

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva

SEGMENTACIJA SLIKA TORBI DOBIVENIH UREĐAJIMA ZA SKENIRANJE PRTLJAGE

Kristina Kiš

Zagreb, 14.03.2001.

1. UVOD

Pregledavanje ručnih torbi postaje važan problem za sigurnost ne samo u zračnim lukama, već i na sudovima, u muzejima te u drugim javnim ustanovama. Za automatizaciju procesa pregledavanja torbi razvijeni su mnogobrojni elektronički uređaji bazirani na x-zrakama, CAT skeniranju ili kombinaciji različitih tehnika. Dobiveni izlaz takvih uređaja je slika unutrašnjosti torbe na kojoj se mogu raspoznati različiti predmeti koji se nalaze u torbi. Moderni uređaji imaju ugrađenu mogućnost određivanja materijala predmeta nađenih u torbama, te mogu obojati pojedine dijelove slike prema karakteristikama materijala odgovarajućih predmeta. Obojani objekti mogu se grubo podijeliti u tri kategorije – teški metali predstavljeni su plavom bojom ili tamnim akromatskim područjima, laki metali obojani su svijetlo plavim ili zelenkastim nijansama, dok su nemetali predstavljeni nijansama narančaste boje.

Nakon skeniranja slijedi drugi važan zadatak sustava za pregledavanje torbi – prepoznavanje opasnih predmeta sa slike (kao što su pištolji, noževi, bombe isl. [2], [4]). Taj dio posla mogu obavljati ljudi, specijalizirani računalni programi, ili ljudi i programi u suradnji. Kako se razvijaju uređaji za snimanje unutrašnjosti torbe, razvijaju se i programi za obradu dobivenih slika. Programi koji obrađuju slike imaju sve veću ulogu kako za pomoć ljudima u tumačenju dobivenih slika, tako i za samostalno prepoznavanje objekata na slikama. Proces raspoznavanja opasnih objekata na slici program dijeli na slijedeće faze [4]: pretprocesiranje dobivenih slika, segmentiranje slika na homogena područja, izdvajanje zanimljivih područja, uspoređivanje izdvojenih područja sa modelima te primjena znanja o svojstvima objekata radi raspoznavanja pojedinih objekata. Ovaj rad opisuje postupak segmentiranja slika dobivenih uređajem za skeniranje algoritmom «Split and merge» (podijeli i spoji), te izdvajanje zanimljivih dijelova slike koji odgovaraju predmetima od teških metala. Slike prtljage korištene u eksperimentu su u boji, obojane u skladu sa materijalima pripadnih predmeta. Dobivene su uređajima za skeniranje na zagrebačkoj zračnoj luci Pleso, za potrebe projekta «Razvoj sustava za automatsku detekciju opasnih predmeta na slikama ručne prtljage dobivenim x-zrakama» podržanog od Ministarstva znanosti i tehnologije. Kriterij za segmentaciju slike kombinira podatke o boji i intenzitetu pojedinih područja, što daje pouzdanije rezultate od segmentiranja korištenjem samo jednog od kriterija. Područjima dobivenim segmentacijom pridjeljen je težinski faktor, koji predstavlja vjerojatnost da zadano područje slike odgovara predmetu od teškog metala.

2. SEGMENTACIJA SLIKE

Slika se za potrebe računala definira kao dvodimenzionalni vektor u kojem vrijednost svakog polja opisuje boju (prestavljenu u nekom od zadanih prostora boje) [1]. Píksel je jedan član vektora slike sa zadanim indeksom. Píkseli su osnovni elementi slike, te se svaka druga podjela slike temelji na podacima o píkselima. Osnovno svojstvo píksela je njegova boja, te će se u daljnjem izlaganju píksel poistovjetiti sa pripadnom bojom.

Prilikom interpretacije slike čovjek može razlučiti jedan ili više različitih objekata na slici. Kako bi računalo stvorilo predodžbu slike što sličniju ljudskoj, slika se mora segmentirati (čovjekovim navođenjem ili automatski, algoritmima za segmentaciju). Rezultat segmentacije je podjela slike na regije, gdje se regija definira kao skup međusobno povezanih (susjednih) píksela sa sličnim karakteristikama. Regije su način na koji računalo može predočiti ono što čovjek vidi kao zasebnu cjelinu slike. Segmentacija mora dati sustav regija takav da svaka regija pripada jednom objektu ili dijelu objekta na slici. Dobra podjela na regije nužan je preduvjet za sve kasnije faze obrade i prepoznavanja pojedinih objekata. Zbog šuma na slici ili lošeg osvjetljenja, regije stvorene segmentacijom ne odgovaraju uvijek precizno pojedinim objektima, te za pravilno razvrstavanje objekata treba primjeniti svo unaprijed poznato znanje o njihovim karakteristikama.

Dva glavna pristupa za podjelu slike na regije su segmentacija na temelju sličnosti boja i detekcija rubova [1], [9]. Kod segmentacije na temelju sličnosti grupiraju se susjedni píkseli sličnih karakteristika i formiraju regije. Detekcija rubova temelji se na nalaženju píksela koji leže na granicama objekata gledajući razliku u odnosu na susjedne píksel sa obe strane granice. Metoda «Split and merge» korištena u ovom radu zasniva se na provjeravanju sličnosti susjednih grupa píksela.

2.1. Stvaranje regija

Regija je skup susjednih píksela koji imaju slične karakteristike [1]. Značenje riječi «slične» može se definirati na više načina, a formalno se opisuje pomoću predikata homogenosti F . Neka je I oznaka za sliku (skup svih píksela slike). Predikat homogenosti se definira nad partitivnim skupom skupa I , gdje je oznaka za partitivni skup $\Pi(I) = 2^I$. Partitivni skup je skup svih mogućih podskupova od I . Za zadani skup píksela $S \in 2^I$ predikat $F(S)$ poprima vrijednost ISTINA (\blacklozen) ili NEISTINA (\perp), ovisno o tome jesu li članovi skupa S međusobno «slični»:

$$\tau F: 2^I \rightarrow \{\blacklozen, \perp\}$$

Prefiks τ označava istinitost predikata. Ako skup píksela S zadovoljava $F(S)$, kažemo da je S homogen.

