

PREPOZNAVANJE BOJE KOD AUTOMATSKOG RAZVRSTAVANJA BIOLOŠKOG MATERIJALA

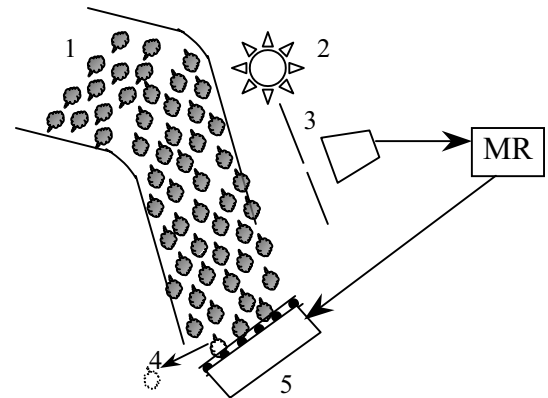
Jelena Ilić, Mašinski fakultet, Beograd, jilic@mas.bg.ac.yu
Zoran Stoiljković, Elektrotehnički fakultet, Beograd
Aleksandar Kovačević, Institut za fiziku, Zemun
Saša Milić, Institut "Nikola Tesla", Beograd
Dragan Marković, Mašinski fakultet, Beograd

Sadržaj –U radu je u prvom delu predstavljena struktura tipičnog sistema za razvrstavanje biološkog materijala, na primer voća i povrća, i čišćenje od stranih tela. Posebna pažnja je posvećena optičko – elektronskoj komponenti sistema (tzv. "mašinskom vidu"), kojom se obavlja snimanje biološkog materijala i obrada dobijene slike. Cilj obrade dobijene slike je uočavanje i precizno definisanje položaja neželjenih elemenata u biološkom materijalu, kao što su strana tela i nekvalitetni delovi voća i povrća. Da bi se ovo ispunito, dobijena slika treba da prođe kroz postupak prepoznavanja oblika i kroz postupak prepoznavanja boje. Druga polovina rada se upravo bavi problemom definisanja boje i postupcima prepoznavanja boje, primenjenim na otkrivanje jedinki lošeg kvaliteta. Rezultati primene predloženog postupka razvrstavanja po boji su prikazani na primeru snimaka graška. Diskutovani su izvori i načini smanjenja grešaka.

1. UVOD

Potreba za uvođenjem automatskog razvrstavanja i čišćenja biološkog materijala, a pre svega voća i povrća, sve više dolazi do izražaja u našoj poljoprivredi. Kod nas se ovaj posao uglavnom obavlja ručno, što u nekoj meri ipak oštećuje plodove, a takođe predstavlja monoton ali i zamoran posao pošto zahteva veliku koncentraciju. Međutim, da bi domaći izvoznici voća i povrća ostali u utakmici sa stranim, između ostalog, neophodno je ubrzanje procesa razvrstavanja i čišćenja. Nakon automatizacije drugih faza u obradi voća i povrća posle berbe, sada se u razvijenim zemljama ubrzano uvodi automatsko razvrstavanje. U narednom odeljku je predstavljena struktura tipičnog sistema za razvrstavanje i čišćenje voća i povrća. Treći odeljak se bavi optičko – elektronskom komponentom sistema (tzv. "mašinskim vidom"), kojom se obavlja snimanje biološkog materijala i obrada dobijene slike. Prilikom obrade dobijene slike, uočava se i definiše položaj neželjenih elemenata u biološkom materijalu, kao što su strana tela i nekvalitetni delovi voća i povrća. Za tu svrhu postoje tehnike prepoznavanja boja koje se zasnivaju na reflektometriji, kao i one tehnike koje koriste interferencione filtre za odgovarajuće boje [1]. Međutim, sistemi koji koriste ovakve tehnike za prepoznavanje boja, na relativno složen način se adaptiraju prilikom promene vrste plodova koji se razvrstavaju. Zbog toga je verovatnije da će se u ove svrhe ubuduće uglavnom koristiti video kamere, koje su povezane sa mikro-računarima kojima se obrađuje svaka sekvenca (praktično fotografija) snimljena kamerom. Zato je i u ovom radu razmatran takav sistem. Obrada svake sekvence, tj. slike, uključuje 1) postupak prepoznavanja oblika (pattern recognition) i 2) postupak prepoznavanja boje (color recognition). U četvrtom odeljku je posvećena pažnja problemu definisanja i prepoznavanja željene boje biološkog materijala. Navedeni su primeri broječnih pokazatelja

neželjene boje, date njihove zavisnosti od procenta neželjene boje na analiziranoj slici.



