

Jasmin Čelić, mag. ing. el.
Sveučilište u Rijeci / *University of Rijeka*
Pomorski fakultet u Rijeci /
Faculty of Maritime Studies Rijeka
Studentska 2, 51000 Rijeka

Dr. sc. Danko Kezić / Ph. D.
Sveučilište u Splitu / *University of Split*
Pomorski fakultet / *Faculty of Maritime Studies*
Zrinsko-frankopanska 38, 21000 Split
Hrvatska / *Croatia*

Prethodno priopćenje
Preliminary communication

UDK / *UDC*:
656.1
004.932:621.39

Primljeno / *Received*:
12. listopada 2012. / *12th October 2012*
Odobreno / *Accepted*:
19. studenoga 2012. / *19th November 2012*

SUSTAV ZA AUTOMATSKO NADZIRANJE CESTOVNOG PROMETA

SYSTEM FOR AUTOMATIC ROAD TRAFFIC MONITORING

SAŽETAK

Automatska identifikacija prijevoznih sredstava važan je podsustav inteligentnih transportnih sustava. Jedna od zastupljenijih metoda je primjena raspoznavanja registarskih pločica koja se provodi u sljedećim radnjama: otkrivanje i izdvajanje vozila u dinamičkoj sceni, predobrada slike, određivanje pozicije registarske pločice, izdvajanje karaktera s registarske pločice i raspoznavanje pojedinih karaktera. U ovome je radu prikazano djelovanje modula za automatsko prepoznavanje registarskih pločica kao višenamjenskog sustava za automatsko nadziranje cestovnog prometa. Prikaz rada algoritama ostvaren je korištenjem programske podrške Matlab (MathWorks) i pripadajućih odgovarajućih alata (tools). Sustav je pokazao zadovoljavajuće rezultate u prepoznavanju registarskih pločica vozila i mogućnosti upotrebe u predviđenom području primjene.

Ključne riječi: *inteligentni transportni sustav, automatsko raspoznavanje registarskih pločica, obrada slike, optičko prepoznavanje znakova, neuronske mreže*

SUMMARY

Automatic Vehicle Identification is an important subsystem of Intelligent Transport Systems. One of the most common methods is the application of the licence plate recognition which is conducted in the following steps: detecting and extracting vehicles in dynamic scene, image pre-processing, licence plate localization, extracting characters from the licence plate and recognition of the individual character. In this paper, the operation of the Automatic licence plate identification module and multifunctional system for automatic traffic monitoring is presented. The preview of the algorithm operation is achieved by using Matlab (MathWorks) software and the corresponding appropriate Tools. The system has shown satisfactory results in recognizing licence plates and usefulness in the planned scope.

Key words: *Intelligent Transport Systems, Automatic Licence Plates Identification, image processing, Optical Character Recognition, Neural Network*

1. UVOD

Povećanje populacije i sve različite ljudske potrebe utječu na rast prometa u cijelosti bez obzira radi li se o zračnom, vodnom ili kopnenom. U dijelu kopnenog prometa od posebnog je značaja cestovni segment. Kontinuirani rast prometa na cestovnim prometnicama jednako se odražava kako na teretni tako i na putnički promet. Postojeće stanje i trendovi ukazuju na sve veće probleme u zagušenjima cestovnog prometa što se posebno očituje u gradovima. Da bi se ova pojava donekle ublažila ili barem postavila u određene okvire, neophodno je provesti sustavno nadziranje prometa.

Za nadzor i upravljanje prometom danas se sve više koristi pristup poznat pod nazivom inteligentni transportni sustavi. U okviru ovoga pristupa izrazito je zastupljena automatska identifikacija vozila (*Automatic Vehicle Identification*). Automatska identifikacija vozila predstavlja osnovu svakog inteligentnog prometnog sustava, a moguće ju je provesti na dva načina: upotrebom posebnih elektroničkih uređaja (na primjer RFID uređaja)¹ i raspoznavanjem registarskih pločica (*License plate recognition*)².

Danas na tržištu postoji cijeli niz primijenjenih rješenja u okviru inteligentnih transportnih sustava koji za svoj rad koriste automatsku identifikaciju vozila. Primjena tih sustava je započela s automatskom naplatom parkirnih karata i troškova cestarine, kontrolom graničnih prijelaza, kontrolom i evidencijom pristupa u svrhu sigurnosti, nadzorom vozila na ulazima i izlazima s autocesta, automatskim posluživanjem gorivom na benzinskim postajama i sl., a njihov razvoj i nova tehnološka postignuća doveli su do toga da je i prepoznavanje registracijskih pločica vozila u pokretu nezaobilazan čimbenik sigurnosti u prometu. U novije se vrijeme ova tehnika posebno često koristi u sustavima naplate zagušenja u gradovima, kao sustavi za detekciju ulaska/izlaska vozila u zonu/koridor naplate.

Jedan od algoritama i pripadajući rezultati analize modula za automatsko prepoznavanje registarskih pločica za nadzor cestovnog prometa prikazani su u ovome radu.

¹ U posljednjih desetak godina učestalo se koristi RFID (*Radio Frequency Identification*) tehnologija koja pomoću radiofrekvencije i radiovalova razmjenjuje informacije i automatski identificira objekte.

² U literaturi se može pronaći i cijeli niz gotovo istoznačnih izraza i kratica poput ANPR, ALPR, CPR, LAPI i sl.

1 INTRODUCTION

A constant population growth and the variety of human needs affect the growth of traffic, regardless of whether it is an air, water or land traffic. In the land traffic, the road segment is particularly important. The continuous growth of road traffic is equally reflected on the transport of cargoes and passengers. Current trends point to the increasing problems of road traffic congestions which are particularly evident in the urban areas. To limit this phenomenon and to make it controllable, it is necessary to conduct a systematic traffic monitoring.

The intelligent transportation system approach, which also includes the automatic vehicle identification, has been increasingly used for traffic monitoring and control. Within this approach there is an Automatic Vehicle Identification. The Automatic Vehicle Identification represents the basis of every intelligent transportation system. It can be implemented in two ways: by using electronic devices¹ and with a License Plate Identification².

At present, there is a variety of different intelligent traffic or other systems in commercial use that are based on Automatic Vehicle Identification.

Such systems are used for the automatic charging of parking tickets and toll costs, control of border crossings, control and access to the records for the security purposes, surveillance of vehicles at the entrances and exits of the freeway, automated serving fuel at petrol stations, etc. The development and accomplishments of this new technology made the moving of vehicle licence plate recognition an unavoidable factor in the safety of traffic. Recently, this technology is intensively used in urban areas for congestion billing and detection of entry/exit of vehicles into the charging zone/corridor. In this paper, one of the algorithms and the corresponding results of the automatic licence plate recognition module analysis is presented.

¹ RFID (Radio Frequency Identification) technology is most frequently used in last 10 years. RFID uses radio frequency and radio waves for sharing information and to automatically identify objects.

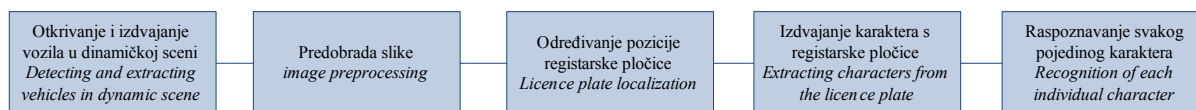
² A whole range of similar terms and abbreviations like ANPR, ALPR, CPR, LAPI, etc., can be found in literature.