Ostaje još definirati susjednost píksela. Dva píksela su susjedna ako se nalaze «jedan do drugog» u vektoru slike. Píksel P_1 na poziciji (i_1, j_1) unutar slike i píksel P_2 na poziciji (i_2, j_2) su susjedni ako vrijedi jedan od uvijeta:

$$i_1 = i_2 \pm 1 \text{ i } j_1 = j_2; \text{ ili} \\ j_1 = j_2 \pm 1 \text{ i } i_1 = i_2.$$

Uz zadani predikat F , slika I se segmentacijom partitionira na skup od n regija R_1, \dots, R_n tako da su zadovoljena slijedeća pravila [1], [9]:

Unija n regija pokriva cijelu sliku:

$$\bigcup_{i=1}^n R_i = I$$

Svake dvije regije međusobno su disjunktne:

$$R_i \cap R_j = \emptyset, \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j$$

Svaka od n regija zadovoljava predikat $F(R)$:

$$\tau F(R_i) = \blacklozenge \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

Svake dvije susjedne regije i i j ne mogu se spojiti u jedinstvenu regiju prema predikatu $F(R)$:

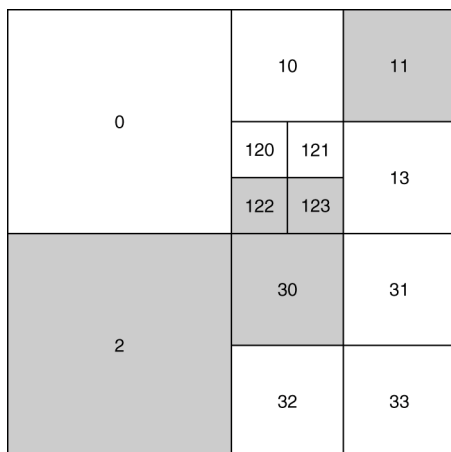
$$\tau F(R_i \cup R_j) = \perp$$

Regije R_i i R_j su susjedne ako su susjedna bilo koja dva piksela P_1 i P_2 , gdje je $P_1 \in R_i$ i $P_2 \in R_j$.

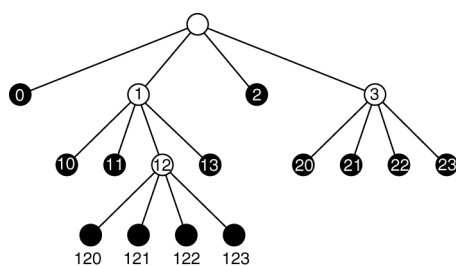
Prva dva pravila govore o tome da stvorene regije čine particiju slike I . Treće i četvrto pravilo opisuju utjecaj predikata na stvaranje regija. Za različite predikate homogenosti F dobiva se različita podjela na regije. Izbor predikata ima važan utjecaj na efikasnost segmentacije.

2.2. Reprezentacija slike

Za potrebe segmentacije slika se reprezentira pomoću kvaternarnog stabla (Slika 1.) [7], [8]. Kvaternarno stablo je stablo čiji su čvorovi ili listovi stabla, ili su unutrašnji čvorovi koji sadrže točno četvero djece. Svaki list stabla predstavlja određeni kvadratni dio slike. Ako listove opišemo kao skup piksela $S \subseteq I$ takav da elementi od S popunjavaju određeni kvadratni prostor unutar slike, tada možemo reći da listovi stabla čine particiju slike – svaka dva lista su disjunktna, a unija svih listova odgovara cijeloj slici. Stablo se formira prema zadanom predikatu homogenosti F – za sve listove S mora vrijediti $\tau F(S) = \blacklozenge$, dok za sve unutrašnje čvorove vrijedi $\tau F(S) = \perp$. Drugim riječima, listovi stabla su nužno homogeni, dok su unutrašnji čvorovi nužno nehomogeni. Veza između regija i listova stabla je slijedeća – svaki list pripada određenoj regiji; jedna regija može se sastojati od proizvoljno mnogo listova.



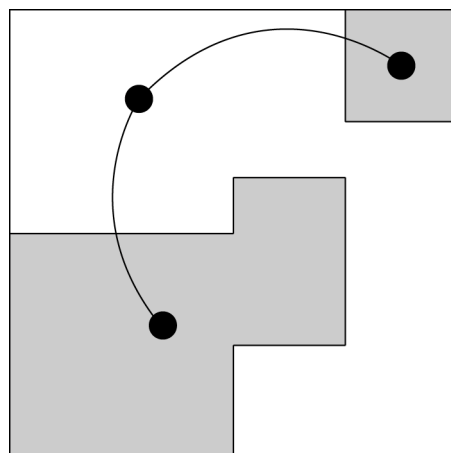
(a)



(b)

Slika 1: Gradnja kvaternarnog stabla i numeriranje čvorova. Podjela slike na homogena kvadratna područja (a) i pripadajuće stablo (b). Listovi stabla označeni su crnim krugovima na slici (b), a unutrašnji čvorovi bijelim. Slika se sastoji od tri regije – prvoj pripadaju čvorovi 0, 10, 120, 121, 13, 31, 32 i 33, druga regija sadrži čvor 11, a treća regija sastoji se od preostalih čvorova 122, 123, 2 i 30.

Razlika između listova stabla i regija implicira potrebu za posebnom strukturom za čuvanje podataka o samim regijama. Graf susjednosti regija (RAG – region adjacency graph) opisuje svojstva regija i veze između regija. Ako čvorovi grafa predstavljaju regije, tada lukovi grafa opisuju granice između regija – ukoliko postoji luk između dva čvora, pripadne regije su susjedne (Slika 2.).



Slika 2: Graf susjednosti regija. Crne točke predstavljaju čvorove grafa (regije), a lukovi između čvorova označavaju susjednost regija.