Sl.1. Skica sistema za razvrstavanje voća i povrća

2. STRUKTURA TIPIČNOG SISTEMA ZA RAZVRSTAVANJE VOĆA I POVRĆA

Skica sistema za razvrstavanje voća i povrća data je na Sl. 1. Sistem se sastoji iz ulaznih pokretnih traka 1, čije su brzine podešene tako da ispred dela u kome se vrši razvrstavanje, biološki materijal, tj. plodovi, budu raspoređeni u jednom sloju. Ispred dela sistema u kome se vrši razvrstavanje, nagib trake naniže se naglo dovodi skoro do vertikalnog. Na mestu pada plodova, na određenoj visini oni se osvetljavaju pomoću sistema sijalica 2, i snimaju kamerom 3, sa koje se signal dovodi do mikroručunara (MR) u kome se obrađuju snimljene slike plodova. Površina koja se snima u jednom trenutku – jednoj sekvenci filma, predstavlja uzani horizontalni pravougaonik, čija je širina jednaka širinu pokretne trake koja nosi plodove, a visina jednaka putu koji plodovi pređu u vremenskom intervalu između snimanja dve uzastopne sekvence. Takva slika treba da se pre obrade podeli u vertikalne segmente tako da svaki segment odgovara površini koju pokriva po jedan ventil iz sistema ventila 5. Ventili služe za izbacivanje neželjenih elemenata – nekvalitetnih plodova ili stranih tela. Ako se obradom, na određenom segmentu slike, uoči neželjeni element, kao element 4 sa Sl. 1, mikroručunar daje signal koji aktivira izbacivanje komprimovanog vazduha upravo iz onog ventila koji odgovara segmentu u kome je nađen neželjeni element. Na taj način vazduh iz ventila izbacuje taj element iz struje plodova i on pada na traku koja ga odnosi kao otpad, dok kvalitetni plodovi odlaze na drugu stranu.

Da bi se, prilikom izbacivanja neželjenog elementa, izbeglo izbacivanje i nekog zdravog ploda ili da bi se bar minimiziralo izbacivanje zdravih plodova, neophodno je, između ostalog, da rezolucija ventila bude što veća. To znači da njihova veličina i rastojanje između njih budu što manji. Kod jednog komercijalnog rešenja koristi se 256 ventila za izbacivanje, koji su međusobno udaljeni po 6mm [2]. Rastojanje između dela za snimanje i dela za izbacivanje treba da bude prilagođeno, u zavisnosti od vremena potrebnog za obradu slike i aktiviranje odgovarajućeg ventila, tako da se izbaci upravo neželjeni element, a ne neki ispred ili iza njega.

Sistemu prikazanom na Sl. 1 bi mogao da prethodi sistem za pranje hladnom vodom, radi otklanjanja grubih nečistoća, zatim pranje toplom vodom, radi dezinfekcije i za sušenje strujom suvog vazduha.

3. OPTIČKO – ELEKTRONSKA KOMPONENTA SISTEMA

Osvetljavanje se vrši sijalicama vrlo velike snage tako da je oblast koja se ispituje "preplavljena" svetlom. Svetlost na obrađivani biološki materijala treba da pada difuzno (tzv. osvetljenje "po oblačnom danu"), kako bi se minimizirale površine senki.

Snimanje se vrši digitalnim kamerama, među kojima su ovde pogodne trihromatske kamere, radi jednostavnije definicije boje. Kod kamera je, za ove sisteme bitna dobra prostorna rezolucija, kao i dobra rezolucija nijansi boja. Ako je potrebno povećati prostornu rezoluciju, u odnosu na onu kojom raspolaže jedna kamera, potrebno je upotrebiti više od jedne kamere.