2. SUSTAVI ZA RASPOZNAVANJE REGISTARSKIH PLOČICA VOZILA

Inteligentni transportni sustavi (*ITS – Intelligent Transportation Systems*) sastavljeni su od više različitih vrsti tehnološki orijentiranih sustava, obično razvrstanih u dvije skupine: inteligentne infrastrukturne sustave i inteligentne sustave u vozilima. Računalni vid i algoritmi za raspoznavanje registarskih pločica koriste se najčešće kao osnovni moduli inteligentnih infrastrukturnih sustava.

Prvi sustavi za raspoznavanje registarskih pločica pojavljuju se 80-ih godina 20. stoljeća, no tek u sljedećem desetljeću doživljavaju svoju komercijalnu upotrebu. Na tržištu se pojavljuje cijeli niz različito oblikovanih sustava koji u osnovi sadrže kameru (kolornu ili monokromatsku), *frame grabber*³, računalo i posebno oblikovani program za obradu i analizu slike. Uz navedene komponente pojavljuju se i različita osjetila za otkrivanje pokretnih objekata ili se kamera istovremeno koristi kao osjetilo. Slika 1. opisuje način rada dijela sustava za automatsku identifikaciju vozila.

Vrijednost sustava za automatsko prepoznavanje registarskih pločica ovisi o njegovim mogućnostima. Ključni čimbenici visokokvalitetnih sustava su tehnologija prikupljanja slika i njihova jasnoća te primijenjeni algoritmi za raspoznavanje registarskih pločica. Bolji algoritmi omogućuju visoku preciznost u raspoznavanju registarskih pločica, veću brzinu obrade podataka, prepoznavanje većeg broja različitih pločica, širi opseg kvalitete slika koje mogu obraditi veću količinu dozvoljenih izobličenja ulaznih podataka i sl.



Slika 1. Blok dijagram osnovnog dijela sustava za automatsku identifikaciju vozila
Figure 1 Block Diagram of the Main Parts of the Automatic Vehicle Identification System

³ Elektronički uređaj koji u analizi dinamičkih scena prikuplja okvire sekvenci određenih videozapisa od analognog video signala ili digitalnog videa. Obično se koristi kao neizostavna komponenta sustava u kojima se koristi računalni vid, te se tako prikupljeni videookviri prikazuju, spremaju ili prenose u izvornom ili komprimiranom digitalnom obliku. Dugi niz godina predstavlja najzastupljenije sučelje između kamere i računala, dok se na tržištu nisu pojavili direktni spojevi kamere na računalo (USB, Ethernet, FireWire i sl.).

2 LICENCE PLATE RECOGNITION SYSTEM

ITS – Intelligent transport systems are made up of many different types of technology-based systems, usually classified into two groups: the Intelligent Infrastructure Systems and Intelligent Systems in Vehicles. A computer vision and algorithms for the licence plate recognition are most frequently used as the basic modules of the Intelligent Infrastructure Systems.

The first system for the licence plate identification appeared during the 80-is of the 20th century, but they were not in commercial use for more than one decade. There is a full range of differently shaped systems which usually contain: camera (colour or monochromatic), frame grabber³, computer and specially created software for image processing and analysis. Beside these components there are also different sensors to detect moving objects or a camera is simultaneously used as a sensor. The block diagram of the Automatic Vehicle Identification is shown in Figure 1.

The value of the automatic licence plate recognition depends on its capabilities. Crucial factors of high-quality systems are the technology used for pictures collecting lighting and algorithms applied for the licence plate identification. Better algorithms provide higher accuracy in recognizing licence plates, faster data processing, identifying a larger number of different plates, wider range of quality images that can be processed, a larger amount of allowed input data distortion, etc.

³ An electronic device that in the analysis of dynamic scenes collects (grabs) sequence frames of certain video logs from analog video signal or digital video. It is commonly used as an essential component of the system, in which the computer vision is used. Video frames collected in such manner are displayed, stored or transmitted in original or compressed digital format. For many years, it represents the most common interface between the camera and the computer until a direct connection between the camera and the computer camera did not appear at the market (USB, Ethernet, FireWire etc.).

3. OTKRIVANJE I IZDVAJANJE VOZILA U DINAMIČKIM SCENAMA

U svrhu otkrivanja i izdvajanja vozila u dinamičkim scenama koriste se različiti tipovi osjetila koji mogu biti dio infrastrukture prometnice ili dio sustava za identifikaciju vozila. Prvoj grupi osjetila pripadaju pneumatske cestovne cijevi, induktivne petlje, piezoelektrička osjetila i magnetska osjetila. U drugu grupu spadaju radari, infracrveni senzori, ultrazvučni senzori, pasivni akustični senzori i sustavi za obradu videoslike [1]. Prednosti i nedostatke navedenih senzorskih tehnologija prikazao je L. A. Klein u svome radu [2].

Sustavi za obradu video slike otkrivaju vozilo u dinamičkoj sceni utvrđujući promjene između uzastopnih okvira. Algoritmi za obradu slike analiziraju crno-bijele slike ispitujući promjene sivih tonova u grupama piksela. Segmentacija dinamičkih scena najčešće se temelji na oduzimanju pozadine pri čemu se utvrđuje razlika između trenutnog okvira i referentnog okvira koji predstavlja pozadinu. Pozadina se može modelirati upotrebom Kalmanovog filtriranja [3] i statičkim modeliranjem [4] te primjenom neuronskih mreža [5]. Kvalitetniji su algoritmi sposobni ukloniti promjene sivih tonova u pozadini nastalih uslijed promjene osvjetljenja

3 DETECTING AND EXTRACTING VEHICLES IN DYNAMIC SCENE

For the purpose of detecting and extracting vehicles in dynamic scene different types of sensors are used. These sensors can be a part of the road infrastructure or a part of the vehicle identification system. The first group of sensors includes pneumatic road tubes, inductive loops, piezoelectric and magnetic sensors. The second group involves radars, infrared sensors, ultrasonic sensors, passive acoustic sensors and systems for the video images processing [1]. The advantages and disadvantages of these sensor technologies are presented in [2].

Systems for processing video images reveal the vehicle in a dynamic scene by identifying the changes between successive frames. Image processing algorithms analyze the black-and-white images by examining the changes in groups of greyscale pixels. The segmentation of dynamic scenes is usually based on the seizure of the background where the difference between the current frame and the reference frame that forms the background is determined. The background can be modelled by using Kalman filtering [3], by static modelling [4], and by applying neural network [5]. Higher quality algorithms are able to remove the greyscale changes in the background which appear



Slika 2. Otkrivanje vozila u jednom od okvira videosnimke
Figure 2 Process of Detecting a Vehicle in a Dynamic Scene

zbog različitih vremenskih uvjeta, pojavljivanja sjena i izmjene doba dana te zadržati informaciju o objektu identificiranom kao vozilo. Analiza uzastopnih videookvira pruža i druge parametre toka prometa poput brzine vozila i gustoće prometa. Na slici 2. prikazan je rezultat algoritma za otkrivanje i izdvajanje vozila iz dinamičke scene.

4. PREDOBRAĐA SLIKE

Zadatak predobrade slike, odnosno pretprocesiranja je olakšavanje daljnje analize slike. Najčešće se postupci koji se koriste u ovoj fazi svode na povećavanje kontrasta slike. Pojedini sustavi prije predobrade slike mijenjaju veličinu ulazne slike čime smanjuju vrijeme potrebno za obradu. Digitalna slika vozila izdvojena iz dinamičke scene je dvodimenzionalno polje koje može biti kolorno ili monokromatsko. Sastavljena je od malih kvadratnih elemenata koji se nazivaju pikseli čija se numerička vrijednost, koja predstavlja intenzitet, može mijenjati u rasponu od 0 do 255. Broj stupaca i broj redaka ove dvodimenzionalne matrice predstavlja njezinu rezoluciju. U većini slučajeva koristi se siva slika jer je jednostavnija za obradu, nego crvena, plava i zelena komponenta kolorne slike zasebno.