2.3. Algoritam «Split and merge»

Metoda «Split and merge» (podijeli i spoji) provjerava vrijednost predikata F za pojedine skupove piksela, te formira regije na temelju njihove homogenosti. Algoritam se sastoji od slijedećih koraka [1]:

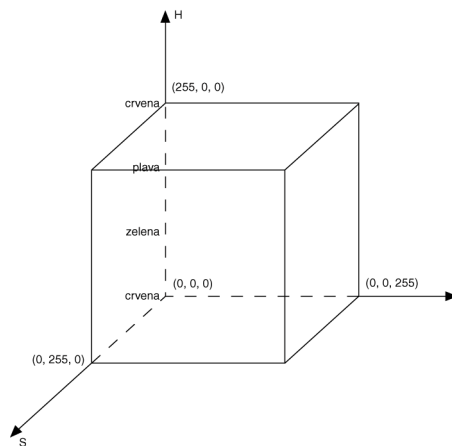
- 0) Slika se dijeli na inicijalne regije veličine $d \times d$, gdje je d neka unaprijed zadana veličina. Kretanjem od pretpostavke da su regije veličine $d \times d$ pretežno homogene te da su regije bilo koje veće površine pretežno nehomogene skraćuje se vrijeme izvođenja algoritma.
- 1) Uzimamo regiju R i provjeravamo njezinu homogenost. Ako je regija nehomogena, odnosno vrijedi $\tau F(R) = \perp$, regija se dijeli na četiri jednake podregije.
- 2) Za sve susjedne regije R_1, R_2, \dots, R_k , provjeravamo vrijednost $\tau F(R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_k)$. Ako vrijedi $\tau F(R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_k) = \diamond$, zadanih k regija spajamo u jedinstvenu regiju.
- 3) Koraci 1) i 2) se ponavljaju sve dok se niti jedna regija ne može više podijeliti ili spojiti sa nekom susjednom regijom.

Korak 0) pretpostavlja gradnju inicijalnog kvaternarnog stabla čiji listovi predstavljaju područja slike zadane veličine $d \times d$. Ako se u 1. koraku za neki od listova izgrađenog stabla nađe nehomogenost, zadanom čvoru stvara se četvero djece. Ukoliko se uspostavi da je čvor homogen, tada on jest list stabla. U trećem koraku provjerava se da li postoji regija u okolini lista koja je veće površine od zadanog lista. Ako ustanovimo da takva regija ne postoji, stvaramo novu regiju koja se sastoji samo od promatranog lista. Ukoliko postoje susjedne regije sa kojima je zadani list homogen, sve promatrane regije se uništavaju i stvara se nova jedinstvena regija pridružena svim obuhvaćenim listovima. U slučaju da se ustanovi da je svo četvero djece jednog čvora pridruženo istoj regiji, djeca se brišu i njihov roditelj postaje novi list stabla.

3. STUPANJ OBOJENOSTI

Slike dobivene uređajima za detekciju su u boji, predstavljene RGB modelom sa 8 bita po svakoj od boja. U RGB modelu [2] svaka boja je predstavljena pomoću primarnih komponenti spektra: crvene (R – *red*), zelene (G – *green*) i plave (B – *blue*) boje. Model boje opisuje se općenito kao specifikacija 3D koordinatnog sustava i potprostora unutar tog sustava gdje je svaka od mogućih boja predstavljena jednom točkom. Za opis boje dovoljne su tri komponente koje čine bazu vektorskog prostora, tako da se svaka boja može izraziti kao linearna kombinacija izabranih komponenti. RGB model može se opisati pomoću Kartezijevog koordinatnog sustava u kojem osi odgovaraju komponentama R, G i B. Zanimljivi potprostor u tom sustavu je jedinična kocka smještena između ishodišta i točke (1, 1, 1). Svaka boja opisuje se udjelom crvene, zelene i plave komponente. Moguća vrijednost udjela neke od komponenti u izabranoj boji kreće se između 0 i 1, što znači da ne postoji boja koja se nalazi u prostoru izvan jedinične kocke. Za potrebe računala vrijednost komponenta boje se diskretizira. U slučaju kada je jedna komponenta opisana sa 8 bita, ona može poprimiti diskretne vrijednosti između 0 i 255. Ako promatrani interval komponente [0, 1] transformiramo u interval [0, 255], zanimljivi potprostor možemo opisati kao kocku sa stranicama veličine 255, smještenu između ishodišta i točke (255, 255, 255). Ovakvom transformacijom karakteristike sustava se ne mijenjaju.

Za segmentaciju slike u boji najzanimljiviji je HSI model boje [2], [3]. U HSI modelu boja je opisana komponentama nijanse (H – *hue*), zasićenja (S – *saturation*) i intenziteta (I – *intensity*). Zanimljivost ovog modela proizlazi iz činjenice da je blizak načinu na koji čovjek doživljava boje. U njemu je intenzitet boje I odvojen od informacije o boji predstavljene nijansom i zasićenjem. Komponenta H opisuje nijansu boje (žuta, crvena, plava...), a zasićenje S predstavlja stupanj do kojeg je zadana nijansa rezrijeđena bijelim svjetlom (ružičasta boja ima istu nijansu kao crvena, ali je slabije zasićena). Ako HSI model predstavimo Kartezijevim koordinatnim sustavom, možemo zanemariti podatak o nijansi i promatrati svojstva boje u S-I ravnini (ravnini okomitoj na H os). Ako su pojedine komponente predstavljene sa 8 bita (Slika 3.), zanimljivi potprostor je također kocka sa jednim rubom u ishodištu i suprotnim rubom u (255, 255, 255), što se u I-S ravnini preslikava u kvadrat sa suprotnim rubovima (0, 0) i (255, 255).



Slika 3: Potprostor u Kartezijevom koordinatnom sustavu sa osima H (nijansa), S (zasićenje) i I (intenzitet)

Boja se iz sustava RGB može transformirati u sustav HSI pomoću slijedećih formula:

$$I = \sup(R, G, B) \quad (1)$$

$$S = 255 \frac{I - \inf(R, G, B)}{I} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \frac{255}{6} \frac{G - B}{I - \inf(R, G, B)} & \text{za } I = R \\ \frac{255}{6} \left(2 + \frac{B - R}{I - \inf(R, G, B)} \right) & \text{za } I = G \\ \frac{255}{6} \left(4 + \frac{R - G}{I - \inf(R, G, B)} \right) & \text{za } I = B \end{cases} \quad (3)$$

Zadane formule pretpostavljaju komponente boje predstavljene sa 8 bita u oba sustava. Komponenta H je periodička veličina, te se oduzimanjem ili zbrajanjem višekratnika broja 256 vrijednost H uvijek može svesti na interval [0, 255]. Vrijednost 0 kao i vrijednost 256 u opisanom modelu odgovaraju crvenoj boji.

