

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 184

Detekcija registarskih tablica na vozilima

Matko Juribašić

Zagreb, lipanj 2008.

Sadržaj

1	Uvod.....	1
2	Radni okvir AForge.NET	2
3	Detekcija registarske tablice.....	3
3.1	Ograničenja.....	3
3.2	Promjena veličine učitane slike	4
3.3	Pretvorba slike u sivu sliku	4
3.4	Binarizacija slike.....	5
3.4.1	Globalna binarizacija	6
3.4.2	Lokalna binarizacija	8
3.5	Obrada slike	10
3.5.1	Zatvaranje.....	11
3.5.2	Otvaranje.....	11
3.6	Traženje kandidata za tablicu	12
3.7	Obrada pronađenih kandidata za tablicu.....	13
3.8	Ispitivanje kandidata za tablicu	14
3.8.1	Omjer stranica	14
3.8.2	Količina bijele boje	15
3.8.3	Broj objekata unutar kandidata	15
3.9	Izdvajanje tablice.....	15
4	Opis sučelja aplikacije	16
4.1	Glavni prozor.....	16
4.2	Dodatne opcije	17
5	Rezultati testiranja.....	18
5.1	Potpuna detekcija tablice	19
5.2	Djelomična detekcija	19
5.3	Lažna detekcija s točnom tablicom	21
5.4	Lažna detekcija bez točne tablice	21
5.5	Nedetektirane tablice	22
5.6	Brzina izvođenja.....	23

6	Ostali pristupi detekciji registarskih tablica	25
7	Zaključak	28
8	Literatura	29
9	Sažetak	30
10	Summary	31
11	Privitak	32

1 Uvod

Prepoznavanje registarskih tablica na vozilima je aktivnost koja sve više pronalazi primjenu u današnjem svijetu. Porastom broja vozila na cestama javlja se potreba za automatiziranim načinom njihove identifikacije. Automatsko očitavanje registarskih tablica olakšava i ubrzava praćenje vozila što najčešće nalazi primjenu na naplatnim kućicama autocesta, graničnim prijelazima, parkiralištima i sl. Loša strana tog pristupa je mogućnost praćenja ljudi i smanjenje privatnosti. Danas je dostupan velik broj različitih sustava te namjene s visokim postotkom uspješnosti i velikom brzinom rada.

Prepoznavanje registarskih tablica je vrlo složeno. Poteškoće predstavljaju loša osvjetljenost, raznolikost registarskih tablica, slaba kvaliteta snimljenih slika i sl. Prikladnim osvjetljenjem ili korištenjem infracrvenih kamera znatno se poboljšava prepoznavanje. Prepoznavanje registarskih tablica može se podijeliti u više faza. Prvi korak u prepoznavanju registarskih tablica je sama detekcija registarske tablice. U određenim uvjetima snimanja vozila pronalazi se registarska tablica. Dobivena slika tablice predaje se na obradu. Obradom se tablica priprema za prepoznavanje slova. To može obuhvaćati rotaciju, promjenu veličine, operacije promjene kontrasta, osvjetljenosti i sl. Na kraju se obavlja izdvajanje pojedinih slova na tablici te njihovo prepoznavanje.

Predmet ovog rada je prva faza u prepoznavanju - određivanje lokacije tablice na slici. Razmotrit će se jedan pristup detekciji registarskih tablica i opisat će se pojedini koraci algoritma. Pokazat će se uspješnost algoritma te će se analizirati njegove mane. Pružit će se uvid i u ostale pristupe rješavanju ovog problema.

2 Radni okvir AForge.NET

U izradi programskog dijela ovog rada korišten je AForge.NET. AForge.NET je radni okvir za C# namijenjen istraživačima i programerima na području računalnog vida i umjetne inteligencije. Radni okvir je otvorenog koda tako da je izvorni kod svih ugrađenih biblioteka dostupan svima koji ga koriste što pruža bolje razumijevanje i mogućnost promjena postojećih metoda. AForge.NET sastoji se od 5 glavnih biblioteka:

- **AForge.Imaging** - biblioteka za obradu slika s raznim filterima
- **AForge.Neuro** – biblioteka za korištenje neuronskih mreža
- **AForge.Genetic** – biblioteka za evolucijsko programiranje
- **AForge.Vision** – biblioteka za računalni vid
- **AForge.Machine Learning** – biblioteka za strojno učenje

Korištenje je vrlo jednostavno. S radnim okvirom dolazi cijela dostupna dokumentacija kao i primjeri koji demonstriraju korištenje i pomažu početnicima u snalaženju. AForge.NET je u stalnom razvoju i svatko tko je zainteresiran može doprinijeti predlaganjem novih funkcionalnosti, prijavljivanjem grešaka ili samim uključivanjem u razvoj.

U ovom radu koristi se biblioteka AForge.Imaging u kojoj se može naći velik broj osnovnih funkcionalnosti za obradu slika kao i mnoštvo već ugrađenih filtera i algoritama.

3 Detekcija registarske tablice

Detekcija registarske tablice sastoji se od više koraka. Svaki od njih koristi rezultate obrade prošlog koraka te se konačno na kraju dobiva slika same registracijske tablice.



Slika 3.1 Dijagram stanja algoritma za detektiranje registarske tablice

3.1 Ograničenja

Prilikom planiranja sustava postavljena su neka ograničenja koja moraju biti zadovoljena za uspješno detektiranje registarskih tablica. U slučaju da ograničenja nisu zadovoljena, uspješnost detekcije registarskih tablica je smanjena. Izrađena aplikacija pretpostavlja da registarske tablice imaju horizontalan položaj u odnosu na sliku. Uspješnost detektiranja nakošenih tablica na slikama je manja zbog karakterističnog pristupa korištenog algoritma. Položaj tablice na slici nije bitan. Tablica mora biti vidljiva ljudskim okom tj. mora biti dovoljno osvijetljena i bez prljavštine ili predmeta koji ju prekrivaju.

Aplikacija inicijalno ima postavljene optimalne parametre za korištenu testnu bazu slika koji omogućavaju detekciju jednorodnih tablica s visinom minimalno 20 točaka (na slici promijenjene veličine). Parametri se se po potrebi mogu promijeniti ako se npr. žele prepoznavati dvoredne registarske tablice. Općenito, aplikacija omogućuje promjenu svih korištenih parametara i na taj način prilagođavanje određenim uvjetima.