Kolorna slika se pretvara u sivu (k) tako da se vrijednost pojedinog piksela određuje izračunavanjem iz odnosnih vrijednosti plave (b), crvene (r) i zelene (g) boje prema jednadžbi (za NTSC standard) [6]:

$$k = 0.299 r + 0.587 g + 0.114 b.$$

Nakon pretvorbe kolorne slike u sliku sa sivim tonovima primjenjuju se postupci za poboljšanje kontrasta kako bi se objekti koji se na njoj nalaze čim više isticali. Poboljšanje kontrasta slike provodi se zbog nemogućnosti utjecanja na nepovoljne scenarije koji se mogu pojaviti prilikom izdvajanja slike s vozilom, poput slabe ili neujednačene rasvjete, nečistih i oštećenih registracijskih pločica itd. Postupci za poboljšanje kontrasta mogu biti lokalni ili globalni te se mogu provoditi u vremenskoj i frekvencijskoj domeni. U ovom se sustavu koristi adaptivno izjednačavanje histograma s ograničenim kontrastom [7].

Uz poboljšanje kontrasta u ovoj se fazi koristi i median filter kao nelinearna digitalna tehnika filtriranja kako bi se uklonio šum sa slike i umanjio utjecaj oštećenih i nečistih registarskih

as a result of illumination changes due to different weather conditions, shadows and day-time changes and to keep the information about the identified object (vehicle). The analysis of consecutive video frames provides other traffic flow parameters such as the vehicle speed and traffic density. The result of an algorithm for detecting and extracting vehicles in dynamic scenes is shown in Figure 2.

4 IMAGE PRE-PROCESSING

The task of image pre-processing is to facilitate the further image analysis. Procedures which are commonly used in this phase are reduced to an increasing contrast of the image. Some systems, before the image pre-processing, are changing the size of the input image, thereby reducing the time required for processing. The digital image of a vehicle extracted from a dynamic scene is a two-dimensional array that can be either colour or monochromatic. It consists of small square elements called pixels whose numerical value, which represents the intensity, can be changed in a range from 0 to 255. The number of columns and rows of this two-dimensional matrix represents its resolution. In most cases, the gray scale image is used because it is easier to process it as compared to the red, blue and green components of the colour image.

Coloured images are converted to gray (k) in a way that the value of each pixel is determined by calculating the respective values of the blue (b), red (r) and green (g) colour according to the equation (for NTSC standard) [6]:

$$k = 0.299 r + 0.587 g + 0.114 b.$$

After converting the colour image into a greyscale image, procedures are used to enhance the contrast in order to emphasize the displayed objects. The improvement of the image contrast is performed due to the inability to influence the negative scenarios that can occur during extracting the image with the vehicle, such as weak or inconsistent lighting, dirty or damaged license plates, etc. Procedures to improve the contrast can be local or global, and can be implemented in the time and frequency domain. In this system, the adaptive histogram equalization with limited contrast is used [7].

Along with the contrast enhancement, what is used in this stage is a median filter as a nonlinear digital filtering technique to remove the noise

pločica. Upotreba median filtra ne dovodi do zamućivanja rubova što ga čini posebno učinkovitom metodom za uklanjanje šuma [8]. Pojedini sustavi koriste median filter tek nakon određivanja pozicije registarske pločice i njezinog izdvajanja.

5. ODREĐIVANJE POZICIJE REGISTARSKE PLOČICE

Više je različitih metoda za određivanje pozicije registarske pločice koje se mogu pronaći u literaturi i koriste se u sustavima trenutno raspoloživim na tržištu. Jednu od svakako vodećih komparativnih analiza metoda za određivanje pozicije registarske pločice i njezino izdvajanje te segmentaciju karaktera prikazao je Anagnostopoulos, et al. [9].

Postupak određivanja pozicije registarske pločice započinje binarizacijom slike sa sivim tonovima. Da bi se slika binarizirala potrebno je odrediti prag prema kojem se provodi postupak binarizacije. Postupak se sastoji od uspoređivanja vrijednosti slikovnih elemenata s vrijednošću praga te im se na osnovi dobivenog rezultata dodjeljuje jedna ili druga granična vrijednost⁴. Prag može biti jedinstven za cijelu sliku (globalan) ili se mijenjati u ovisnosti o vrijednosti slikovnog elementa i njegovog susjedstva (lokalan). Globalna se binarizacija koristi kod ujednačenog osvjetljenja, a lokalna kod neujednačenog osvjetljenja što je čini puno prikladnijom za potrebe izdvajanja registarske pločice.

Vrijednost praga kod lokalne je binarizacije promjenjiva za pojedine dijelove slike i slikovne elemente. Izračunava se na osnovi susjedstva slikovnog objekta koji se obrađuje i koje čini određen broj točaka (piksela) u njegovoj neposrednoj blizini.

Na ovaj se način dobiva slika na kojoj su istaknuti važni dijelovi čime se pojednostavljuje pronalaženje registarske pločice (Slika 3).

Za analizu objekata na slici potrebno je primijeniti jedan od algoritama za detekciju rubova kako bi se mogli izdvojiti objekti od interesa. Na slici 4. može se vidjeti rezultat detekcije rubova primjenom Canny i Sobel gradijentnog filtra⁵.

⁴ 0 ili 255 (crna ili bijela).

⁵ U svrhu prikazivanja pojedinih rezultata obrade slike i primjene odgovarajućih algoritama dio programskog koda prilagođen je za korištenje u programskom proizvodu Matlab, tvrtke MathWorks.

from the image and reduce the impact of damaged and dirty licence plates. Using the median filter does not cause blurring of the edges which makes this method especially effective for removing the noise [8]. Some systems use a median filter only after determining the position of the licence plate and its extraction.

5 LICENCE PLATE LOCALIZATION

There are several different methods for determining the position of licence plates that can be found in the literature and used in the systems currently available on the market. Certainly one of the leading comparative analyses of the licence plate localization and extraction, and the character segmentation methods were presented by Anagnostopoulos et al. [9].

The procedure for determining the licence plate position begins with the greyscale image binarization. To binarize the image, it is necessary to determine the threshold according to which the binarization procedure is performed. The procedure is based on comparing the values of the image elements with the value of the threshold; on the basis of the obtained results one or the other threshold value will be assigned⁴. Threshold can be unique to the entire image (global) or variable depending on the value of the image element and its adjacency (local). Global binarization is used when illumination is balanced and the local one with unbalanced illumination, which makes it much more convenient for the purpose of extracting licence plates.

The threshold value for the local binarization is variable for some parts of the image and image elements. It is calculated on the basis of the processed image object surroundings, which makes a number of dots (pixels) in the immediate vicinity.

This is the way to get the image with all important parts highlighted, which makes the location of the licence plate easier (Figure 3).

For analyzing objects in the image, it is necessary to apply one of the edge detection algorithms in order to extract objects of interest. The result of the edges detection using Canny and Sobel gradient filter⁵ is shown in Figure 4.

⁴ 0 or 255 (black or white).