3.1. Kromatski i akromatski potprostor

Kada čovjek prepoznaje objekt (na slici ili u stvarnosti), najvažnije svojstvo za izdvajanje objekta od drugih objekata je nijansa boje [3]. Pri različitim uvjetima osvjetljenja crveni objekt ostaje crven, iako mu intenzitet i zasićenje znatno variraju. Međutim, prethodna tvrdnja ipak ne vrijedi za ekstremne uvijete osvjetljenja – uz slabo osvjetljenje, objekti izgledaju crni; uz snažno osvjetljenje dolazi do smanjenja zasićenja objekta. Za objekte koji su akromatski bilo po svojoj prirodi bilo zbog osvjetljenja, nijansa nema nikakvo značenje, te najvažnije svojstvo za raspoznavanje objekata postaje intenzitet. Akromatski dijelovi slike prepoznaju se po niskom intenzitetu ili zasićenju. Za takve uvijete iz izraza (1) – (3) izvodi se slijedeće [3]:

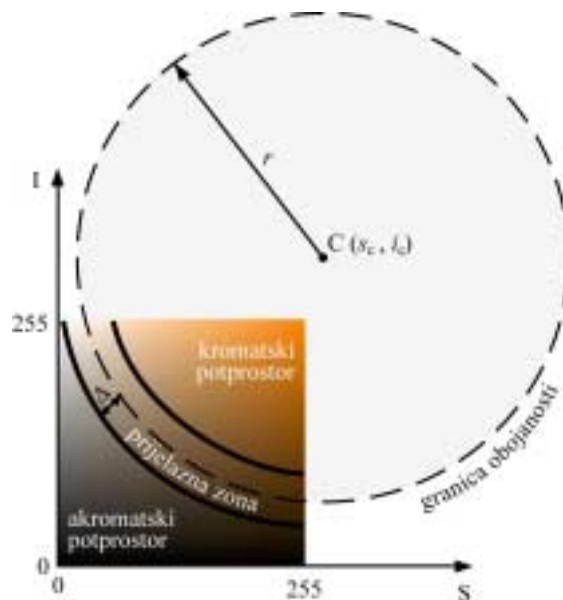
$$\frac{\Delta H}{H} \leq \frac{\Delta(C_1 - C_2)}{|C_1 - C_2|} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta S}{S} \quad (4)$$

Varijable C_1 i C_2 poprimaju vrijednosti R, G ili B, ovisno o tome koja od jednadžbi (3) se koristi za opis nijanse. Iz izraza (4) vidi se da u akromatskim uvjetima (sa malim vrijednostima S ili I) čak i malo odstupanje ΔS ili ΔI dovodi do velike nesigurnosti $\frac{\Delta H}{H}$, što pokazuje da nijansa postaje loš kriterij za prepoznavanje objekata.

Za dobivanje zadovoljavajućih rezultata segmentacije algoritam mora sadržavati metodu za razvrstavanje piksela na kromatske i akromatske. Na kromatskim područjima slike objekti se tada raspoznaju prema njihovoj nijansi, dok se na akromatskim područjima za razvrstavanje objekata koristi svojstvo intenziteta. Promatrajući neku S-I ravninu može se primjetiti da postoje područja boje za koja čovjek ne može sa sigurnošću utvrditi jesu li kromatska ili akromatska. Boje koje pripadaju tim područjima najbolje je klasificirati kao «djelomično kromatske» ili «djelomično akromatske». Za klasifikaciju piksela P prema njegovim kromatskim svojstvima uvodi se funkcija *stupnja obojanosti* $c(P)$. Funkcija $c(P)$ mora zadovoljavati slijedeća svojstva:

$c(P) = 1$	\Leftrightarrow	piksel P je potpuno kromatski
$0.5 \leq c(P) < 1$	\Leftrightarrow	piksel P je djelomično kromatski
$0 < c(P) < 0.5$	\Leftrightarrow	piksel P je djelomično akromatski
$c(P) = 0$	\Leftrightarrow	piksel P je potpuno akromatski

Stupanj obojanosti ne razvrstava piksel kao kromatski ili akromatski, već poprima kontinuirane vrijednosti između 0 i 1 tako da veće vrijednosti $c(P)$ pripadaju više kromatskim pikselima. Uzimajući u obzir $c(P)$, prostor boja možemo podijeliti na kromatski potprostor (gdje spadaju boje piksela za koje vrijedi $c(P) \geq 0.5$) i akromatski potprostor (boje onih piksela za koje $c(P) < 0.5$). Možemo također definirati i prijelaznu zonu, gdje spadaju sve one boje za čije pripadajuće piksele vrijedi $0 < c(P) < 1$ (Slika 4.). Stupanj obojanosti je funkcija zasićenosti i intenziteta boje, te ne ovisi o njezinoj nijansi.



Slika 4: Kromatski i akromatski dijelovi S-I ravnine, prijelazna zona i granica obojanosti.

3.2. Računanje stupnja obojanosti

Izabrana metoda za računanje stupnja obojanosti sastoji se od procjene granice obojanosti (Slika 4.), te procjene širine prijelazne zone. Granica obojanosti je krivulja u S-I ravnini za koju vrijedi $c(P) = 0.5$. Ona dijeli prostor boje na kromatski i akromatski potprostor. Izbor granice obojanosti je heuristički i temelji se na ljudskoj procjeni potprostora koji se može smatrati kromatskim ili akromatskim. Za potrebe ovog algoritma granica obojanosti je aproksimirana dijelom kružnice. Polovica širine prijelazne zone (Δ) je procjena maksimalne Euklidske udaljenosti piksela P od granice obojanosti, gdje piksel P nije niti potpuno kromatski niti potpuno akromatski. Prijelazna zona je smještena simetrično s obzirom na granicu obojanosti.