3.2 Promjena veličine učitane slike

Prvi korak u detekciji registarske tablice nakon učitavanja testne slike je promjena njezine veličine. Veličina slike je ključna za brzinu obrade slike i prepoznavanja tablice. Pošto detekcija tablica na slikama visoke rezolucije nije pokazala znatno bolje rezultate, veličina učitanih slika većih od određene veličine (inicijalno postavljeno na 640 x 480 točaka) se smanjuje. Smanjivanje slika se obavlja očuvanjem omjera visine i širine slike kako objekti na slici i sama tablica ne bi promijenili oblik.

3.3 Pretvorba slike u sivu sliku

Za daljnju obradu potrebno je učitanu sliku u boji pretvoriti u sivu sliku. Program obrađuje slike koje za svaku točku na slici sadrže 24 bita za opis boje – 8 bita za pojedine komponente (crvenu, zelenu i plavu boju) i 8 bita za dodatnu informaciju o prozirnosti. Vrijednost 0 znači odsutnost pojedine komponente dok vrijednost 255 znači suprotno. Siva slika informaciju o nijansi sive boje za svaku točku čuva s 8 bita.

Pretvorba se obavlja BT709 algoritmom. Za svaku točku na slici uzima se vrijednost crvene, zelene i plave boje (eng. RGB), množi se s unaprijed određenim koeficijentima i te se vrijednosti zbroje (1). Dobivena vrijednost predstavlja nijansu sive boje.

$$F(x,y) = 0.2125 * Crvena(x,y) + 0.7154 * Zelena(x,y) + 0.0721 * Plava(x,y) \quad (1)$$



Slika 3.2 Pretvorba slike u sivu sliku

Umjesto tog algoritma, za novu vrijednost točke mogla se uzeti i npr. aritmetička sredina komponenata točke.

3.4 Binarizacija slike

Binarizacija slike je postupak u kojem se siva slika pretvara u binarnu sliku tj. sliku u kojoj postoje samo dvije vrijednosti za svaku točku. Najčešće se uzimaju vrijednost 0 i 255 što predstavlja crnu i bijelu boju na slici. Za binarizaciju je potrebno odrediti prag (eng. threshold). Ako točka ima veću vrijednost od praga dodjeljuje joj se jedna vrijednost, a u suprotnom dodjeljuje joj se druga. Binarizacija se može obaviti s istim pragom za sve točke na slici ili s promjenjivim pragom ovisno o samoj točki tj. njezinom susjedstvu.

Binarizacija slike se obavlja da bi se dobila slika s istaknutim važnim dijelovima nad kojom će se obavljati daljnja obrada i kasnije detekcija tablice. Idealni slučaj predstavljala bi slika sa registarskom tablicom s jednom vrijednosti (bijelom bojom) i ostalim objektima na slici u drugoj (crnom bojom). Tada bi detekcija bila vrlo jednostavna.

Odabir metode kao i odgovarajućeg praga za pojedinu sliku vrlo je važan u detekciji registarskih tablica. Ako prag nije odgovarajući, detekcija registarske tablice je otežana, a najčešće i nemoguća. Globalna binarizacija je pogodna za slike s ujednačenim osvjetljenjem dok se adaptivna (lokalna) binarizacija prilagođava i uvjetima neujednačenog osvjetljenja. Korištenje globalne binarizacije dosta je neučinkovito pri detekciji tablica jer pretpostavlja da je područje tablice

svjetlije od većine ostalih dijelova slike. Ako to nije slučaj, potreban je dosta niski prag koji opet otežava detekciju ostavljajući vidljivim većinu komponenata na slici. Ako se odabere previsoki prag, područje tablice prestaje biti vidljivo.

3.4.1 Globalna binarizacija

Globalna binarizacija je postupak u kojem se za sve točke na slici primjenjuje isti prag pri binarizaciji. Za svaku točku se gleda njena vrijednost i u ovisnosti o pragu dodjeljuje joj se jedna od dvije vrijednosti. Pri odabiru praga za binarizaciju učitanih slika može se koristiti više metoda. Prije postupka se često vrši operacija izjednačavanja histograma kako bi se dobila slika s izjednačenom osvjetljenošću pojedinih dijelova na kojoj će binarizacija biti uspješnija.

3.4.1.1 Fiksni prag

Za prag se odabire jedna vrijednost u rasponu od 0 do 255. Prag odabire korisnik po svojoj želji. Odabir jednog praga za sve slike je dosta neučinkovit jer se osvjetljenost tablice u odnosu na ostatak slike razlikuje za svaku pojedinu sliku.



Slika 3.3 Binarizacija slike fiksnim pragom iznosa 145

3.4.1.2 Iterativna metoda izračunavanja praga

Iterativna metoda izračunavanja praga, kao što joj i ime kaže, iterativnim putem dolazi do praga koji bi trebao biti optimalan za sliku u obradi. Za početnu vrijednost praga uzima se vrijednost 128. Računa se prosječna vrijednost svih vrijednosti od 0 do trenutnog praga i od trenutnog praga do 255. Nova vrijednost

praga se dobiva tako da se izračuna aritmetička sredina te dvije vrijednosti. Postupak se ponavlja sve dok se prag više ne mijenja. Moguće je, da bi se dobio konačan prag, zadati odmak od izračunatog praga.



Slika 3.4 Binarizacija slike pragom izračunatim iterativnom metodom bez odmaka

Općenito, algoritam glasi:

1. Odaberi početni prag T
2. $G1$ = sve točke za koje vrijedi $F(x, y) > T$ – prednji plan
3. $G2$ = sve točke za koje vrijedi $F(x, y) \leq T$ – pozadina
4. $S1$ = srednja vrijednost od $G1$
5. $S2$ = srednja vrijednost od $G2$
6. $T' = (S1 + S2) / 2$
7. Idi na korak 2 ako $T' \neq T$, za T koristi vrijednost T'

Ova metoda daje bolje rezultate od korištenja fiksnog praga prilikom testiranja na više slika jer se prag računa uvažavajući osvjetljenost trenutno učitane slike.

3.4.1.3 Izračunavanje praga po količini

Izračunavanje praga po količini je metoda po kojoj se za prag uzima vrijednost koja će određenom postotku točaka na slici dodijeliti jednu vrijednost. Rezultat binarizacije, koristeći ovako izračunat prag, je binarna slika u kojoj se određenom postotku najsvjetlijih točaka na slici, kojeg zadaje korisnik aplikacije, dodjeljuje vrijednost 255 (bijela boja). Metoda je uspješna pri detekciji tablica koje

su svjetlije od svih drugih objekata na slici (najčešće kod bijelih registarskih tablica s tamnom pozadinom i tamnom bojom automobila).