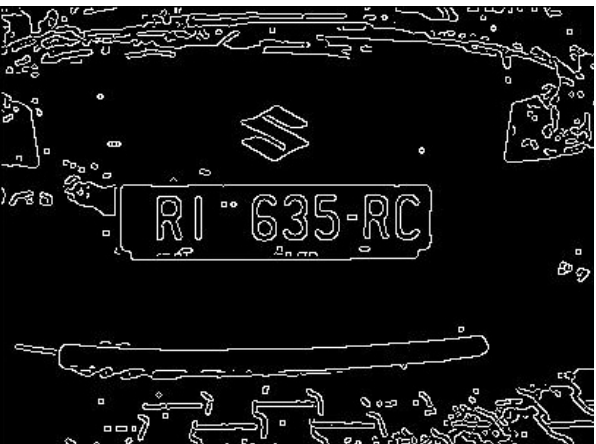
⁵ For the purpose of displaying individual results of image processing and implementation of specific algorithms, a part of the application code is adapted for usage in Matlab software of the MathWorks Company.



Slika 3. Binarizacija slike sa sivim tonovima
Figure 3 Grayscale Image Binarization



(a)



(b)

Slika 4. Detekcija rubova primjenom Canny i Sobel gradijentnog filtra
na slici prije (a) i poslije (b) binarizacije
*Figure 4 Edges Detection by Using Canny and Sobel Gradient Filter
before (a) and after (b) Binarization*

Zbog jednostavnosti i brzine izvođenja odabran je Sobelov gradijentni filter za detekciju rubova koji koristi rubni (Sobelov) operator koji izbjegava klasično računanje gradijenta u interpoliranoj točki između dviju linija koristeći maske veličine 3 X 3 (horizontalne i vertikalne). Konvolucijom maske i slike naposljetku se dobivaju odgovarajući rubovi koji su preduvjet za određivanje potencijalnih kandidata za registarsku pločicu.

Dobivena se slika dodatno obrađuje kako bi se uklonile nepotrebne komponente slike koje bi otežavale određivanje pozicije registarske pločice ili utjecale na njezinu uspješnost. Obrada se zasniva na operacijama zatvaranja i otvaranja koje nastaju kombinacijom operacija binarne matematičke morfologije: erozije (koja povećava crne objekte) i dilatacije (koja povećava bijele objekte). Kod slika s vozilom operacije erozije i dilatacije koriste strukturni element oblika kvadrata dimenzija 3 X 3 piksela kojim prelaze preko slike. Ovisno o preklapanju strukturnog objekta s objektima na slici i odabranoj operaciji nastaje nova slika.

Obrada započinje operacijom zatvaranja u kojoj se prvo primjenjuje operacija dilatacije, a zatim operacija erozije. Na taj se način popunjavaju sve bjeline manje od strukturnog elementa koje nastaju uslijed binarizacije, a pojavljuju se najčešće upravo na rubovima što može uzrokovati pojavljivanje više kandidata za registarsku pločicu ili u potpunosti onemogućiti prepoznavanje i izdvajanje.

Nakon operacije zatvaranja provodi se operacija otvaranja u kojoj operaciju erozije slijedi operacija dilatacije. Njome se uklanjaju nepoželjni dijelovi slike koji su manji od strukturnog elementa. Otvaranje se koristi za uklanjanje šuma sa slike i razdvajanje slabo povezanih objekata.

Operacije otvaranja i zatvaranja rezultiraju slikom bez šuma s jasnije određenim rubovima i odvojenim objektima koji predstavljaju potencijalne kandidate za registarsku pločicu. Izbor kandidata za registarsku pločicu može se izvoditi na više načina. Najčešće se koristi Houghova transformacija [10] za pronalaženje paralelnih rubova upotunjena konturnim algoritmom radi postizanja zadovoljavajuće brzine [11] ili kombinacija horizontalne i vertikalne projekcije (Slika 5).

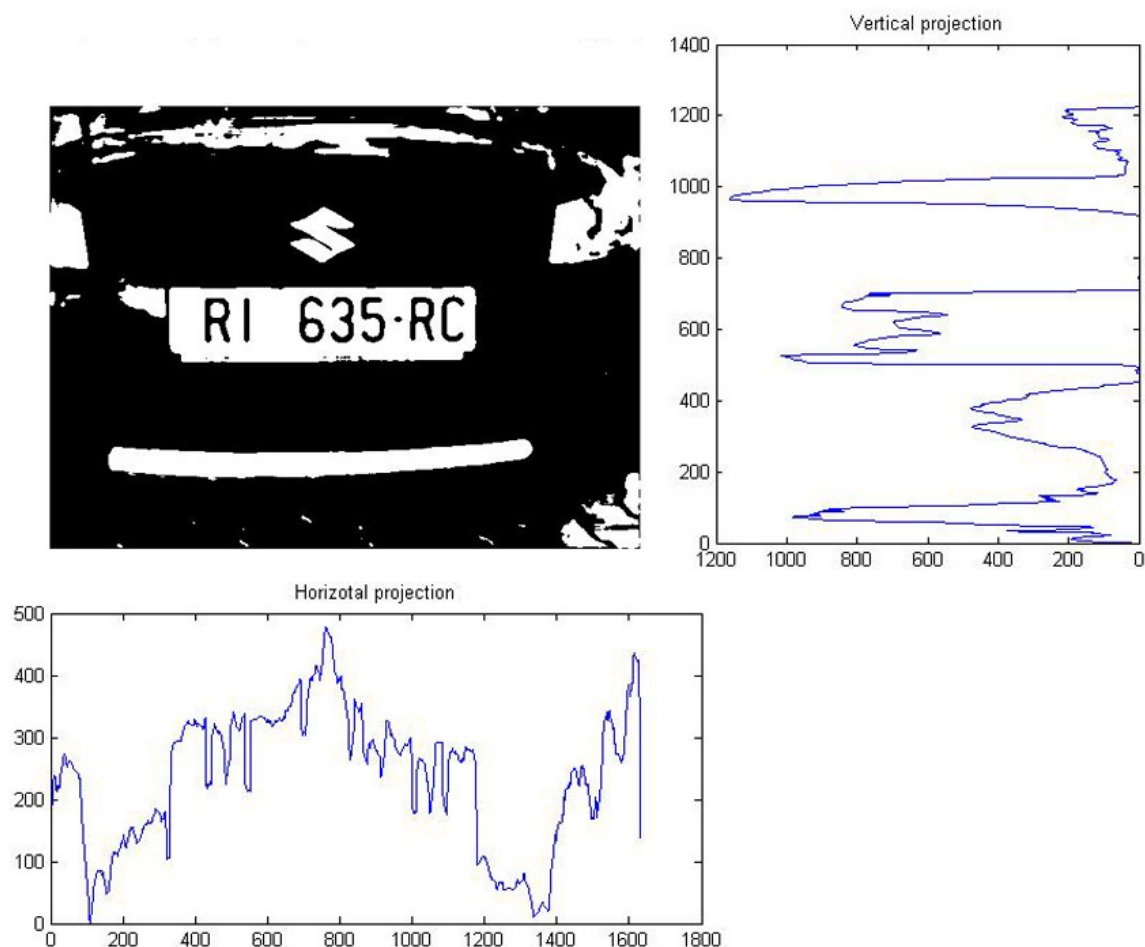
Due to the simplicity and speed of execution, the Sobel gradient filter was chosen for edge detection. It uses the edge (Sobel) operator that avoids calculation of conventional gradient in the interpolated point between two lines, using a mask size of 3x3 (horizontal and vertical). Convolution masks and images ultimately obtain appropriate edges that are a precondition for determining potential licence plate candidates.

