować odblaski, a w innym obrazie może ich nie być (rys.1 a,b,c). Istnieje duża grupa algorytmów, których działanie jest ograniczone do obrazów scen nie zawierających odblasków i cieni tj. zakłada się, że wszystkie obiekty w scenie są matowe (lambertowskie)). W literaturze można znaleźć wiele prac zajmujących się wykrywaniem (zadanie prostsze) lub usuwaniem (zadanie trudniejsze) odblasków z obrazów. Odpowiednie algorytmy są nazywane algorytmami separacji składowych odbicia; wynikiem ich działania jest rozdzielenie obrazu z odblaskami na obraz dyfuzyjny (matowy) i zwierciadlany. Ostatnio do usuwania odblasków z obrazów z poziomami szarości jak i z obrazów barwnych zaczęto stosować metody polaryzacyjne. Zmieniając orientację filtru polaryzacyjnego pozyskuje się większą liczbę obrazów sceny [1], co ułatwia analizę sceny z odblaskami.

Odblaski niosą jednak z sobą bogatą informację, która może zostać wykorzystana. W pracach z pierwszej połowy lat 80. pokazano możliwość wykorzystania odblasków występujących w obrazach z poziomami szarości do wyznaczania kształtu [2], rozmiaru i położenia [3] oraz orientacji obiektów [4]. Ostatnie wymienione zastosowanie wynika z faktu, że odblaski powstają w miejscach, gdzie normalna do powierzchni jest dwusieczną kąta zawartego między kierunkiem oświetlenia powierzchni a kierunkiem obserwacji. Wykryte w obrazie odblaski mogą być zastosowane również do estymacji barwy źródła światła [5,6].

Rysunek 1 jest ilustracją powyższych rozważań. Przedstawia on 3 monochromatyczne wersje obrazów barwnych sceny przedstawiającej zielony obiekt na niebieskim tle. Na gładkiej powierzchni obiektu wykonanego z tworzywa sztucznego w przypadku określonego zorientowania powstają odblaski, których pole powierzchni i kształt zależą od zorientowania obiektu i kształtu źródła światła. Histogramy I oraz HS stanowią opis rozkładu barwy na powierzchni obiektu. Łatwo na nich zauważyć wzrost rozproszenia klastera, odpowiadającego obiektowi w miarę zwiększania się powierzchni odblasku. Na histogramie HS natomiast widać charakterystyczny „ogon" w kierunku osi barw achromatycznych. Tak więc można stwierdzić, że odblask na powierzchni jednobarwnego obiektu powoduje zmianę wartości składowych IHS tej powierzchni: wzrost intensywności I oraz zmianę chromatyczności barwy powierzchni w kierunku barwy źródła światła. W przypadku światła białego oznacza to zmniejszenie wartości nasycenia S niemal do zera i gdy występuje idealne odbicie zwierciadlane, to odcień może stać się nieokreślony (barwa achromatyczna). Ostatnia część rys.1 (j,k,l) przedstawia wyniki segmentacji obrazów barwnych z odblaskami w przestrzeni IHS metodą rozrostu obszaru (program KOLSEG, [7]).



Rys.1. Odblaski w obrazach barwnych:(a),(b),(c) intensywnościowe kopie obrazów barwnych, (d),(e),(f) histogramy I obiektów w obrazach barwnych, (g),(h),(i) histogramy HS obiektów w obrazach barwnych, (j),(k),(l) wysegmentowane obszary w obrazach barwnych

Fig.1. Highlights in colour images: (a), (b), (c) intensity copies of colour images, (d),(e),(f) I-histograms of objects in colour images, (j),(k),(l) segmented regions in colour images

Obszary odblasków stanowią oddzielne segmenty w obrazach wynikowych procesu segmentacji.

Prezentowane w tej pracy podejście korzysta z przestrzeni barw IHS podobnie jak w pracy [8], gdzie uwzględniono odblaski i interrefleksy w procesie segmentacji obrazu kolorowego, a odblaski na powierzchni obiektów były wykrywane jako zmiana nasycenia barwy obiektów.