Slika 3.5 Binarizacija slike pragom izračunatim po količini s vrijednosti 5%

3.4.2 Lokalna binarizacija

Lokalna binarizacija je postupak u kojem se prag korišten za binarizaciju slike razlikuje za pojedine dijelove ili točke na slici. Aplikacija koristi implementaciju algoritma po kojem se prag određuje posebno za svaku točku na slici. Prag se izračunava u ovisnosti o susjedstvu točke koja se obrađuje. Susjedstvo čine sve točke unutar kvadrata u čijem središtu je točka koja se obrađuje. Korisnik kao parametar unosi veličinu tog kvadrata i odmak od izračunatog praga. Optimalna veličina susjedstva ovisna je o veličini tablice na slici. Za cijelo susjedstvo izračunava se prosječna vrijednost koja se zbrojena s odmakom uzima kao prag za točku koja se obrađuje. Lokalna binarizacija pokazuje puno bolje rezultate pri detekciji tablica od globalne jer se prag binarizacije prilagođava svakoj slici tj. još važnije, svakom njezinom dijelu. Područje tablice postaje vidljivo i spremno za daljnju obradu. Postupak je vrlo pogodan za slike s neujednačenim osvjetljenjem.

Umjesto računanja susjedstva za svaku točku posebno, slika se mogla podijeliti u više područja određene veličine. Za svako područje se izračuna lokalni prag koji se primjenjuje za sve točke u tom području. Prednost ovog načina nad korištenim je brže izvođenje.



Slika 3.6 Lokalna binarizacija s veličinom susjedstva 23 točke i odmakom 12

Usporedbom se može provjeriti da za razliku od metoda globalne, lokalna binarizacija s podešenim parametrima postiže bolje rezultate u pripremi slika za detekciju registarskih tablica.



Slika 3.7 Usporedba metoda: a) Fiksni prag - 145, b) Iterativna metoda, c) Metoda po količini – 5%, d) Lokalna metoda – susjedstvo 23 točke, odmak 12

3.5 Obrada slike

Sliku dobivenu binarizacijom potrebno je dodatno obraditi kako bi se pripremila za prepoznavanje odabranim algoritmom. Obradom se uklanjaju nepotrebne komponente slike koje bi usporavale detekciju ili pogoršale uspješnost detekcije. Koristi se matematička morfologija.

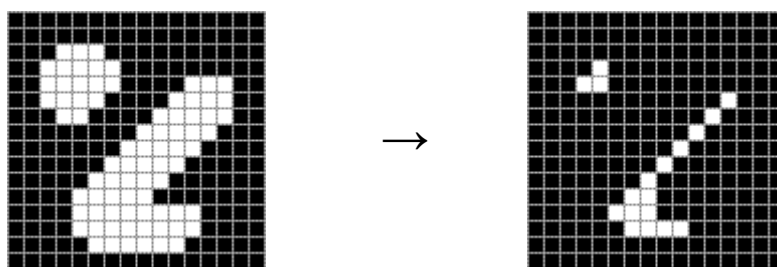
Matematička morfologija je tehnika analize i obrade geometrijskih struktura korištena često u obradi slika. Prvobitno je korištena samo za binarne ali kasnije je primjena proširena i na sive slike. Operacije binarne morfologije definirane su pomoću teorije skupova. Dvije osnovne operacije matematičke morfologije su dilatacija i erozija.

E je euklidov prostor, A predstavlja binarnu sliku u E , B je strukturni element, a B_x translirani strukturni element s ishodištem u x .

Erozija je definirana kao:

$$A \oplus B = \{x \in E \mid B_x \subseteq A\}$$

Erozija slike A strukturnim elementom B je skup svih točaka x za koje vrijedi da je translirani strukturni element B_x podskup skupa A .

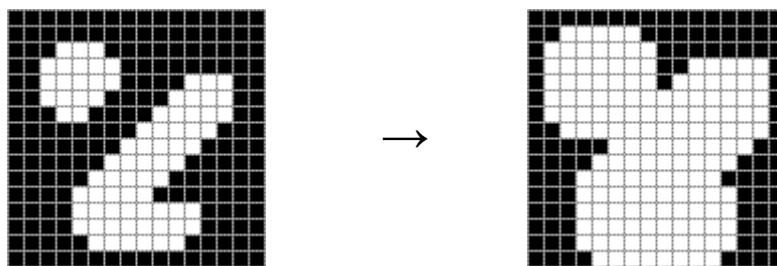


Slika 3.8 Erozijska kvadratnim strukturnim elementom veličine 3 x 3 točke

Dilatacija je definirana kao:

$$A \ominus B = \{x \in E \mid B_x \cap A \neq \emptyset\}$$

Dilatacija slike A strukturnim elementom B je skup svih točaka x za koje presjek transliranog strukturnog elementa B_x i skupa A nije prazan skup.



Slika 3.9 Dilatacija kvadratnim strukturnim elementom veličine 3 x 3 točke

Efekt koji se postiže erozijom je rast crnih objekata, dok se dilatacijom postiže rast bijelih objekata.

Strukturni element je predefiniran oblik kojim se prelazi preko cijele slike u obradi i u ovisnosti o njegovom poklapanju sa oblicima na slici i odabranoj operaciji nastaje nova obrađena slika. Za obradu binarne slike s vozilom koristi se strukturni element oblika kvadrata s ishodištem u središtu veličine 3 x 3 točke. Vrše se dvije složene morfološke operacije nastale kombinacijom erozije i dilatacije: zatvaranje i otvaranje.

3.5.1 Zatvaranje

Na binariziranoj slici s tablicom prvo se provodi zatvaranje. Zatvaranje je definirano kao:

$$A \circ B = (A \oplus B) \ominus B$$

Zatvaranje se sastoji od primjene operacije dilatacije, pa onda erozije. Efekt koji se postiže zatvaranjem je popunjavanje praznina manjih od strukturnog elementa. Ono je potrebno da bi se popunile praznine na tablici koje nastanu uslijed binarizacije (najčešće na rubovima). Primjenom operacije zatvaranja popravljaju se okvir tablice i na taj način se sprječava segmentacija tablice na više manjih dijelova razdvojenih slovima što bi otežavalo detekciju korištenim algoritmom.