The obtained image is further processed in order to remove unnecessary image components that can obstruct the licence plate location or have a negative influence on its success. The processing is based on the closing and opening operations, resulting in the combination of binary mathematical morphology operations: erosion (which increases the black objects) and dilation (which increases the white objects). For images with the vehicle, the operations of erosion and dilation use a structuring element of a square, pixel size 3x3, which spans across the picture. According to the overlap of the structural object with objects in the picture and the selected operation, a new image is created.

The processing begins with the closure operation where dilation is first applied and then followed by erosion. In this way, all the white fields smaller than a structural element which appears during binarization is filled. They appear mostly at the edges and can cause the appearance of several candidates for the registration plate or completely disable the detection and isolation.

After the closing operation, an opening operation is conducted in which erosion is applied first, followed by the dilation operation. It removes the unwanted parts of the image that are smaller than the structural element. The opening is used to remove noise from the image and separate weak related objects.

Opening and closing operations results in an image without noise with clearly defined edges and separated objects that represent potential candidates for the licence plate. The selection of the licence plate candidates can be done in several ways. Hough transformation [10] is most commonly used for finding parallel edges complemented with contour algorithm to achieve a satisfactory velocity [11], or a combination of horizontal and vertical screening (Figure 5).



Slika 5. Određivanje pozicije registarske pločice upotrebom horizontalne i vertikalne projekcije
Figure 5 Licence Plate Localization by Using a Horizontal and Vertical Projection

Odabrani se predlošci za registarsku pločicu ispituju kako bi se provjerilo jesu li zadovoljeni kriteriji koje pločica mora ispunjavati. Koriste se tri kriterija prilikom ispitivanja: omjer širine i visine registarske pločice, zastupljenost bijele boje na pločici i broj objekata koje pločica sadrži⁶. Registarskom pločicom proglašava se predložak koji zadovoljava sve odabrane uvjete.

Registarska pločica zbog kuta snimanja kamerom može biti i ukošena ili deformirana te se stoga prije raspoznavanja karaktera mora izravnati. Izravnavanje registarske pločice izvodi se pomoću Houghove transformacije [12] kojom se pronalazi kut zakrivljenja i rotacije.

The selected candidates for the licence plate are analyzed in order to determine whether they meet the specific criteria. Three criteria are used during testing: the ratio of the width and height of the licence plate, prevalence of white colour on the plate and the number of objects on the plate⁶. The candidate is the licence plate that meets all the selected conditions.

Due to the camera shooting angle, a licence plate can be slanted or deformed, therefore it must be levelled before the character recognition. The licence plate levelling is performed using the Hough transformation [12] which finds the angle of curvature and rotation.

⁶ Dimenzije hrvatskih registarskih pločica i broj objekata opisani su u Pravilniku o registraciji vozila.

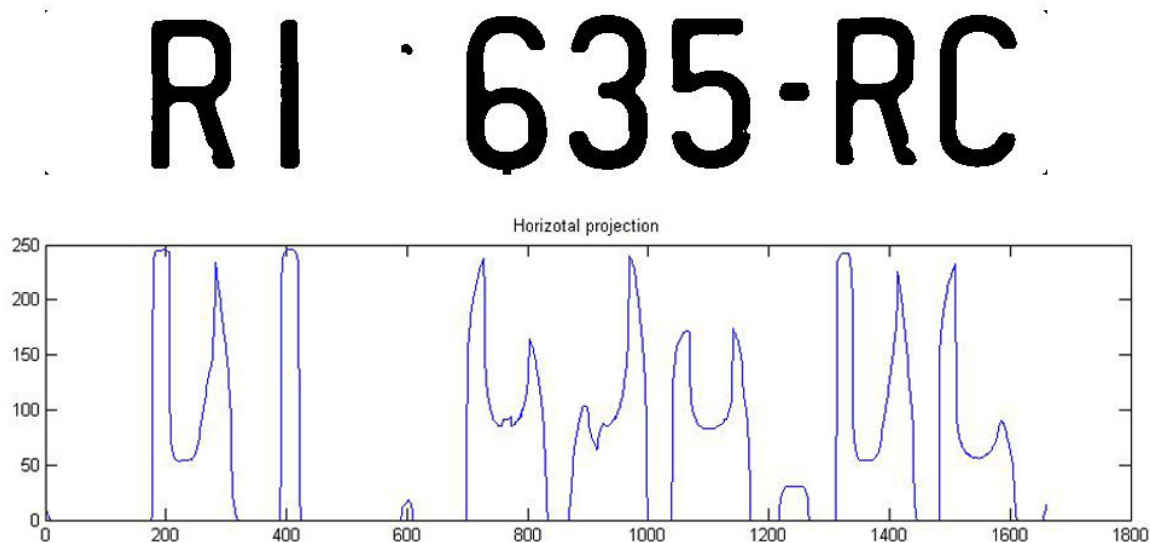
⁶ Dimensions of the Croatian licence plate and the number of objects are described in the Regulations of Vehicle Registration.

6. IZDVAJANJE KARAKTERA S REGISTRARSKE PLOČICE

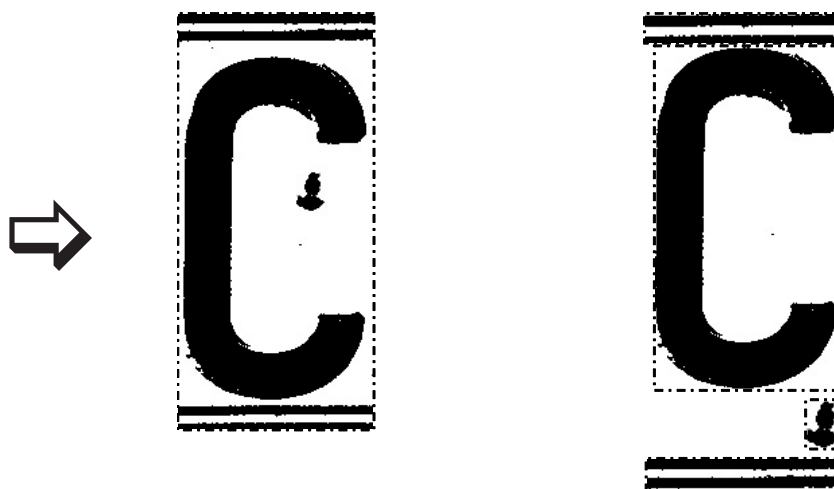
U svrhu čitanja karaktera s registarske pločice potrebno je prije svega provesti izdvajanje (segmentaciju) karaktera. Horizontalna projekcija predstavlja najučinkovitiju i najjednostavniju metodu koja se koristi u navedenu svrhu (Slika 6) i provodi se na slici registarske pločice koja je prethodno binarizirana primjenom Otsu metode [13] i očišćena od šumova median filtrom.

6 CHARACTER EXTRACTION FROM THE LICENCE PLATE

In order to read the character from a licence plate, the segmentation of the character has to be performed. Horizontal projection is the most effective and the easiest method used for the stated purpose (Figure 6). It is conducted at the licence plate image, previously binarized applying Otsu method [13], and cleared from the noise by applying the median filter.



Slika 6. Određivanje pozicije karaktera na registarskoj pločici upotrebom horizontalne projekcije
Figure 6 Determining the Position on the Licence Plate Characters by Using a Horizontal Projection



Slika 7. Podjela segmenta na dijelove
Figure 7 Splitting the Character Segments in individual Parts

Horizontalnom projekcijom pronalaze se granice između znakova na osnovi kojih se izdvajaju segmenti registarske pločice koji sadrže karakter koji treba raspoznati.