2. Modele odbicia światła

W wyniku oddziaływania strumienia światła z obiektami sceny, część światła zostaje odbita od obiektów, część pochłonięta (absorpcja), a pozostała część przepuszczona przez obiekty. Zakładając, że obraz sceny powstaje w świetle odbitym (obiekty nieprzezroczyste), ograniczymy się do rozpatrywania tylko tej składowej. Istnieją różne modele odbicia światła przez obiekty. Dwa najbardziej ekstremalne opisują:

- odbicie rozproszone (dyfuzyjne, lambertowskie),
- odbicie kierunkowe (zwierciadlane).

Intensywność światła odbitego w sposób rozproszony nie zależy od kąta widzenia oka (kamery), natomiast światło odbite kierunkowo jest skoncentrowane całkowicie w jednym kierunku. Sposób odbicia zależy od mikrostruktury powierzchni obiektu: powierzchnia gładka odbija w jednym kierunku, a powierzchnia chropowata rozprasza światło w różnych kierunkach. Większość powierzchni rzeczywistych obiektów ma cechy powierzchni hybrydowych, tzn. ich właściwości odbiciowe są sumą odbicia rozproszonego i kierunkowego.

Pierwszą próbą modelowania odbicia kierunkowego, które jest przyczyną powstawania odblasków na powierzchniach obiektów, był stosowany do dzisiaj w grafice komputerowej model Phonga [9], używający funkcji trygonometrycznej z parametrem o wartości zależnej od rodzaju odbicia. W ostatnich kilkunastu latach sięgnięto do dokładnych modeli fizycznych odbicia światła: Beckmanna-Spizzichino [10] i Torrance'a-Sparrowa [11]. Kluczowe znaczenie ma przedstawiony przez Shafera **dichromatyczny model odbicia światła (DRM)** [12]. Z niego korzystają opisywane w literaturze algorytmy wykrywania [13] i usuwania odblasków [14,15].

W modelu DRM światło L odbite przez powierzchnię z tworzywa sztucznego można przedstawić jako liniową kombinację światła odbitego dyfuzyjnie i światła odbitego zwierciadlanie:

$$L(\lambda, n, s, v) = L_b(\lambda, n, s, v) + L_s(\lambda, n, s, v) \quad (1)$$

We wzorze (1) L oznacza luminancję, λ - długość fali, n,s,v - kąty: normalnej do powierzchni, kierunku oświetlenia i kierunku widzenia, b - składową odbicia dyfuzyjnego (*body reflection*), s - składową odbicia zwierciadlanego (*surface reflection*).

Przyjęcie modelu DRM umożliwia ponadto odseparować w każdym składniku część widmową c od części geometrycznej m:

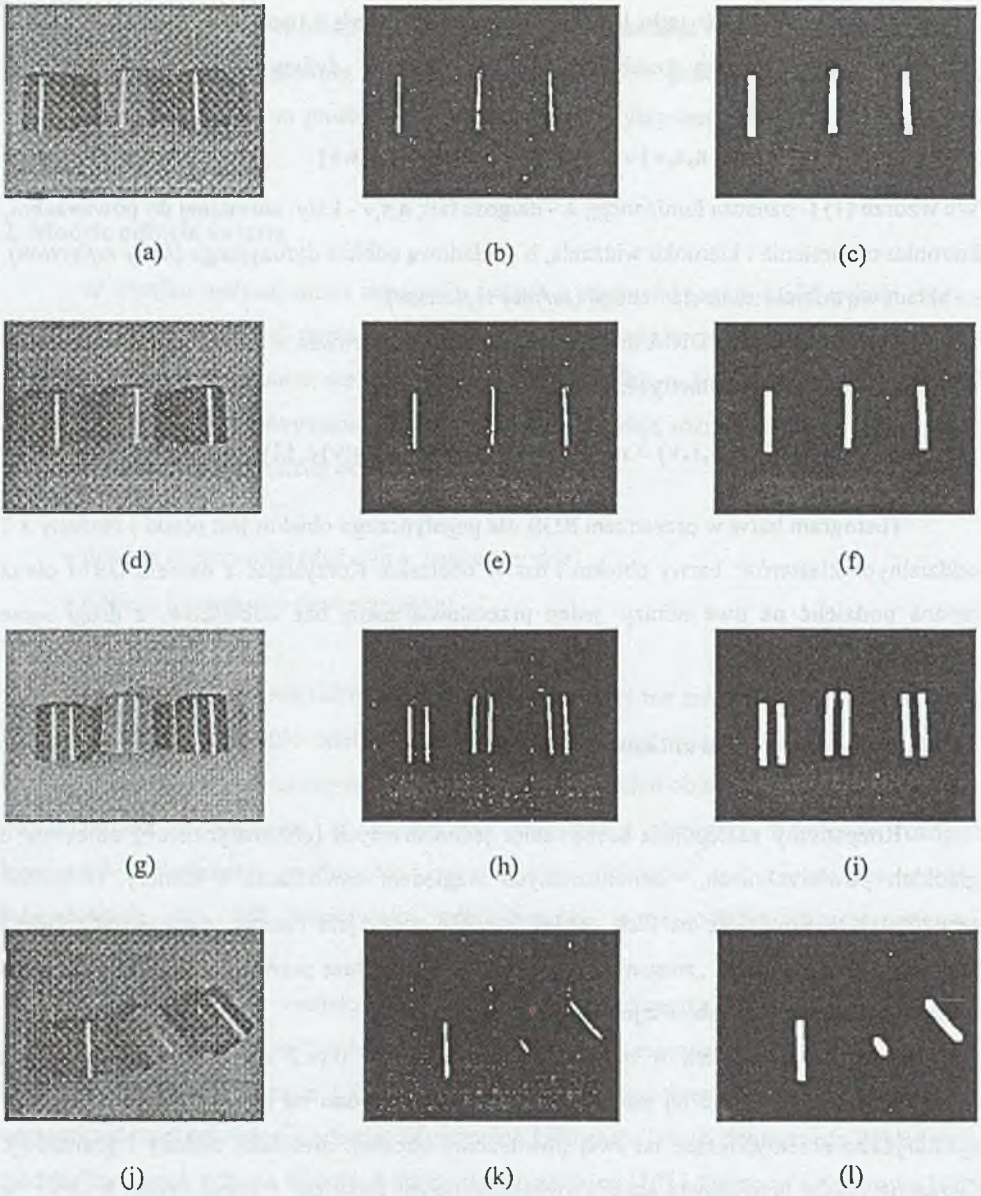
$$L(\lambda, n, s, v) = m_b(n, s, v)c_b(\lambda) + m_s(n, s, v)c_s(\lambda) \quad (2)$$

Histogram barw w przestrzeni RGB dla pojedynczego obiektu jest płaski i złożony z 2 oddzielnych klasterów: barwy obiektu i barwy odblasku. Korzystając z modelu DRM obraz można podzielić na dwa obrazy: jeden przedstawia scenę bez odblasków, a drugi same odblaski.

3. Proponowana metoda zliczania obiektów

Rozpatrzmy następującą scenę: zbiór jednobarwnych (chromatycznych) obiektów o gładkich powierzchniach, zorientowanych względem oświetlacza i kamery w sposób umożliwiający powstanie na nich odblasków. Tło sceny jest ciemne, a oświetlacz świeci światłem białym. Dla tak „zorganizowanej" sceny istnieje duże prawdopodobieństwo łatwego wysegmentowania odblasków z jej barwnych obrazów.