3.5.2 Otvaranje

Nakon zatvaranja obavlja se operacija otvaranja. Otvaranje je definirano kao:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

Otvaranje se sastoji od primjene operacije erozije, pa onda dilatacije. Posljedica otvaranja je uklanjanje neželjenih dijelova slike tj. brisanje svih objekata manjih od strukturnog elementa. Otvaranje se koristi za uklanjanje šuma sa slike i razdvajanje objekata povezanih tankim linijama.



Slika 3.10 Binarizirana slika prije i nakon obrade

3.6 Traženje kandidata za tablicu

Nakon obrade, dobiva se slika bez šuma, slika s jasnije definiranim rubovima i razdvojenim objektima. Na takvoj slici se provodi algoritam traženja međusobno povezanih dijelova na slici s filtriranjem. Korisnik ima mogućnost unosa minimalne i maksimalne visine i širine tablice kako bi se neki kandidati odmah u ovom koraku detekcije odbacili. Rezultat ovog koraka detekcije je niz pravokutnika u kojima se nalaze pronađeni objekti koji zadovoljavaju zadane uvjete o veličini. Svaki od tih pravokutnika se dalje obrađuje i ispituje zadovoljava li kriterije za registarsku tablicu.



Slika 3.11 Pronađeni kandidati na slici

3.7 Obrada pronađenih kandidata za tablicu

Prije nego se pronađeni pravokutnik kandidat preda na ispitivanje, obavlja se dodatna obrada kako bi se uklonili dijelovi koji nisu tablica. Mijenjaju se dimenzije pravokutnika kako bi se što točnije obuhvatila moguća registarska tablica. Bez ove dodatne obrade, mnogi kandidati sadržavali bi i nepotrební dio oko same tablice koji bi otežavao ispitivanje.

Sa svake strane pravokutnika uklanja se dio koji ima postotak bijele boje manji od postotka koji je zadan od strane korisnika. Promatra se jedna po jedna „crna” linija sa svake strane pravokutnika sve dok se ne dođe do određenog broja uzastopnih „bijelih” linija. U tom slučaju zaključujemo da smo došli do same tablice. Sve „crne” linije se uklanjaju tako da nakon ovog koraka pravokutnik obuhvaća samo tablicu. U slučaju da pravokutnik uopće ne obuhvaća registarsku tablicu, najčešće se njegove dimenzije uslijed uklanjanja linija smanje na neprihvatljive (visina i širina manje/veće od zadane minimalne i maksimalne) što nakon provjere rezultira odbacivanjem iz daljnjeg ispitivanja.



Slika 3.12 Obrada kandidata - uklanjanje dijelova koji nisu tablica

3.8 Ispitivanje kandidata za tablicu

Ispitivanje kandidata se obavlja na temelju značajki same registarske tablice. Aplikacija koristi tri metode ispitivanja: promatranje omjera stranica (visine i širine) tablice, postotka bijele boje u tablici i broja objekata (slova) u tablici. Moguće je odabrati koje od tih metoda će se koristiti u evaluaciji. Ako pravokutnik kandidat zadovoljava sve odabrane uvjete, proglašava se registarskom tablicom.

3.8.1 Omjer stranica

Ova metoda koristi činjenicu da registarska tablica ima konstantan omjer širine i visine bez obzira na udaljenost snimanja slike. Problem nastaje kod različitih standarda za tablice tj. kod tablica različitih oblika kad je potrebno za korištenje ove metode prilagoditi granice dopuštenog omjera (jednoredne, dvoredne tablice). Kao parametar ovoj metodi zadaje se minimalan i maksimalan omjer širine i visine tablice. Ako pravokutnik kandidat ne zadovoljava uvjet, odbacuje se.



Slika 3.13 Dvoredne i jednoredne registarske tablice

3.8.2 Količina bijele boje

Slika u pravokutniku s registarskom tablicom mora sadržavati minimalan postotak bijele boje. U suprotnom, pravokutnik se odbacuje.

3.8.3 Broj objekata unutar kandidata

Metoda koristi činjenicu da registarska tablica ima određen broj slova koja se mogu prebrojati tako da se horizontalno prebroje prijelazi crne i bijele boje. Parametar metode je broj horizontalnih linija po kojim će se brojati objekti unutar pravokutnika kandidata. Rezultantni broj objekata (slova) se dobije određivanjem aritmetičke sredine broja objekata po horizontalnim linijama. Zadaje se minimalan i maksimalan broj objekata koje tablica smije imati. U slučaju da broj objekata nije zadovoljavajući, kandidat se odbacuje. Brojanje objekata se obavlja samo ako je udio bijele boje unutar pravokutnika kandidata koji se ispituje manji od zadanog inače bi se brojanje obavljalo i na kandidatima kojima su slova pri binarizaciji postala neuočljiva.

3.9 Izdvajanje tablice

Zadnji korak je izdvajanje tablice. Izdvojena tablica mogla bi se dalje predati programu za detekciju znakova na tablici čime bi se dobio cjelokupni sustav za prepoznavanje registarskih tablica. Aplikacija ima i mogućnost spremanja slike registarske tablice u zasebnu datoteku.