Za određivanje potprostora u kojem se piksel P nalazi možemo definirati funkciju $s(P)$ na slijedeći način:

$$\begin{aligned}
s(P) = -1 & \Leftrightarrow \text{ piksel } P \text{ je u akromatskom potprostoru} \\
s(P) = +1 & \Leftrightarrow \text{ piksel } P \text{ je u kromatskom potprostoru}
\end{aligned}$$

Uz definirane pojmove širine prijelazne zone (2Δ) i funkcije pripadnosti kromatskom prostoru $s(P)$, stupanj obojanosti računamo na slijedeći način [3]:

$$c(P) = \frac{1}{2} \left(1 + s(P) \tanh\left(2 \frac{d}{\Delta}\right) \right) \quad (5)$$

Stupanj obojanosti je funkcija udaljenosti d piksela P od granice obojanosti. Udaljenost d ovisi o intenzitetu i zasićenju piksela. Ovakva definicija stupnja obojanosti u praktičnim primjenama zadovoljava ranije navedene zahtjeve na funkciju $c(P)$:

$$\begin{aligned}
c(P) > 0.98 & \Leftrightarrow \text{ piksel } P \text{ je potpuno kromatski } (d > \Delta \text{ i } s(P) = +1) \\
0.5 \leq c(P) \leq 0.98 & \Leftrightarrow \text{ piksel } P \text{ je djelomično kromatski } (d \leq \Delta \text{ i } s(P) = +1) \\
0.02 \leq c(P) < 0.5 & \Leftrightarrow \text{ piksel } P \text{ je djelomično akromatski } (d \leq \Delta \text{ i } s(P) = -1) \\
c(P) < 0.02 & \Leftrightarrow \text{ piksel } P \text{ je potpuno akromatski } (d > \Delta \text{ i } s(P) = -1)
\end{aligned}$$

Granica obojanosti aproksimirana je kružnicom radijusa r sa centrom u $C(s_c, i_c)$. Centar kružnice nalazi se izvan potprostora u kojem su definirane boje, te se udaljenost piksela P od granice obojanosti računa prema jednostavnoj formuli:

$$d = |d_{PC} - r| \quad (6)$$

Vrijednost d_{PC} predstavlja udaljenost piksela P od centra C . Ako koordinate piksela P u S-I ravnini opišemo varijablama s i i , izraz (6) može se izračunati kao:

$$d = \left| \sqrt{(s - s_c)^2 + (i - i_c)^2} - r \right| \quad (7)$$

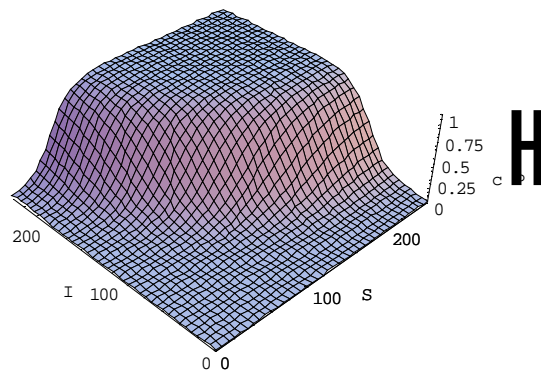
Za funkciju $s(P)$ vrijedi slijedeće:

$$s(P) = -\text{sgn}(d_{PC} - r) = \text{sgn}(r - d_{PC}) = \text{sgn}(\tanh(r - d_{PC})) \quad (8)$$

Pomoću (7) i (8) izraz za stupanj obojanosti (5) prelazi u slijedeći oblik:

$$c(P) = \frac{1}{2} \left(1 + \tanh\left(2 \frac{r - \sqrt{(s - s_c)^2 + (i - i_c)^2}}{\Delta}\right) \right) \quad (9)$$

Ovisnost $c(P)$ o vrijednostima intenziteta i zasićenja piksela grafički je predložena na slici 5.



Slika 5: Stupanj obojanosti kao funkcija intenziteta i zasićenja

4. PREDIKAT HOMOGENOSTI

Na temelju prethodnih razmatranja potrebno je izabrati prikladan predikat homogenosti za segmentaciju slika u boji. O izboru predikata homogenosti uvelike ovisi efikasnost segmentacije. Prilikom segmentacije akromatskih slika predikat se najčešće definira pomoću varijance intenziteta. Budući da predikat mora razlikovati kromatska i akromatska područja, njegova forma postaje složenija. Problem odabira predikata može se razložiti na slijedeće dijelove:

(a) Ako je svaki piksel regije R je potpuno kromatski, regija je homogena kada ima malu standardnu devijaciju u nijansi boje σ_H :

$$F(R) \equiv \sigma_H < T_H \quad (10)$$

Vrijednost T_H je unaprijed zadani prag.

(b) Ako se regija R sastoji od potpuno akromatskih piksela, ona je homogena u slučaju da je standardna devijacija intenziteta manja od zadanog praga T_I :

$$F(R) \equiv \sigma_I < T_I \quad (11)$$

(c) Kada funkcija $c(P)$ ima konstantnu vrijednost na cijelom području regije, ali regija nije niti potpuno kromatska niti potpuno akromatska, vrijedi slijedeće:

$$F(R) \equiv k_H \sigma_H c(R) + k_I \sigma_I (1 - c(R)) < 1 \quad (12)$$

Vrijednost $c(R)$ jednaka je po iznosu vrijednosti $c(P)$ na području regije R i predstavlja zajednički stupanj obojanosti svih piksela u regiji. Općenito se može definirati kao aritmetička sredina stupnja obojanosti svih n

piksela u regiji: $c(R) = \frac{\sum_{i=1}^n c(P_i)}{n}$. Vrijednosti k_H i k_I su konstante i vrijedi $k_H = 1/T_H$, $k_I = 1/T_I$. Za određivanje

homogenosti regije ovdje su važne standardne devijacije i nijanse i intenziteta. Homogenost više kromatskih regija više ovisi o iznosu standardne devijacije nijanse, što osigurava funkcija $c(R)$. Analogno, homogenost više akromatskih regija ovisit će pretežno o standardnoj devijaciji intenziteta. Za potpuno kromatske ili akromatske regije predikat (12) transformira se u (10) (zbog $c(R) = 1$) ili u (11) (zbog $c(R) = 0$).