Svaki segment registarske pločice koji je rezultat izdvajanja, osim slovne ili brojčane oznake sadrži i suvišan prostor i ostale nepoželjne dijelove. Susjedni se pikseli grupiraju u više većih dijelova, a samo jedan od tih dijelova predstavlja odgovarajući znak. Cilj je podijeliti segment na dijelove te prepoznati samo onaj koji uistinu predstavlja traženi znak (Slika 7).

Slično postupku za određivanje pozicije registarske pločice i njezino izdvajanje nepoželjni se elementi uklanjaju na osnovi određenih kriterija poput odnosa širine i visine te odnosa bijelih i crnih piksela.

7. RASPOZNAVANJE SVAKOG POJEDINOG KARAKTERA

Optičko prepoznavanje znakova čini osnovu ovog dijela sustava. Prepoznavanje uzoraka i ekstrakcija značajke su dviju osnovnih metoda optičkog prepoznavanja znakova.

Prepoznavanje uzoraka zasniva se na uspoređivanju izdvojenih znakova i predložaka koji se nalaze u bazi podataka, odnosno odgovarajućim matricama. Predložak koji pokaže najveću sličnost s izdvojenim znakom uzima se kao prepoznati znak.

Ekstrakcija značajki složenija je metoda prepoznavanja znakova. Preduvjet za raspoznavanje znakova na ovaj način je određivanje nekih karakterističnih značajki pogodnih za postupak klasifikacije iz slikovne reprezentacije znaka poput broja linija, petlji, završetaka linija, krivulja itd. Odabrani algoritam mora biti u mogućnosti izvući značajke koje su neovisne o promjeni osvjetljenja i različitim tipovima slova.

Prije izvlačenja karakterističnih značajki izdvojenih znakova provodi se normalizacija veličine slova kojom se svi prepoznati znakovi svode na istu veličinu. U najvećem se broju slučajeva smanjuje veličina slova odbacivanjem dijela informacija iz slike koja predstavlja odgovarajući znak. Smanjivanje se provodi algoritmom bikubičnog filtriranja koji daje najbolje rezultate u prihvatljivom vremenu.

Oblik slova izdvojenih znakova nije prikladan za određivanje značajki pa se stoga primje-

A horizontal screening determines the borders between the characters upon which the segments of the licence plate containing the character that needs to be recognized are extracted.

Each segment of the licence plate, which is the result of separation, other than alphabetical or numerical marks, contains redundant space and other adverse components. Adjacent pixels are grouped into several major parts, and only one of these parts represents a suitable sign. The aim is to divide a segment into parts, and to recognize only one, the one that truly represents the required sign (Figure 7).

Similar to the procedure for the licence plate location and separation, undesirable elements are removed on the basis of certain criteria such as the ratio of the width and height, and the relations of black and white pixels.

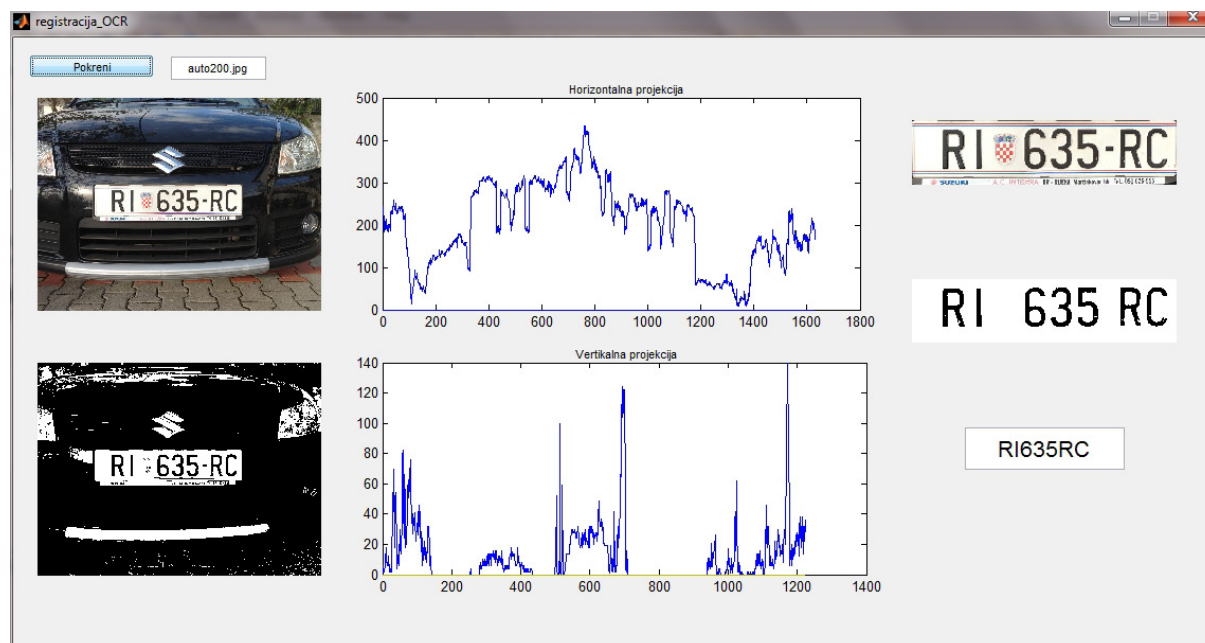
7 RECOGNITION OF AN INDIVIDUAL CHARACTER

The optical recognition of characters is the basis of this part of the system. The recognition of the pattern and feature extraction represents the two basic methods of optical character recognition.

The pattern recognition is based on the comparison of selected characters and templates that are available in the database and the corresponding matrices. A template which is the most similar with the separated character is chosen as the recognized character.

The feature extraction is a more complex character recognition method. The precondition for the character recognition by using this method is the determination of some specific features which are suitable for the image presentation of the character classification procedures such as number of lines, loops, termination lines, curves, etc. The selected algorithm must be able to draw the features that are independent of light condition changes and of different types of letters.

A normalization of the font size is performed before the extraction of the characteristic features of the selected characters in order to reduce all recognized signs at the same size. In most cases, it reduces the letters size by rejecting some information from the image which represents an appropriate character. The reduction is performed with a bicubic filtering al-



Slika 8. Rezultat prepoznavanja registarske pločice
 Figure 8 Licence Plate Recognition Result

njuje algoritam skeletonizacije kojim se slovo stanjuje do debljine od samo jednog piksela. Zatim se provodi strukturalna analiza kojom se izvlače prethodno spomenute značajke, stvaraju se vektori opisnika s čim više korisnih informacija i šalju u klasifikator. Klasifikacija se provodi putem višeslojne neuronske mreže bez povratnih veza, a rezultat primjene ovakvog načina prepoznavanja može se vidjeti na slici 8.

8. IZVEDBA SUSTAVA I REZULTATI TESTIRANJA

Višenamjenski sustav za automatsko nadziranje cestovnog prometa za snimanje koristi crno-bijelu mvBlueFOX kameru. Uz navedenu kameru sustav čine ekran osjetljiv na dodir i računalo malih dimenzija koji se nalaze u vozilu. Osnovu računala predstavlja LS-372 3.5 inčna mini matična ploča koja podržava Intel Core 2 Duo socket-P procesore na 533/800 MHz prednjoj sabirnici, Intel GME965 i ICH8M multi-medijske čipove, integriranu GMA X3100 grafiku, DDR2 533/667 MHz memoriju, REALTEK audio visoke definicije, SATA i Intelovu gigabitnu mrežu.