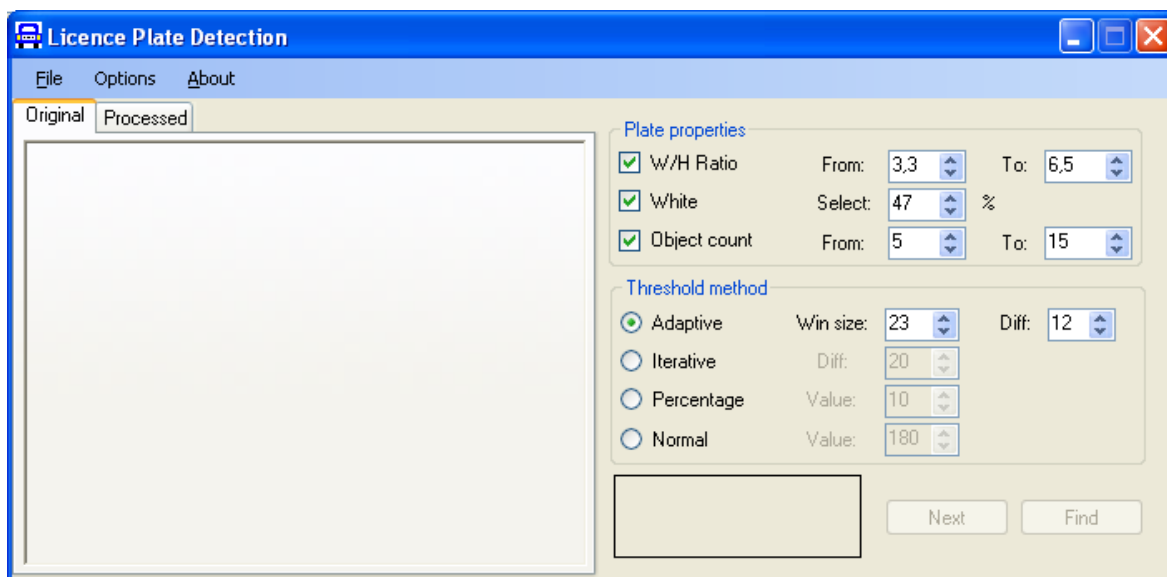


Slika 3.14 Izdvojene registarske tablice

4 Opis sučelja aplikacije

Izrađena aplikacija omogućuje korisniku jednostavno testiranje algoritma s mogućnošću prilagođavanja svih parametara korištenih u detekciji. Prilikom pokretanja aplikacije postavljaju se optimalni parametri za testiranje.

4.1 Glavni prozor



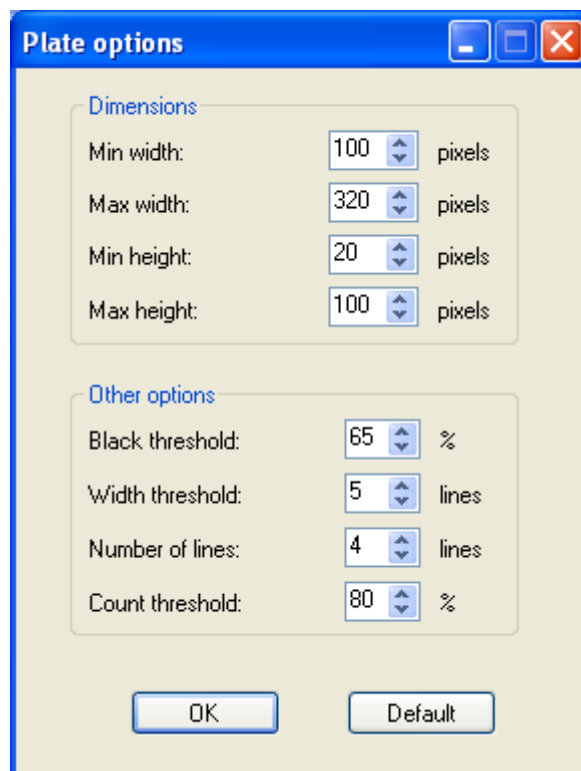
Slika 4.1 Glavni prozor aplikacije

Glavni prozor aplikacije sastoji se od padajućeg izbornika, kartičnog prikaza, parametara detekcije, prostora za prikaz detektirane tablice te gumba za navigaciju i detekciju.

Kartični prikaz prikazuje originalnu učitano sliku na jednoj kartici i obrađenu sliku s zaokruženom tablicom na drugoj. Među parametrima detekcije moguće je izabrati jednu od metoda binarizacije slike i odabrati metode koje će se koristiti pri provjeri pronađenih kandidata. Koristeći padajući izbornik moguće je učitati novu sliku, sačuvati pronađenu registarsku tablicu, postaviti parametre detekcije na inicijalne vrijednosti, promijeniti dodatne parametre karakteristične za korištene algoritme. Prilikom učitavanja slike iz određenog direktorija, automatski se u listu datoteka dodaju i ostale slike u tom direktoriju kako bi im se kasnije lako moglo pristupiti u aplikaciji pomoću gumba za sljedeću sliku. Na taj način olakšava se i

ubrzava učitavanje novih slika. Pritiskom na gumb za pronalazak tablice, pokreće se slijed ranije navedenih aktivnosti koji kao rezultat ima detekciju registarske tablice. Pronađena tablica se prikazuje u za to predviđenom prostoru.

4.2 Dodatne opcije



Slika 4.2 Dijalog s dodatnim opcijama

Korištenjem dijaloga s dodatnim opcijama mogu se podesiti parametri karakteristični za određene faze u detekciji. Moguće je podesiti minimalnu i maksimalnu visinu i širinu tablice što se koristi u fazi pronalaska kandidata. Prag crne boje iznad kojeg se linija označava za brisanje i broj bijelih linija kojim podrazumijevamo da čine rub tablice karakteristični su za obradu kandidata. Može se promijeniti i broj horizontalnih linija koje sijeku pravokutnik pri brojanju objekata i maksimalan postotak bijele boje koji je uvjet za korištenje te metode. Korisniku je ponuđen i gumb za vraćanje početnih vrijednosti parametara.

5 Rezultati testiranja

Algoritam se testirao na bazi slika koja sadrži slike različitih vozila slikane u različitim vremenskim uvjetima, s različitim osvjetljenjem (dan, noć), s različitim vrstama jednorednih tablica i s različitom udaljenošću tablice od kamere. Slike zadovoljavaju ograničenja navedena ranije u tekstu.

Ukupni broj slika nad kojim se obavljalo testiranje je 420.

Prilikom testiranja korišteni su sljedeći parametri:

- Lokalna binarizacija, susjedstvo – kvadrat veličine stranice 23 točke, odmak od praga 12
- Dimenzije tablice u točkama:
 - minimalna širina - 100
 - minimalna visina - 20
 - maksimalna širina - 320
 - maksimalna visina – 100
- Omjer širine i visine – od 3.3 do 6.5
- Količina bijele boje – 55%
- Broj objekata unutar tablice – od 6 do 16
- Maksimalan postotak crne boje za linije na rubovima tablice – 65%
- Broj „bijelih” linija za početak tablice – 5
- Broj horizontalnih linija po kojim se broje objekti – 2
- Maksimalan postotak bijele boje u kandidatu za brojanje objekata - 80%

Moguće ocjene detekcije su:

- potpuna detekcija tablice – tablica je u potpunosti detektirana
- djelomična detekcija – nisu u potpunosti vidljiva sva slova
- lažna detekcija s točnom tablicom – prava tablica je pronađena ali dijelovi slike koji nisu tablica proglašeni su registarskom tablicom
- lažna detekcija bez točne tablice – prava tablica nije pronađena i neki dijelovi slike koji nisu tablica proglašeni su registarskom tablicom
- nedetektirana tablica – tablica nije detektirana

Ocjena	Broj tablica	Postotak
Potpuna detekcija	363	86,4%
Djelomična detekcija	17	4,0%
Lažna detekcija s točnom tablicom	8	2,0%
Lažna detekcija bez točne tablice	1	0,2%
Nedetektirana tablica	31	7,4%

Tablica 5.1 Rezultati testiranja

5.1 Potpuna detekcija tablice

Nakon uspješne detekcije, pronađena tablica je vidljiva u cijelosti i spremna je za prosljeđivanje programu za prepoznavanje slova.