(d) U slučaju da regija ima standardne devijacije nijanse i intenziteta jednake nuli, a stupanj obojanosti nije konstantan, svi pikseli u regiji imaju jednak iznos nijanse i intenziteta i razlikuju se u zasićenju. Homogenost regije procjenjuje se na temelju standardne devijacije stupnja obojanosti:

$$F(R) \equiv \sigma_C < T_C \quad (13)$$

(e) Svi preostali slučajevi su kombinacija slučajeva (12) i (13). Predikat homogenosti iznosi:

$$F(R) \equiv k_H \sigma_H c(R) + k_I \sigma_I (1-c(R)) + k_C \sigma_C < 1 \quad (14)$$

Vrijednost k_C iznosi $1/T_C$. Uz zanemarivu standardnu devijaciju stupnja obojanosti, funkcija $c(P)$ ima konstantnu vrijednost na cjelom području regije i izraz (14) prelazi u (12). Ako σ_C nije zanemarivo, a vrijednosti σ_H i σ_I su male, slučaj (e) jednak je slučaju (d). Vrijednost T_C odabire se tako da za nezanemarive vrijednosti σ_C predikat (13) dobiva vrijednost istinitosti \perp . Ako iznosi σ_H i σ_I porastu, vrijednost istinitosti predikata (14) se ne mijenja.

5. TEŽINSKI FAKTOR REGIJE

Opasni predmeti koje je potrebno raspoznati građeni su od teških metala, što je na slikama torbi označeno tamno plavom bojom ili crnim područjima. Za procjenu vjerojatnosti da neka regija R dobivena segmentacijom odgovara metalnom predmetu, uvodimo težinski faktor $w(R)$. Težinskom faktoru regije pridonose težinski faktor nijanse $w_H(R)$ i težinski faktor intenziteta $w_I(R)$, koji se računaju zasebno:

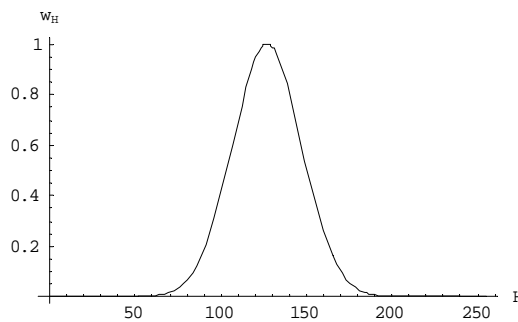
$$w(R) = c(R) w_H(R) + (1 - c(R)) w_I(R) \quad (15)$$

Što je regija više kromatska, to je važniji $w_H(R)$ u iznosu težinskog faktora regije. Težinski faktor akromatskih regija više se bazira na iznosu $w_I(R)$. Težinski faktor regije poprima vrijednost između 0 i 1, s time da regije sa većom vjerojatnošću označavanja metala poprimaju veće vrijednosti.

Težinski faktor nijanse računa se iz udaljenosti prevladavajuće nijanse regije h_R i nijanse boje koja označava metal h_M . Raspodjela $w_H(R)$ slijedi Gaussovu krivulju:

$$w_H(R) = \exp\left(-\frac{(h_R - h_M)^2}{2\delta_H^2}\right) \quad (16)$$

Za nijansu metala h_M pretpostavljeno je da se nalazi na sredini intervala u kojem su definirane nijanse (u ovom slučaju to iznosi 127). Konstanta δ_H određuje nagib krivulje (u ovom pokusu $\delta_H = 20$). Ako je nijansa h_R blizu h_M , težinski faktor nijanse ima vrijednost blisku jedinici. Udaljavanjem nijanse regije od nijanse h_M na bilo koju stranu, $w_H(R)$ eksponencijalno opada (Slika 6.).

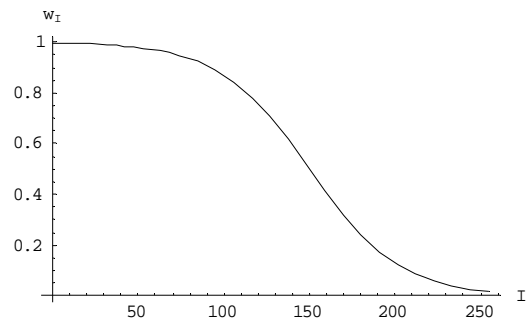


Slika 6: Težinski faktor nijanse regije

Težinski faktor intenziteta poprima najveće vrijednosti za niske iznose intenziteta regije i_R :

$$w_I(R) = 1 - \frac{1}{2} \left(1 + \tanh\left(2 \frac{i_R - i_C}{255 - i_C}\right)\right) \quad (17)$$

U ovom pokusu konstanta i_C iznosi 150. Ona odgovara vrijednosti intenziteta za koju funkcija $w_I(R)$ poprima vrijednost 0.5. Oblik funkcije $w_I(R)$ za različite vrijednosti intenziteta regije može se vidjeti na slici 7.



Slika 7: Težinski faktor intenziteta regije

6. REZULTATI POKUSA

Na slici 8. dani su primjeri slika torbi dobivenih uređajima za skeniranje prtljage. U torbe su umetnuti metalni predmeti kao što su pištolji i noževi. Usporedba rezultata segmentacije danih slika upotrebom različitih predikata, funkcija stupnja obojenosti i širine prijelazne zone dani su na slikama 9. – 12. Regije dobivene segmentacijom obojane su u skladu s težinskim faktorom regije tako da su zanimljivijim regijama pridjeljene svjetlije nijanse.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

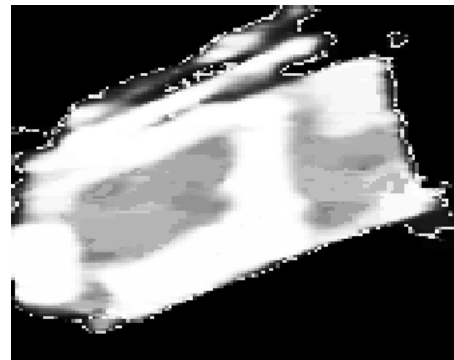
Slika 8: Primjeri slika unutrašnjosti prtljage sa umetnutim opasnim predmetima od teškog metala

6.1. Utjecaj predikata na rezultat segmentacije

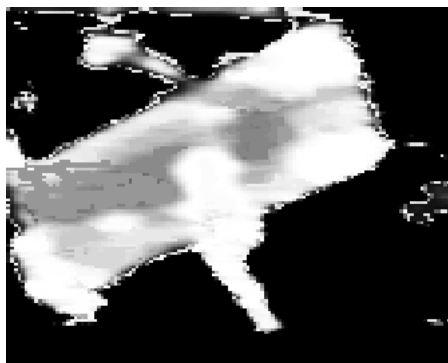
Izrazom (14) opisan je složeni predikat homogenosti koji vodi računa o intenzitetu, nijansi boje i kromatskim svojstvima regije. Na slikama 9. i 10. uspoređeni su rezultati segmentacije upotrebom jednostavnih predikata (10) i (11), koji ovise samo o boji ili intenzitetu, bez obzira na kromatska svojstva. Na slici 9. može se uočiti da segmentacija samo na temelju boje ne daje zadovoljavajuće rezultate u ovoj primjeni. Pojedini objekti na slici su prožeti akromatskim dijelovima koji nemaju nužno istu nijansu, budući da tamo nijansa nema značenje. Slika 10. pravilnije razvrstava regije, ali ne razlikuje objekte sličnih intenziteta čak i kad imaju potpuno različitu boju. Plavi objekti prepoznaju se kao homogeni, ali im se ne pridjeljuje visoki težinski faktor.