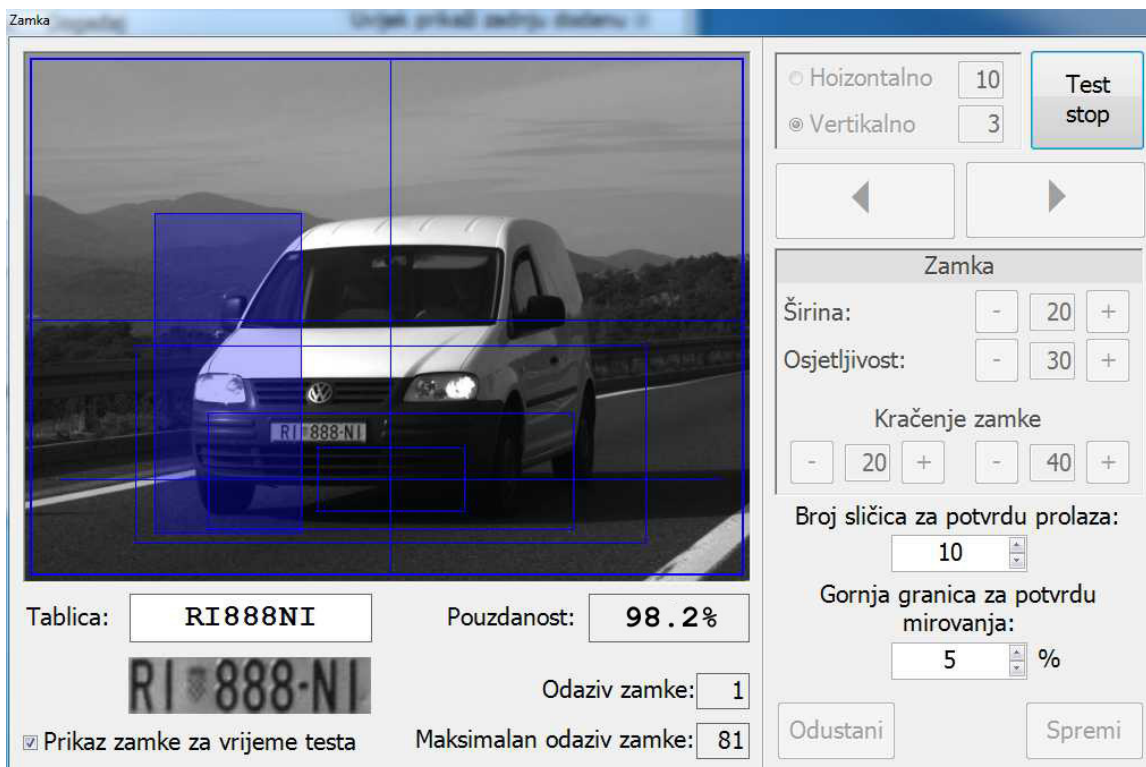
Ploča se zasniva na Intel MeromCore 2 Duo procesoru koji ima 4MB L2 interne predmemorije, a sastavni su joj dio i 18/24-bit Single/dual channel LVDS sučelje, HDTV i audio visoke

goritma koji daje najbolje rezultate u prihvatljivo vrijeme.

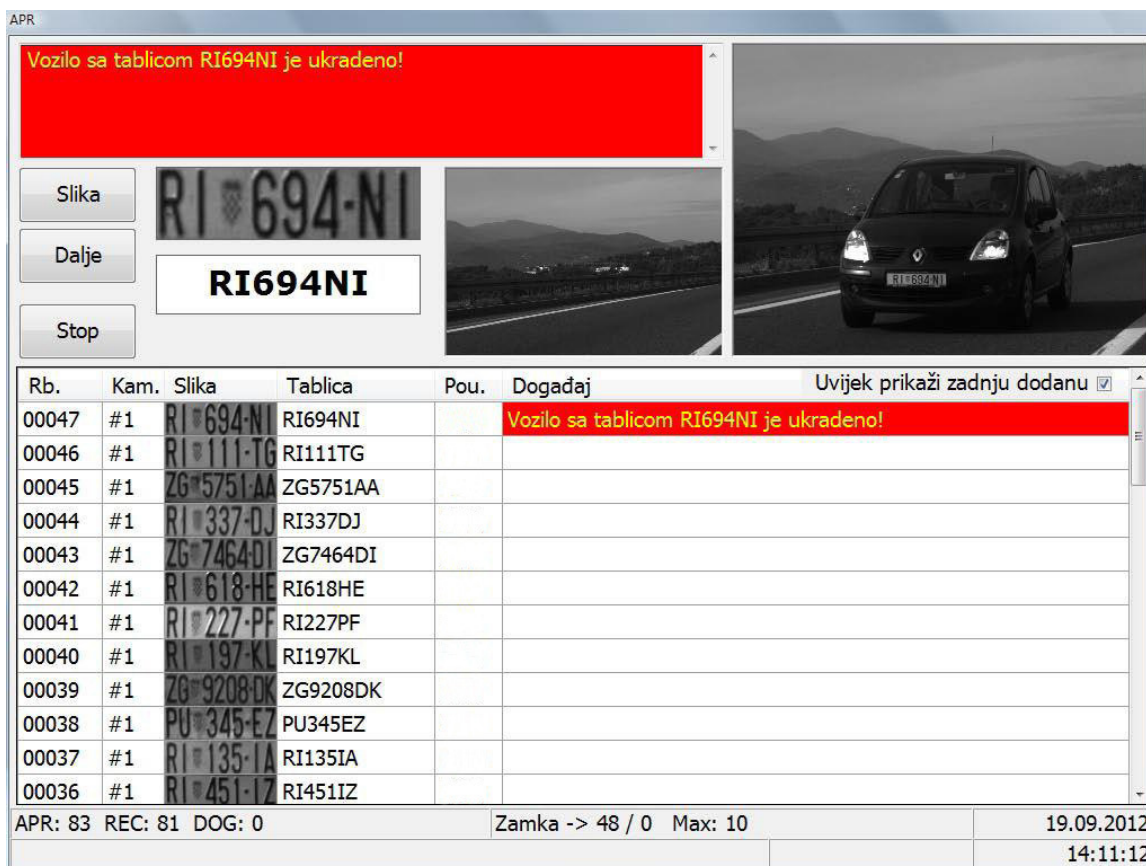
Oblik izdvojenih slova nije pogodan za definiranje značajki; stoga se algoritam skeletonizacije primjenjuje na debljinu od samo jednog piksela. Nakon toga mora se izvršiti strukturalna analiza izdvojenih slova. Opisni vektori stvaraju se s čim više korisnih informacija i šalju u klasifikator. Klasifikacija se provodi putem višeslojne neuronske mreže bez povratnih veza. Rezultat primjene ovog načina prepoznavanja može se vidjeti na slici 8.

8 SYSTEM PERFORMANCE AND OBTAINED RESULTS

Multifunkcionalni sustav za automatsko nadziranje cestovnog prometa koristi crno-bijelu mvBlueFOX kameru. Uz navedenu kameru sustav čine ekran osjetljiv na dodir i računalo malih dimenzija koji se nalaze u vozilu. Osnovu računala predstavlja LS-372 3.5" mini matična ploča koja podržava Intel Core 2 Duo socket-P procesore na 533/800 MHz prednjoj sabirnici, Intel GME965 i ICH8M multi-medijske čipove, integriranu GMA X3100 grafiku, DDR2 533/667 MHz memoriju, REALTEK audio visoke definicije, SATA i Intelovu gigabitnu mrežu.