Slika 5.1 Potpuna detekcija tablice

5.2 Djelomična detekcija

Do djelomične detekcije najčešće dolazi zbog same obrade kandidata. Prilikom odsijecanja vanjskih dijelova tablice koji nemaju dovoljan postotak bijele boje odsiječe se i dio tablice. To se događa zbog oštećenih rubova tablice koji su posljedica binarizacije. Pravi uzrok loše vidljivih rubova tablice u najviše slučajeva

je nedovoljno osvjetljenje ili snimanje s visine kojom se gornji dio tablice slabije vidi.



Slika 5.2 Djelomična detekcija tablice – oštećen rub

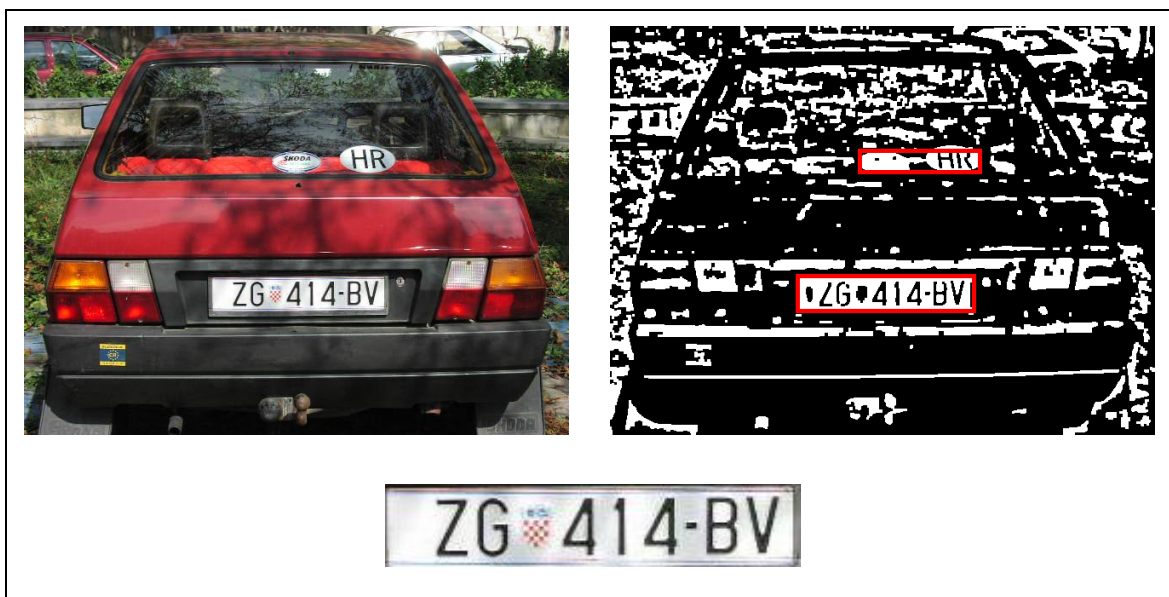
Zbog nepostojanja okvira oko tablice mnogo puta se dogodi da tablica nije jedinstvena tj. da ju sačinjava više manjih odvojenih objekata razdijeljenih slovima. Pošto se prilikom traženja kandidata traže povezani objekti, neki dijelovi se odbacuju najčešće zbog svoje veličine. Dio tablice koji ipak zadovoljava uvjete za tablicu se prepoznaje.



Slika 5.3 Djelomična detekcija tablice - segmentacija

5.3 Lažna detekcija s točnom tablicom

Pojava lažne detekcije dolazi zbog udovoljavanja tog dijela slike svim odabranim kriterijima za tablicu. Mnogo puta nastaje zbog međusobno povezanih manjih objekata u jedan koji veličinom odgovara tablici i zbog toga se podvrgava testiranju. Povećanjem praga binarizacije najčešće se kida veza između takvih objekata i taj dio slike se onda odbacuje. Promjenom broja linija po kojim se broje objekti većinom ima za posljedicu odbacivanje lažno detektirane tablice.



Slika 5.4 Lažna detekcija s točnom tablicom

5.4 Lažna detekcija bez točne tablice

Nedetektiranje prave registarske tablice prilikom korištenja ovog algoritma vrlo često nastaje zbog povezanosti tablice s drugim objektima na binariziranoj slici. Takav povezani objekt ne udovoljava kriterijima (najčešće veličina pa onda i omjer) i odbacuje se.



Slika 5.5 Djelomična detekcija bez točne tablice

5.5 Nedetektirane tablice

Izostanak detekcije nastaje najčešće iz već spomenutih razloga: cijepanje tablice u više manjih objekata od kojih niti jedan ne udovoljava zadanim uvjetima i povezivanje tablice s ostalim objektima na slici čime nastaje novi koji se odbacuje. Sada se može lako uvidjeti da je postupak binarizacije ključan za uspješnost ovog algoritma. Najčešći uzrok nedetektiranja je prljavština i loše osvjetljenje tablice. Pojedinačnom promjenom parametara može se ostvariti uspješna detekcija za većinu nedetektiranih tablica.



Slika 5.6 Nedetektirana tablica

Korišteni algoritam nije toliko uspješan za detekciju nakošenih tablica. To proizlazi iz činjenice da pravokutnici kandidati za nakošene tablice imaju različite dimenzije i omjer stranica od samih tablica. Također sadrže i dijelove koji nisu tablica a nije ih moguće ukloniti pomoću korištene metode za obradu. Stoga navedene metode za ispitivanje tablice nisu toliko učinkovite kao kod horizontalnih tablica. Ukoliko nakošenost nije velika, detekcija tablica je uspješna.



Slika 5.7 Detektirana nakošena tablica

5.6 Brzina izvođenja

Algoritam je testiran na računalu s procesorom Intel Pentium 4 takta 2.4 GHz i s 512 MB radne memorije. U tablici se nalaze prosječna vremena izvršavanja pojedinih koraka algoritma.