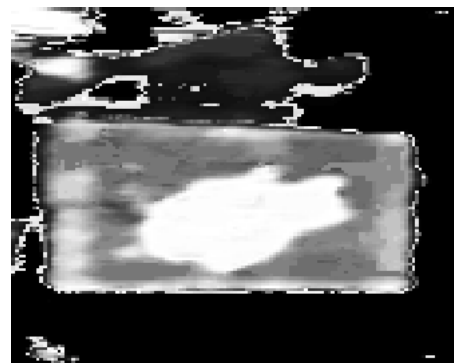
(a)



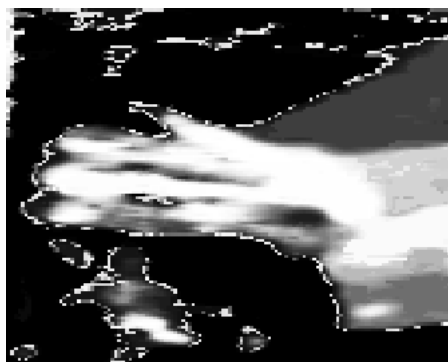
(b)



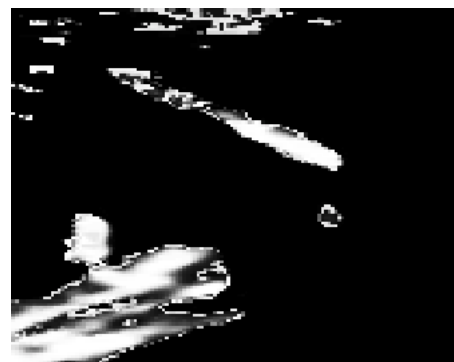
(c)



(d)

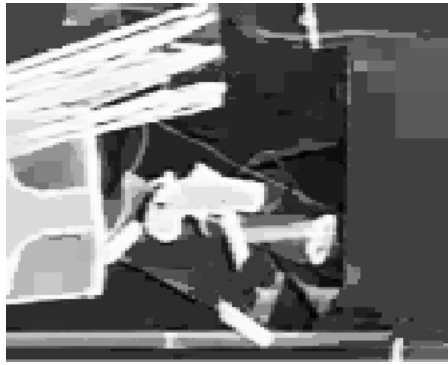


(e)

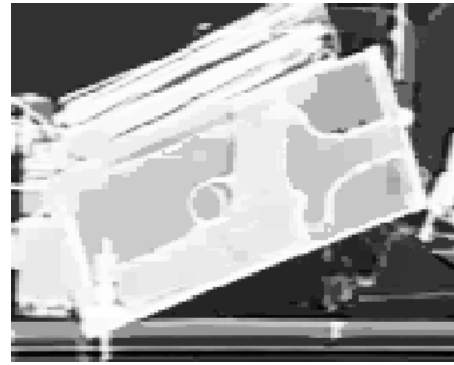


(f)

Slika 9: Segmentirane slike prtljage koristeći predikat (10). Izabrani prag iznosi $T_H = 4$. Slike su segmentirane samo na temelju informacije o nijansi boje objekata, ne vodeći računa o intenzitetu i kromatskim svojstvima regija. Objekti su obojani prema težinskom faktoru w_H .



(a)



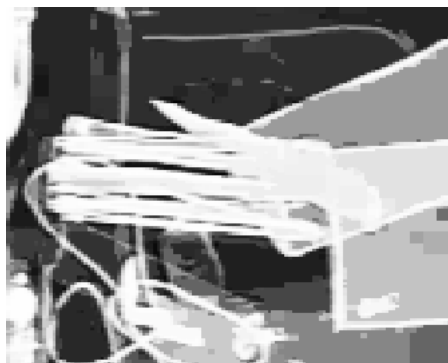
(b)



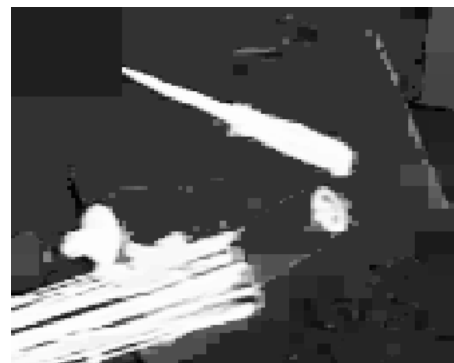
(c)



(d)



(e)



(f)

Slika 10: Slike segmentirane prema predikatu (11) sa pragom $T_l = 4$. Segmentacija je rađena na temelju svojstva intenziteta objekata, bez obzira na njihovu nijansu boje i kromatska svojstva. Objekti su obojani prema težinskom faktoru w_l .