Rysunek 2 zawiera 4 monochromatyczne kopie (rys.2 a,d,g,j) takich barwnych obrazów sceny. W scenie tej na fioletowym tle umieszczono od lewej do prawej strony 3 cylindryczne obiekty, leżące na swej powierzchni bocznej: niebieski, zielony i granatowy. Obraz na rys.2a przedstawia scenę oświetloną białym światłem z lewej strony, a obraz na rys. 2d scenę oświetloną białym światłem z prawej strony. Natomiast obraz na rys.2g przedstawia scenę oświetloną z obu stron, stąd jaśniejsze tło i podwójne odblaski na każdym obiekcie(każdy odblask od jednego źródła światła). Linearny kształt odblasków wynika z takiego kształtu źródeł światła (świetlówki kompaktowe). W obrazie z rys.2j wielkość każdego odblasku jest różna, zależna od zorientowania obiektu względem kamery i oświetlacza.



Rys.2. Wykrywanie odblasków w obrazach barwnych:(a),(d),(g),(j) - intensywnościowe kopie obrazów barwnych, (b),(e),(h),(k) - wyniki progowania S i I w obrazach barwnych, (c),(f),(i) (l) - obrazy binarne po 3-krotnej dylatacji

Fig.2. Detection of highlights in colour images: (a),(d),(g),(j) - intensity copies of colour images, (b),(e),(h),(k) - results of S- and I-thresholding of colour images, (c),(f),(i),(l) - binary images after threefold dilation

Proponowana metoda zliczania obiektów w scenie składa się z 3 etapów:

- detekcji odblasków z obrazu barwnego (progowanie względem S i I),
- konsolidacji wydzielonych odblasków,
- zliczania obiektów w obrazie binarnym.

Korzystając z programu KOLSEG, powstałego w ramach pracy [7], znaleziono dla badanej sceny wartości progów: Smin, Smax, Imin, Imax, które pozwoliły zbinaryzować obrazy barwne metodą progowania. Dla danej sceny ustalono: Smin=0, Smax=0,3, Imin=150, Imax=255. Oznacza to, że piksele, dla których wartości nasycenia i intensywności zawarte są w wyżej wymienionych przedziałach, będą miały w obrazie binarnym barwę białą, a pozostałe piksele będą czarne. Rysunki 2 b,e,h,k przedstawiają wyniki progowania obrazów barwnych względem S i I. Wysegmentowane obszary o niskich wartościach S i jednocześnie wysokich wartościach I reprezentują odblaski.

W obrazach binarnych widać w przypadku niektórych odblasków nieciągłość przedstawiających je obszarów. Dlatego etap detekcji odblasków uzupełniono operacją morfologiczną (3-krotna dylatacja z aperturą 3×3), która służy do konsolidacji obszarów. Wyniki konsolidacji przedstawiają rys.2 c,f,i,l.

Samo zliczanie obiektów w takich obrazach binarnych nie jest żadnym problemem. W wielu podręcznikach [16] jest przedstawiane jako zadanie etykietowania (numerowania) obszarów. W przypadku oświetlania sceny kilkoma źródłami światła, należy podzielić wynik zliczania przez liczbę źródeł światła.

4. Podsumowanie i kierunki dalszych badań

Przedstawiona metoda zliczania obiektów w scenie w wyniku analizy pojedynczego obrazu barwnego przyniosła zachęcające wyniki w badaniach wstępnych. Pokazano, że metoda nie wymaga precyzyjnej orientacji obiektów, ponieważ zliczane są odblaski a nie ich powierzchnia.

W ramach dalszych badań należałoby ocenić przydatność proponowanej metody zliczania dla wybranego procesu kontroli wizyjnej. Istotną sprawą jest zbadanie rzeczywistych ograniczeń proponowanej metody zliczania obiektów. Przykładowo dla obiektów achromatycznych (np. metalowych) oświetlonych barwnym światłem, dla obiektów barwnych oświetlonych barwnym światłem o barwie różnej od barwy obiektów, dla obiektów

o bardziej złożonym kształcie powierzchni itp. Takie badania pozwoliłyby precyzyjnie określić klasę obiektów, dla których proponowana metoda jest efektywna.