U sistemu za snimanje se koriste zakloni koji obezbeđuju da se snimi uzan horizontalni pojas plodova – u idealnom slučaju sa po jednim plodom/elementom duž vertikalnog pravca. Neophodno je uskladiti širinu proreza na zaklonu sa sa brojem snimaka koje po jednoj sekundi napravi kamera, tako da ni jedan deo biološkog materijala ne ostane nesnimljen. Zbog toga je optimalno da se kamere nalaze blizu početka pada plodova (skoro slobodnog). U tom slučaju širina proreza, koja obezbeđuje da ni jedan deo biološkog materijala ne ostane nesnimljen, je $g/2N^2$, gde je g ubrzanje Zemljine teže, a N broj snimaka koji kamera napravi u jednoj sekundi. Sa najjednostavnijim kamerama, koje prave 15 snimaka po sekundi, širina proreza treba da bude 2,2cm, što nije pogodno za plodove sitnije od, recimo, 2,5 cm. Već sa brzinom snimanja od 30 snimaka po sekundi, neophodna širina proreza se svodi na 5,5mm, što je dovoljno za većinu plodova. Osim toga da bi se plodovi snimili sa svih strana mogu se koristiti sistemi sa ogledalima i većim brojem kamera.

Sledeća komponenta sistema je jedinica za obradu slike. Slika prolazi kroz dva postupka obrade: postupak prepoznavanja oblika i postupak prepoznavanja boje. Dok je sledeći odeljak posvećen prepoznavanju boje, ovde ćemo se ukratko osvrnuti na postupak prepoznavanja oblika voća i povrća.

Za razliku od industrijskih proizvoda, čije karakteristike su precizno definisane, voće i povrće su biološki proizvodi, što znači da čak i ako se jedinice iste vrste gaje pod istim uslovima i na potpuno isti način, oblik, veličina, boja i druge

karakteristike mogu da se razlikuju. Jednu vrstu voća ili povrća obično čine varijeteti različitog oblika, veličine ili boje, što zahteva standardizaciju postupka prepoznavanja oblika za svaki varijetet posebno.

Tehnike prepoznavanja oblika i analize slike se poslednjih decenija intenzivno razvijaju za potrebe velikog broja grana industrije i nauke [3]. Kao korisno sredstvo za prepoznavanje različitih oblika pokazale su se viševrednosne neuralne mreže (multiple-valued neural networks – MVNN). Pošto su sposobne da nauče kakav je standardni oblik određene vrste voća ili povrća, a zatim da poredi snimljenu sliku sa tim standardnim oblikom, njima mogu da se procenjuju oblici praktično bilo koje vrste voća ili povrća.

4. DEFINISANJE I PREPOZNAVANJE BOJE

Boje na digitalnom snimku su opisane pomoću tri matrice od kojih svaka odgovara po jednoj od tri osnovne boje – crvenoj, zelenoj i plavoj. Svaki element matrice označava intenzitet odgovarajuće boje u pikselu slike koji njemu odgovara. Kod programa za obradu slike, intenzitet jedne boje na pikselu obično može da ima vrednosti od 0 do 255. Čisto crnu boju imamo kada su matrice sve tri boje nulamatrice, a čisto belu kada svi elementi sve tri matrice iznose 255. Na taj način, u slučaju slike konstantne boje, razlikovali bismo $16,8 \cdot 10^6$ nijansi boja.

Vrednosti intenziteta crevene, zelene i plave boje su tristimulusne vrednosti i označavaju se sa X , Y i Z , redom. Boja piksela, je određena pomoću svetline piksela $(X+Y+Z)$ [5] i trihromatskih koeficijenata: $x=X/(X+Y+Z)$ za crvenu, $y=Y/(X+Y+Z)$ za zelenu i $z=Z/(X+Y+Z)$ za plavu boju. Pošto je zbir trihromatskih koeficijenata 1, za definisanje boje su dovoljna dva – za šta se obično koriste x i y , tzv. hromatske koordinate u prostoru boje. Postoje i drugi načini definisanja boje [5], na primer parametrima a^* , b^* i L^* , koji predstavljaju crvenu boju, plavu boju i osvetljenost redom [6]. U ovom radu su korišćeni trihromatski koeficijenti.