Korak algoritma	Prosječno vrijeme izvršavanja
Pretvorba slike u sivu sliku	~ 16 ms
Binarizacija	~ 653 ms
Obrada slike	~ 242 ms
Pronalazak kandidata	~ 14 ms
Obrada pojedinog pravokutnika	~ 7 ms
Ispitivanje	~ 7 ms

Tablica 5.2 Prosječna vremena izvršavanja pojedinih koraka algoritma

Vidljivo je da najviše vremena oduzima binarizacija. Razlog tome je računanje lokalnog praga za svaku pojedinu točku u odnosu na susjedstvo određene veličine. U implementaciji je posvećena pozornost optimizaciji jer direktna implementacija je vremenski prezahtjevna. Obrada slike traje duže zbog operacija otvaranja i zatvaranja koje također za izračunavanje vrijednosti svake točke promatraju točke određene korištenim strukturnim elementom. Ostali koraci algoritma nisu vremenski zahtjevni. Brzina izvršavanja mogla bi se smanjiti ograničavanjem položaja tablice tj. pretpostavkom da se tablica nalazi samo na jednom dijelu snimljene slike (najčešće donji dio). To je realno ograničenje jer najčešće je moguće kontrolirati položaj i usmjerenost kamere.

Moguće poboljšanje algoritmu bila bi metoda koja bi u slučaju povezanosti odvajala tablicu od komponenata s kojima je povezana. Time bi se poboljšala ukupna detekcija jer bi pronađeni pravokutnik kandidat s tablicom bio odgovarajućih dimenzija i ne bi se odbacio prilikom filtriranja što je najčešći uzrok neuspješne detekcije.

6 Ostali pristupi detekciji registarskih tablica

Postoji velik broj različitih sustava za detekciju tablica. Koriste se različite metode u određivanju položaja tablice.

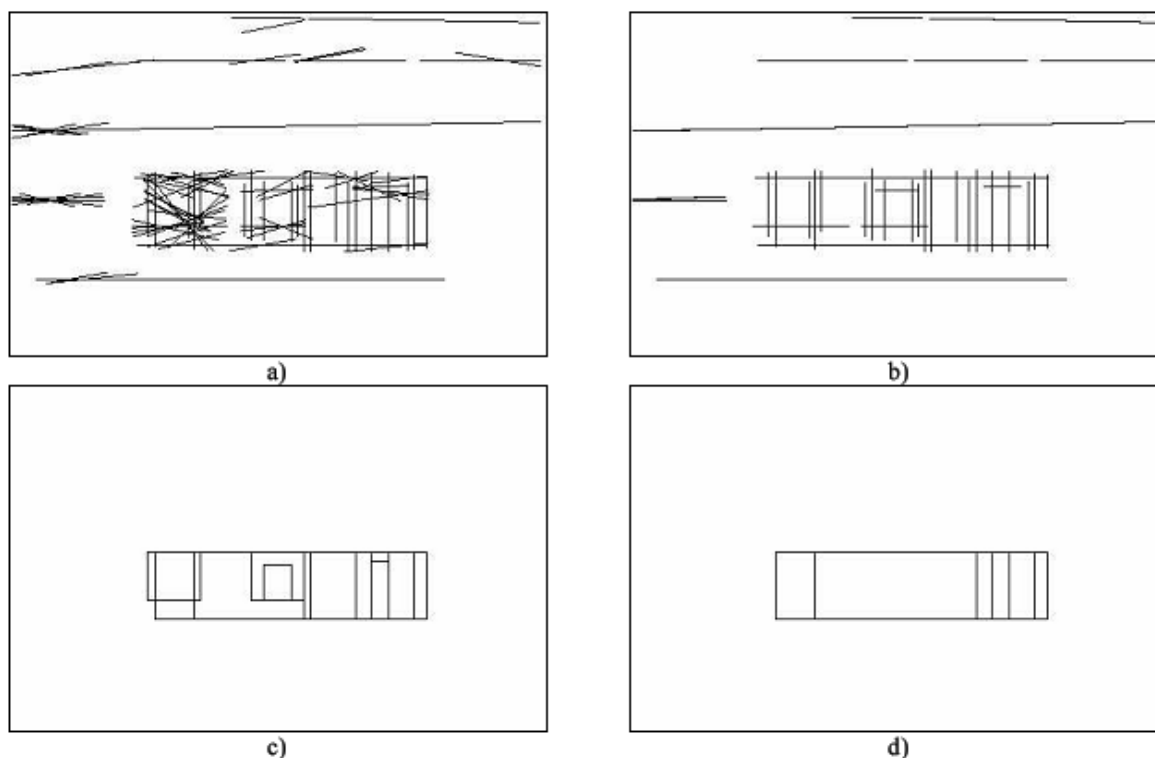
Na Sveučilištu Al-Azhar u Indoneziji razvijen je sustav za prepoznavanje registarskih tablica korištenjem neuronskih mreža. Unaprijed je određena veličina ulaznih slika (640 x 480), udaljenost kamere od tablice, tablica mora biti centrirana po horizontalnoj osi, regulirano je osvjetljenje. Prvi korak je binarizacija slike izračunatim pragom. Nakon binarizacije se provodi morfološka operacija otvaranja sa strukturnim elementom veličine 3 x 3 točke i operacija zatvaranja sa strukturnim elementom veličine 5 x 180 točaka nad istom binariziranom slikom. Provodi se ekstrakcija između prve i druge dobivene slike i dobiva se slika s vidljivim slovima na tablici.



Slika 6.1 Morfologija a) originalna slika b) otvaranje c) zatvaranje d) rezultat ekstrakcije

Računa se korelacija između dobivene slike i bijele slike veličine 65 x 260 točaka. Mjesto gdje je korelacija najveća, smatra se registarskom tablicom [1].

Na Sveučilištu "Lucian Blaga" u Rumunjskoj korišten je drugi pristup. Početna obrada slike se sastoji od detekcije rubova korištenjem Prewittovog operatora, uklanjanje šuma na dobivenoj slici i binarizacije korištenjem kriterija maksimalne entropije. Na takvoj slici se provodi Houghova transformacija (eng. Hough transformation) koja prepoznaje i opisuje pronađene linije na slici. Odabiru se najintenzivnije horizontalne i vertikalne linije. Slijedi detekcija pravokutnika promatrajući parove horizontalnih i vertikalnih linija.