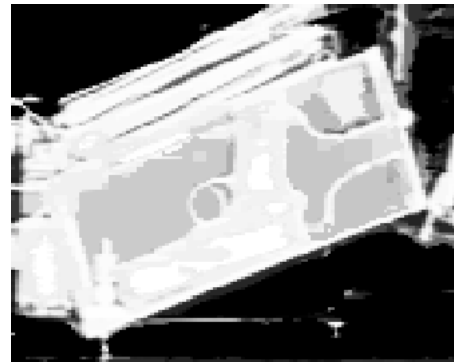
6.2. Utjecaj izbora funkcije $c(P)$ na rezultat segmentacije

Metode prikazane slikama 11. i 12. uzimaju u obzir i nijansu i intenzitet prilikom segmentacije, ali koriste različite funkcije $c(P)$. Za partitioniranje slike na regije korišten je predikat (14), nakon čega su regije obojane koristeći složeni težinski faktor (15). Na slici 11. prikazani su rezultati segmentacije korištenjem binarne funkcije $c(P)$. Funkcija poprima vrijednost 0 za sve piksele iz akromatske zone, te vrijednost 1 za piksele iz kromatske zone. Binarna funkcija $c(P)$ može se promatrati kao funkcija (9) u slučaju kada poluširina prijelazne zone Δ teži prema nuli. Svrstavanje piksela iz prijelazne zone u strogo kromatske (akromatske) dovodi do

zanemarenja dijela njihove akromatske (kromatske) prirode. Skup piksela može pogrešno biti proglašen homogenim na temelju homogenosti samo jedne od tih dviju osobina. Prilikom određivanja težinskog faktora također se zanemaruje jedno od dva svojstva regije, što dovodi do neprecizne odluke. Na slici 12 prikazani su rezultati segmentacije uz stupanj obojenosti opisan izrazom (9), uzimajući u obzir sva prethodna razmatranja. To su konačni rezultati dobiveni ovim pokusom.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

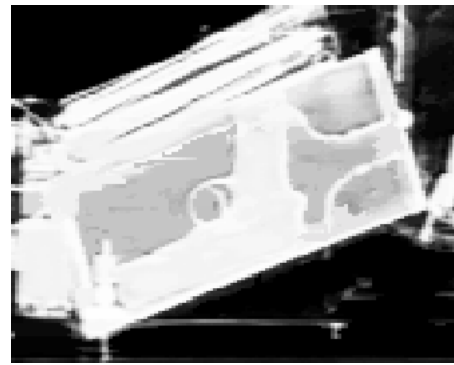


(f)

Slika 11: Slike dobivene segmentacijom pomoću binarnog faktora obojanosti. Eksperimentalno utvrđene konstante predikata iznose $k_H = 0.15$, $k_I = 0.15$ i $k_C = 40$. Konstante za određivanje granične krivulje iznose $s_c = 255$, $i_c = 290$, $r = 210$.



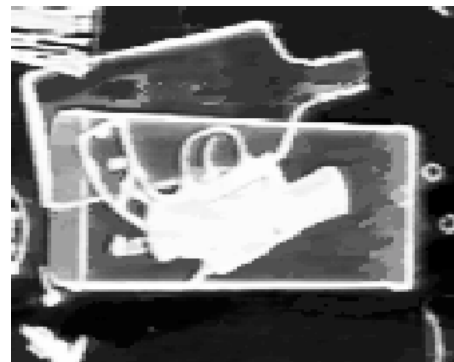
(a)



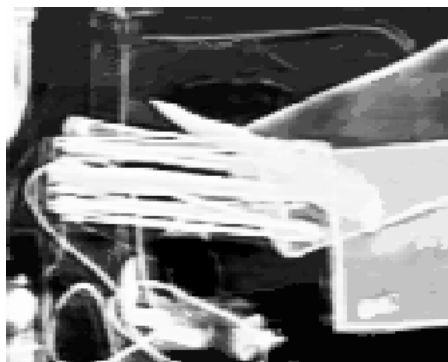
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Slika 12: Konačni rezultati segmentacije slika unutrašnjosti prtljage i bojanje dobivenih regija prema težinskom faktoru w . Svijetle regije odgovaraju metalnim predmetima. Eksperimentalno utvrđene konstante predikata iznose $k_H = 0.15$, $k_I = 0.15$ i $k_C = 40$. Konstante za određivanje granične krivulje iznose $s_c = 255$, $i_c = 290$, $r = 210$ i $\Delta = 50$.

7. ZAKLJUČAK

Jedan od početnih koraka u detekciji opasnih predmeta na slikama torbi sastoji se od izdvajanja pojedinih homogenih objekata iz slike. Kriterij homogenosti za segmentiranje slika u boji značajno ovisi o kromatskim svojstvima pojedinih objekata. Najbolji rezultati segmentacije se dobivaju uvođenjem mjere za kromatičnost neke regije nazvane stupanj obojanosti. Kromatske regije tada se segmentiraju prema nijansi njihove boje, dok se akromatske regije formiraju prema svojstvima intenziteta. Budući da stupanj obojanosti procjenjuje postotak u kojem je neka regija kromatska, regije koje nisu potpuno kromatske niti potpuno akromatske koriste u pravilnom omjeru i nijansu boje i intenzitet za određivanje homogenosti.

Segmentacija je implementirana koristeći poznati «split and merge» algoritam. Dobivenim regijama pridjeljen je težinski faktor koji označava vjerojatnost da prepoznata regija opisuje objekt od teškog metala.

Eksperimentalne slike su 24-bitne bitmape rezolucije 768×576 piksela. Algoritam je isproban na 28 različitih slika i ima srednje vrijeme izvođenja 975 ms na Pentium II računalu sa 350 MHz i 128 MB memorije. Neki od dobivenih rezultata pretstavljani su na slici (12).

Literatura

- [1] R. Jain, R. Kasturi, B. G. Schunck, "Machine Vision", McGraw-Hill, New York, 1995.
- [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Pub. Company, Reading, 1993.
- [3] P. Pujas, M. J. Aldon, "Robust Colour Image Segmentation", URL: <http://www.lirmm.fr/~w3rob/Lochness/>
- [4] M. Sluser, R. Paranjape, "Probabilistic Relaxation Segmentation of Handguns in X-ray Imagery of Passenger Carry-on Baggage", Proceedings of the IASTED Int. Conference Signal and Image Processing (SIP '98), October 1998, Las Vegas, pp.603-607.
- [5] "Airline Baggage Security", URL: <http://www.biocomputer.com/inner.html>
- [6] S. Ribarić, Ž. Perković, N. Pavešić, "Edge Detection By Using Focus Of Attention Area", Proceedings of the 5th Int. Conference on Information Systems Analysis and Synthesis ISAS '99, Vol. 6, Orlando, August 1999, pp.163-169.
- [7] G. M. Hunter, K. Steiglitz, "Operations On Images Using Quad Trees", IEEE????
- [8] H. Samet, "Images Represented by Quadtrees", IEEE???
- [9] R. C. Gonzalez, P. Wintz, "Digital Image Processing", Addison-Wesley Pub. Company, Reading, 1987.