Osnovni problem kod prepoznavanja boje je definisati skup vrednosti hromatskih koordinata za koje je snimljena boja prihvatljiva. Radi toga je potrebno analizirati sliku na kojoj se nalaze samo prihvatljivi plodovi. Sliku standardnih plodova treba izdeliti na segmente jednake veličine. Za svaki segment se izračunava srednja vrednost x i y za sve piksele na segmentu. Na taj način se određuje oblast prihvatljive boje u prostoru boje. Princip detektovanja defekata u boji ispitivanih plodova je sledeći: snimci ispitivanih plodova se takođe dele na segmente, za koje se nalaze srednje vrednosti hromatskih koordinata. Ukoliko na određenom segmentu te vrednosti ne spadaju u oblast prihvatljive boje, plod koji je snimljen na tom segmentu ima neprihvatljivu boju i treba ga izbaciti aktiviranjem odgovarajućeg ventila. Veličina segmenta koji se analizira, treba da odgovara očekivanoj površini defekata na plodovima, tako da jednom ventilu može da odgovara više segmenata analizirane slike.

Ovaj princip je testiran na primeru graška. U toku testiranja je uočeno da su na mestima izrazito jake ili izrazito slabe osvetljenosti, skoro redovno "odbacivana" zdrava zrna. Ovo je posledica smanjenog stepena zasićenja (saturacije) boje na tim mestima, pa nijansa prividno izlazi iz oblasti prihvatljive boje. Da bi se ovo izbeglo, umesto hromatskih

koordinata korišćene su njihove vrednosti korigovane na taj način što se iz njih najpre izbaci udeo sive boje - to znači da se od intenziteta svake od tri boje na pikselu, oduzme intenzitet one boje koji je najmanji od njih (X , Y i Z). Zatim se izračuna relativni udeo svake boje u zasićenoj nijansi x_r , y_r i z_r . Za slučaj crvene boje ove vrednosti su date izrazima:

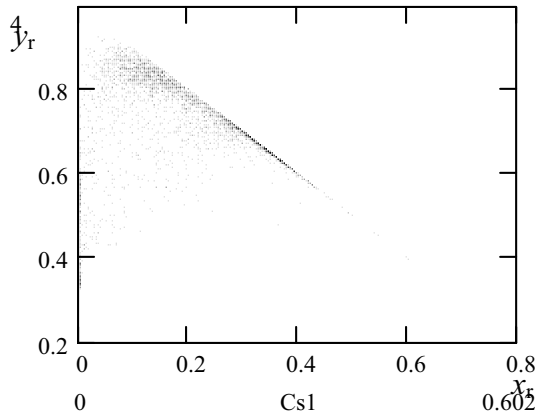
$$X' = X - \min(X, Y, Z), \quad (1)$$

i

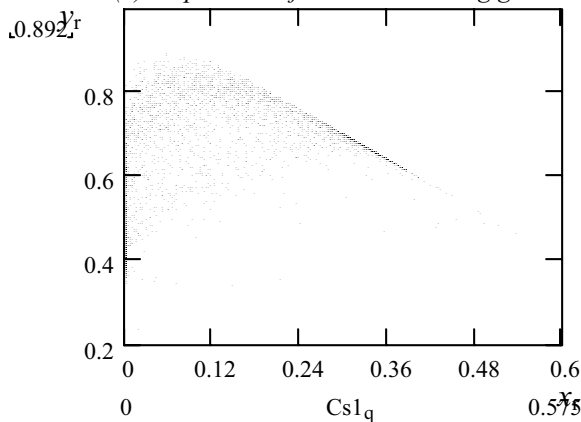
$$x_r = X' / (X' + Y' + Z') \quad (2)$$

Posle toga se gleda da li vrednosti x_r , y_r i z_r spadaju u oblast prihvatljive boje.

Na Sl. 2. su prikazane raspodele boje u $y_r - x_r$ dijagramu, za odmrznuti grašak (a) i smrznuti grašak (b).



Sl. 2. (a) raspodela boje kod odmrznutog graška



Sl. 2. (b) raspodela boje kod smrznutog graška

Uočljivo je da je u slici smrznutog graška u većoj meri prisutna plava boja, nego kod odmrznutog graška, a u manjoj crvena.