Slika 6.2 Detekcija tablice a) detektirane linije b) odabrane horizontalne i vertikalne linije c) detektirani pravokutnici d) pravokutnici kandidati za detekciju slova

Koristeći predložak i omjer stranica registarske tablice odabire se tablica. Uspješnost detekcije postignuta ovim algoritmom je 93% [2]. Koristeći Houghovu transformaciju moguće je vrlo dobro detektirati i nakošene tablice promatrajući parove paralelnih linija slične duljine uzimajući u obzir ostala svojstva tablica.

Na Sveučilištu „Wayne State” u SAD-u detekcija se obavlja višestrukom primjenom slijeda operacija. Prva operacija je detektiranje rubova korištenjem Sobelovog operatora. Slijedi binarizacija fiksnim ili izračunatim pragom te primjena Gaussovog filtera za uklanjanje šuma na dobivenoj slici. Navedeni slijed se ponavlja prosječno između 9 i 16 puta s promjenom parametara. Za detekciju se koriste izračunata vertikalna i horizontalna raspodjela bijelih točaka na dobivenoj slici čijim promatranjem se pronalaze granice registarske tablice. Uspješnost detekcije ovom metodom je 99% [3].

Metoda koju je razvio James Yu pretpostavlja crna slova na svijetlim tablicama, horizontalan položaj tablica na slici, jednoliko osvjetljenje i nepostojanje zamućenosti na slikama. Na slici se obavlja bottom-hat transformacija koja se

zasniva na matematičkoj morfologiji. Transformacija čuva sve tamne dijelove slike dok uklanja sve ostalo. Slijedi binarizacija s računanjem praga za svaki dio slike veličine 8 x 8 točaka i traženje povezanih komponentata. Pronađene komponente se ispituju koristeći kriterije minimalnog broja točaka (sve komponente manje od 10 točaka se odbacuju), granica za širinu i visinu tablice, omjera stranica, varijance visine i širine komponentata na istoj liniji, raspodjele komponentata. Komponenta koja zadovoljava kriterije proglašava se registarskom tablicom [4].

Neki sustavi za detekciju registarskih tablica rade na principu računalnog učenja korištenjem AdaBoost algoritma. Program na temelju velikog broja tablica nauči prepoznavati i detektirati njihov položaj. Postiže se visoka uspješnost detekcije oko 95.6% [5].

7 Zaključak

Detektiranje registarskih tablica je vrlo složena operacija. Idealni program bi trebao detektirati sve tablice u bilo kojim uvjetima gdje god se one nalazile na snimljenoj slici. To je trenutno nemoguće ostvariti. Postoje razni pristupi rješavanju tog problema koji najčešće uključuju obradu slike matematičkom morfologijom, detekciju rubova, Houghovu transformaciju, razne načine binarizacije slika, strojno učenje i slične metode. Njihovom kombinacijom stvaraju se sustavi sposobni vrlo dobro obavljati posao za koji su namijenjeni. Razvijeni algoritam uz određena ograničenja postiže zadovoljavajuće rezultate. Algoritam bi se mogao primijeniti na mjestima kao što su parkirališta, naplatne kućice na autocestama, područjima ograničenog pristupa i sl. zbog mogućnosti postavljanja kamere i osvjetljenja za snimanje vozila na zahtijevani način. Integriranjem razvijenog algoritma s algoritmom za prepoznavanje slova mogao bi se dobiti cjeloviti sustav za prepoznavanje registarskih tablica na vozilima.

8 Literatura

- [1] Haris Al-Qodri Maarif, Sar Sardy, Haris.pdf, 2006., *Plate Number Recognition by Using Artificial Neural Network*, <http://komputasi.inn.bppt.go.id/semiloka06/Haris.pdf>, 25. ožujka 2008.
- [2] Remus Brad, icics2001.pdf, 2001., *License Plate Recognition System*, <http://remus.ulbsibiu.ro/publications/papers/icics2001.pdf>, 25. ožujka 2008.
- [3] Sorin Draghici, ijns1997.pdf, 1997., *A neural network based artificial vision system for licence plate recognition*, <http://vortex.cs.wayne.edu/papers/ijns1997.pdf>, 25. ožujka 2008.
- [4] James Yu, 3. prosinca 2003., *Detecting vehicle licence plate in images*, <http://www.scribd.com/doc/266575/Detecting-Vehicle-License-Plates-in-Images>, 25. ožujka 2008.
- [5] Louka Dlagnekov, louka.pdf, 2004., *License Plate Detection Using AdaBoost*, <http://www-cse.ucsd.edu/classes/fa04/cse252c/projects/louka.pdf>, 25. ožujka 2008.

9 Sažetak

NASLOV:

Detekcija registarskih tablica na vozilima

SAŽETAK:

Detekcija tablice prva je faza u automatskom prepoznavanju registarskih tablica koje postaje sve raširenija aktivnost u današnjem svijetu. U ovom završnom radu obrađen je jedan pristup rješavanju tog problema. Pristup se zasniva na binarizaciji slike s tablicom, obradi slike matematičkom morfologijom te traženja povezanih komponenata koje zadovoljavaju zadane kriterije za registarsku tablicu. Obavlja se usporedba različitih načina binarizacije slike. Predstavlja se razvijena aplikacija koja omogućuje testiranje algoritma i prilagodbu svih korištenih parametara radi proučavanja rada ili poboljšanja. Opisuje se svi koraci i provodi se analiza algoritma nakon testiranja na korištenoj bazi slika. Komentiraju se rezultati. Pruža se uvid u druge pristupe rješavanja ovog problema.

KLJUČNE RIJEČI:

registarska tablica, detekcija, binarizacija, matematička morfologija

10 Summary

TITLE:

Detection of licence plates on vehicles

SUMMARY:

Licence plate detection is the first stage of automatic licence plate recognition process which becomes wide spread activity in the world today. In this thesis I present one approach to the problem. Approach is based on binarization of image containing licence plate, processing image using mathematical morphology and finding connected components that satisfy set-up conditions for licence plate. Various binarization methods are compared. Developed application is presented. Application allows adjusting of all parameters used in detection and testing of algorithm which can be used in further research. All stages in algorithm are described and analysis after testing is pursued. Results are commented. Thesis also presents other approaches to the problem.

KEYWORDS:

licence plate, detection, binarization, mathematical morphology

11 Privitak



Slika 11.1 Primjeri potpuno detektiranih tablica



Slika 11.2 Primjeri djelomično detektiranih tablica



Slika 11.3 Primjeri nedetektiranih tablica