LITERATURA

1. Muller V.: Elimination of specular surface-reflectance using polarized and unpolarized light. In: Buxton B., Cipolla R., /eds./, Computer Vision - ECCV `96, Proc. of the 4th European Conference on Computer Vision, vol.2, 1996, pp.625-35.
2. Blake A.: Specular stereo. Proc. 9th IJCAI,1985, pp.973-976.
3. Thrift P., Lee C.: Using highlights to constrain object size and location. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol.13, 1983, pp.426-431.
4. Babu M.D.R., Lee C.-H., Rosenfeld A.: Determining plane orientation from specular reflectance. Pattern Recognition, Vol.18, 1985, pp.53-62.
5. Lee H.-C.: Method for computing the scene-illuminant chromaticity from specular highlights. JOSA-A, vol.3, no.10, 1986, pp.1694-1699.
6. Kawamura H., Hongo S., Yoroizawa I.: Region-based dichromatic estimation method for illumination color estimation. Proc. SPIE, vol. 2094, pt3, 1993, pp.1249-58.
7. Skorus G.: Badanie optycznych zjawisk zakłócających segmentację obrazów barwnych. Praca dyplomowa, Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
8. Bajcsy R., Lee S.W., Leonardis A.: Color image segmentation with detection of highlights and local illumination induced by inter-reflections. Proc. of 10th ICPR, 1990, pp.785-790.
9. Phong B.T.: Illumination for computer generated pictures. Comm. ACM, vol.18, no.6, 1975, pp. 311-317.
10. Beckmann P., Spizzichino A.: The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces, Macmillan 1963.
11. Torrance K., Sparrow E.: Theory for off-specular reflection from roughened surfaces. JOSA, vol.57, 1967, pp.1105-1114.
12. Shafer S.A.: Using color to separate reflection components. Color Research and Application, vol.10, no.4,1985, pp.210-218.
13. Lee S.W., Bajcsy R.: Detection of specularity using color and multiple views. Proc. 2nd ECCV, 1992, pp. 99-114.
14. Klinker G.J., Shafer S.A., Kanade T.: A physical approach to color image understanding. International Journal of Computer Vision, vol.4, 1990, pp.7-38.
15. Tong F., Funt B.V.: Specularity removal for shape from shading. Proc. Vision Interface, 1988, pp.98-103.
16. Tadeusiewicz R., Systemy wizyjne robotów przemysłowych, WNT, Warszawa, 1992, pp.143-149.

Recezent: Dr hab. inż. Ryszard Choraś, prof. ATR Bydgoszcz

Abstract

Object counting in the scene can be used for some visual inspection processes. The paper presents a new idea of object counting based on counting highlights on surfaces of objects. In the introductory part of paper the importance of highlights in grey-level image analysis is described and some reflection models (first of all Dichromatic Reflection Model) are briefly reviewed. Next we make an approach to object counting composed of following stages: detection of highlights in colour image by thresholding of selected IHS components, morphological consolidation of detected regions and region counting (labelling) in binary image. In the paper colour is represented by one achromatic component and two chromatic components of the IHS colour space. In first stage of our method the knowledge about values of IHS components on surfaces with highlights is applied to highlight detection. Thresholding, the most popular image segmentation technique, in IHS colour space is used. The reason is his simplicity and fastness. In the case of white light in the scene the thresholding of S and I components should be used. Setting the saturation thresholds to Smin=0 and Smax=0,3, the intensity thresholds to Imin=150 and Imax=255 separated highlights from tested images. During second stage each highlight region is consolidated by threefold dilation with 3×3 structuring element. In last stage our method simply count regions in binary image. Object counting takes into consideration the number of used light sources. The proposed method was tested for a number of different, real world images. Input images were directly from 1-CCD colour camera without suitable preprocessing e.g. a smoothing of I, H histograms or median filtering of RGB components. At the end of paper directions of further investigations are outlined (counting achromatic objects, using colour light sources, applying to objects with complicated surfaces etc.).