Ispitivanjem zdravih primeraka odmrznutog graška, utvrđeno je da je oblast prihvatljive boje definisana na sledeći način:

$$y_r > 0,7 \wedge x_r < 0,25 \wedge (1 - x_r - y_r) < 0,09 \text{ ili}$$

$$y_r > 0,7 \wedge x_r < 0,09 \wedge (1 - x_r - y_r) < 0,21$$

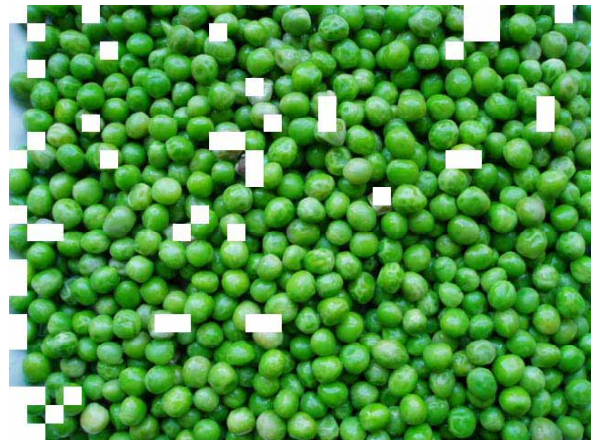
U slučaju smrznutog graška, kod definicije prihvatljive boje, spuštена je granica zelene boje ($y_r > 0,6$), a podignuta je granica plave boje ($1 - x_r - y_r < 0,4$).

U opštem slučaju treba pronaći površinu na $y_r - x_r$ dijagramu, unutar koje je boja prihvatljiva za dati proizvod. Ukoliko defekti na plodovima nisu mnogo manje površine od

površine analiziranih segmenata i ukoliko je sva snimljena površina prekrivena ispitivanim materijalom, na ovaj način bi se potpuno rešio problem odvajanja nekvalitetnih plodova. Međutim, ako je koncentracija plodova na snimku manja, tj. ako se na snimku osim plodova nalazi i pozadina drugačije boje, ta boja pozadine će biti registrovana kao neprihvatljiva i biće aktivirani ventili, koji odgovaraju delu slike na kome se vidi značajna površina pozadine. Na taj način izbacuju se i zdravi plodovi, koji okružuju sliku pozadine na snimku. Da bi se smanjio broj ovakvih slučajeva u program za analizu boje na slici uveden je i uslov da je boja pozadine prihvatljiva. Na žalost, boja pozadine može da se poklopi sa bojom nekog defekta na plodu, koji bi, na ovaj način, ostao neprimećen.

Ispitivani grašak je postavljen na belu podlogu. Analizom segmenata na kojima dominira pozadina nađeno je da su srednje vrednosti korigovanih koordinata boje na njima u bliskoj okolini vrednosti $y_r = 0,4$ i $z_r = 0,6$, što predstavlja potpuno zasićenu boju pozadine. Uvođenjem u program za analizu boje i ovakvu boju pozadine kao prihvatljivu smanjen je broj "aktiviranja ventila" u slučajevima kada na segmentu nema nekvalitetnih plodova već boju menja pojava pozadine.

Na Sl. 3. i 4. prikazane su slike sa dve različite koncentracije graška, i to na slikama (a) su prikazani segmenti za koje je ocenjeno da su prihvatljive boje, a na slikama (b) su prikazani "odbačeni segmenti".



Sl. 3. (a) Prihvaćeni segmenti slike graška

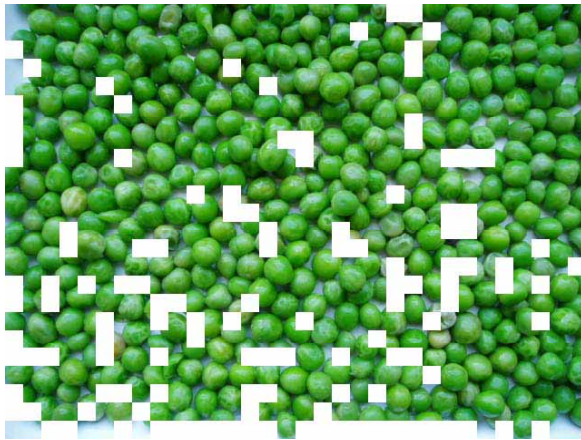


Sl. 3. (b) "Odbačeni" segmenti slike graška

Posmatranjem Sl. 3. i 4. vidi se da su "odbačeni" praktično, svi golim okom vidljivi defekti graška. Međutim, među "odbačenim" zrnima, vidljiv je značajan procenat

segmenata sa potpuno zdravim zrnima. Manja grupa ovih segmenata potiče od greške u definiciji prihvatljive boje. Površina prihvatljive boje na y_r-x_r dijagramu, u ovom radu je ograničena pravim linijama i predstavlja grubu aproksimaciju idealne površine ograničene zatvorenim krivom linijom, koja bi obuhvatila one i samo one tačke na y_r-x_r dijagramu koje predstavljaju prihvatljive boje. Nalaženjem što preciznije definicije ove površine bi se, osim smanjenja odbačenih zdravih zrna, smanjio i broj neprimećenih defekata.