Slika 9. Testiranje modula za prepoznavanje registarskih pločica
 Figure 9 Licence Plate Recognition Module Testing



Slika 10. Simulacija otkrivanja vozila u prekršaju
 Figure 10 Simulation of the Detection of a Vehicle in Traffic Violation

definicije. Uz navedeno, matična ploča sadrži LAN, USB, audio, HDMI, HDTV, CRT i SPDIF priključke što je čini otvorenom prema većini poznatih multimedijalnih standarda.

Programsko rješenje u cijelosti je napisano u programskom jeziku C++ uz upotrebu OpenCV [14] i *Integrated Performance Primitives (IPP)* biblioteka [15].

Testiranje je provedeno u suradnji s djelatnicima prometne policije na način da su se provjeravala vozila dva puta u trajanju od sat vremena u različito doba dana. Testirano je ukupno 517 vozila, odnosno u prosjeku 9 vozila u minuti i to 395 vozila s riječkoga registarskog područja, 83 vozila s ostalih registarskih područja u Republici Hrvatskoj, dok je 39 vozila imalo inozemne registarske oznake. Sustav je prepoznavao registarske oznake s prosječnom preciznošću od 99,6%. Slike 9. i 10. prikazuju rezultate testiranja i simulaciju pojavljivanja vozila u prekršaju.

9. ZAKLJUČAK

Uspješnost sustava za automatsko raspoznavanje registarskih pločica ovisi o cijelom nizu čimbenika poput vremenskih uvjeta, kuta snimanja, osvjetljenja i sjena, oštećenja i nečistoća, boje registarskih pločica i znakova, tipa pisma, itd. Poseban problem predstavljaju modificirani znakovi koji se koriste na registarskim pločicama pojedinih zemalja poput Njemačke, gdje se razlika između slova "O" i broja "0" realizira izrezivanjem dijela karaktera te sličnosti između pojedinih karaktera ovisno o tipu pisma poput "O" i "Q", "B" i "8" i sl.

Testiranje sustava koje je napravljeno za potrebe ovoga rada pokazalo je njegovu učinkovitost i višestruku iskoristivost u praksi. Neregistrirana vozila i vozila kojima je istekla valjanost prometne dozvole svojim sudjelovanjem u cestovnom prometu čine veliki problem sigurnosti prometa, što potvrđuju i smjernice Nacionalnog programa za sigurnost prometa na cestama⁷ kojima se nalaže provođenje preventivno-represivnih akcija prema vlasnicima neregistriranih i neosiguranih vozila.

Rezultati su dijelom iznad očekivanja. U daljnjem bi radu cjelovitija istraživanja trebala

The motherboard is based on the Intel Merom Core 2 Duo processor, which has 4MB of internal L2 cache, and an integral part of 18/24-bit single / dual channel LVDS interface, HDTV and high definition audio. The motherboard also contains the LAN, USB, Audio, HDMI, HDTV, CRT and SPDIF ports, which makes it open to the most well-known multimedia standards.

The software solution is entirely written in C++ using OpenCV [14] and Integrated Performance Primitives (IPP) library [15].

The testing was conducted in cooperation with the traffic police officers in a way that vehicles were checked two times within an hour during different times of the day. A total of 517 vehicles were tested, or an average of 9 vehicles per minute. 395 vehicles were with the Rijeka area registration, 83 vehicles with other licence areas in the Republic of Croatia, while 39 vehicles had foreign licence plates. The system has recognized licence plates with an average accuracy of 99.6%. The results of testing and the simulation of the appearance of vehicles in violation are shown in Figures 9 and 10.

9 CONCLUSION

The success of the Automatic Licence Plate Recognition system depends on a range of factors such as weather conditions, shooting angle, lighting and shadows, damage and dirt, colour and licence plate characters, font type, etc. Modified characters, used on licence plates of some countries such as Germany, represent a special problem because the difference between the letter "O" and the number "0" is implemented by cutting part of the character, and the similarities between certain characters depend on the type of letters like "O" and "Q", "B" and "8", etc.

The system testing which is done for the purposes of this study has demonstrated its efficiency and practical usability. Unregistered vehicles and vehicles with expired traffic licences are a great issue in the traffic safety, as confirmed by the directions of The National Programme of Road Traffic Safety in Croatia⁷ which requires the implementation of preventive repressive measures toward the owners of unregistered and uninsured vehicles.

⁷ Točka 6.1. Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske.

⁷ Point 6.1. of The National Programme of Road Traffic Safety in Croatia

pokriti sve vremenske prilike i sva doba dana. Daleko opsežnija testiranja sustava zasigurno bi smanjila i uspješnost prepoznavanja registarskih pločica, ali to ne bi značajnije utjecalo na njegovu primjenu u svrhu nadziranja cestovnog prometa.

The results were partly above expectations. A more complete study in the future should cover all weather conditions and daytime. Future testing of the system would definitely reduce effectiveness in the Licence Plate Recognition, but it would not significantly affect its application for monitoring road traffic.

LITERATURA / REFERENCE

- [1] Zehang, S., G. Bebis, R. Miller, *On-road Vehicle Detection, a Review, Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions, 28 (2006), 5, str. 694-711.
- [2] Klein, L. A., *Data Requirements and Sensor Technologies for ITS*, Norwood MA, Artech House, 2001.
- [3] Ridder, C., O. Munkelt, H. Kirchner, *Adaptive Background Estimation and Foreground Detection Using Kalman-Filtering*, Proceedings of International Conference on recent Advances in Mechatronics, ICRAM'95, UNESCO Chair on Mechatronics, 1995., str. 193-199.
- [4] Magee, D. R., *Tracking Multiple Vehicles Using Foreground, Background and Motion Models*, Report 2001., University of Leeds, 2001.
- [5] Bullock, D., J. Garrett, C. Hendrickson, *A Neural Network for Image-based Vehicle Detection*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies 1.3, 1993., str.235-247.
- [6] Hüllermeier, E., R. Kruse, F. Hoffmann, *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, 13th International Conference, IPMU 2010, Dortmund, Germany, 2010., str. 534-535.
- [7] Pizer, S. M., E. P. Amburn, J. D. Austin, et al., *Adaptive Histogram Equalization and its Variations*, Computer Vision, Graphics, and Image Processing 39, 1987., str. 355-368.
- [8] Yaniv, Z., *Median Filtering*, School of Engineering and Computer Science, The Hebrew University, Israel, 2009.
- [9] Anagnostopoulos, C. N. E., *License Plate Recognition From Still Images and Video Sequences: a Survey*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 9 (2008), 3.
- [10] Hamarneh, G., K. Althoff, R. Abu-Gharbieh, *Automatic Line Detection using Hough Transform*, Image Analysis Group, Department of Signals and Systems, CHALMERS University of Technology, Lund, 1999.
- [11] Tran Duc Duan, Tran Le Hong Du, Tran Vinh Phuoc, Nguyen Viet Hoang, *Building an Automatic Vehicle License-Plate Recognition System*, inproc. Intl. Conf. in Computer Science (RIVF), 2005., str. 59-63.
- [12] Zhang, Z. H., S. H. Yin, *Hough Transform and its Application in Vehicle License Plate Tilt Correction*, Computer and Information Science, 1(2008), str. 116-120.
- [13] Greensted, A., *The Lab Book Pages, Otsu Thresholding*, 2010. (raspoloživo na <http://www.labbookpages.co.uk/software/imgProc/otsuThreshold.html>)
- [14] Bradski, G., A. Kaehler, *Learning Open CV*, O'Reilly Media, Cambridge, 2008.
- [15] Intel Integrated Performance Primitives, Intel Corporation, 2010. (raspoloživo na <http://software.intel.com/en-us/intel-ipp/>)