Drugu i veću grupu "pogrešno odbačenih" segmenata čine oni na kojima nema dominacije ni plodova ni pozadine, već relativno ravnopravne delove površine segmenta zauzimaju i slika ploda i slika pozadine. Kod njih srednje vrednosti korigovanih hromatskih koordinata ne spadaju ni u jednu od definisanih prihvatljivih boja. Zbog toga su i takvi segmenti "odbačeni", a na njima se nalaze zdrava zrna graška. Ova pojava je utoliko prisutnija ukoliko je manja koncentracija graška na snimku (Sl.4.(b)). Eliminacija ovakve vrste grešaka u proceni boje bi se mogla izbeći samo povezivanjem analize boje sa analizom oblika na slici.



Sl. 4. (a) Prihvaćeni segmenti slike graška niže koncentracije



Sl. 4. (a) "Odbačeni" segmenti slike graška niže koncentracije

Koordinacijom programa za ispitivanje oblika i programa za ispitivanje boje bi najverovatnije moglo da se omogući ispitivanje boje samo unutar prihvatljivih oblika (na primer samo unutar oblika na slici koji se poklapaju sa prihvatljivim oblicima graška, a ne van njih). Na taj način, program za ispitivanje boje na slici ne bi ni obrađivao delove slike na

kojima se vidi pozadina i ne bi se više odbacivali zdravi plodovi koji na snimku okružuju sliku pozadine. Isto tako uočili bi se i odbacili plodovi sa defektima, čija je boja ista kao i boja pozadine.

5. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen princip rada sistema za razvrstavanje voća i povrća i njegovi osnovni delovi. Opisan je i način prepoznavanja boje, kod koga je najznačajniji korak precizno definisanje prihvatljive boje. Postupak prepoznavanja boje je ispitan na snimcima odmrznutog i smrznutog graška. Uočeno je da ukoliko je dobro definisana prihvatljiva boja, biće uočeni svi detalji dimenzija reda veličine segmenta koji su drugačije boje. Međutim, ukoliko je na snimku veća površina pozadine utoliko će više biti "odbacivani" zdravi plodovi zbog registrovanja boje pozadine kao neprihvatljive. Utvrđeno je da je najbolji način da se smanji ovakva vrsta greške povezivanje analize boje sa analizom oblika i to tako da se boja ispituje samo unutar prihvatljivih oblika, a ne i na delovima površine snimka koji predstavljaju pozadinu.

LITERATURA

- [1] S.Aubert, J.Nikolas, "Quality sorting of some vegetables by colorimetric criteria: a review (research and development in France)", ISHS Acta Horticulturae 157, www.actahort.org/books/157
- [2] Tegra Infeed/C-Belt, www.key.net
- [3] R.O.Duda, P.A.Hart, *Pattern Classification and Scene Analyses*, Adison Wesley, 1970
- [4] M.Nagata, Q.Cao, "Study on Grade Judgement of Fruit Vegetables Using Machine Vision", JIRCAS, Tokyo, 2001.
- [5] R.C.Gonzalez, R.E.Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002
- [6] Y.Ohno, J.E.Hardis, "Improved Matrix Method for Tristimulus Colorimetry of Displays", *AIC Color'97*, Kyoto, 1997.

Abstract – The paper presents, in the first part, a structure of a typical electronic sorting system for vegetables. Special attention is paid to optical and electronic parts of the system ("machine vision") which take the snapshots of the analyzed material and processes the obtained images. The aim of this image processing is recognition and localization of unwanted elements in inspected vegetables, such as foreign bodies and poor quality vegetables. In order to accomplish this the obtained image has to undergo the pattern recognition and color recognition procedures. The second half of the paper concerns the color definition and color recognition procedures, applied in detection of poor quality vegetable units. The results of the application of suggested sorting by color procedure, are shown in analyzed pictures of peas. The sources and ways of minimizing the errors are discussed.

COLOR RECOGNITION IN ELECTRONIC SORTING SYSTEMS FOR VEGETABLES

Jelena Ilic, Zoran Stoiljkovic, Aleksandar Kovacevic,
Saša Milic, Dragan Markovic