



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ INŽINERIJOS PROGRAMA

MANTAS RADZEVIČIUS

AUTOMOBILIŲ NUMERIŲ ATPAŽINIMO PROGRAMINĖS
ĮRANGOS KŪRIMAS IR TYRIMAS

Magistro darbas

Darbo vadovas

prof. dr. Vacius Jusas

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ INŽINERIJOS PROGRAMA

MANTAS RADZEVIČIUS

AUTOMOBILIŲ NUMERIŲ ATPAŽINIMO PROGRAMINĖS
ĮRANGOS KŪRIMAS IR TYRIMAS

Magistro darbas

Vadovas:.....
prof. dr. Vacius Jusas
2015-05-21

Recenzentas:
prof. dr. Alfonsas Misevičius
2015-05-21

Autorius:
IFM-3/2 gr. studentas
Mantas Radzevičius
2015-05-21

KAUNAS, 2015

AUTORIŲ GARANTINIS RAŠTAS DĖL PATEIKIAMO KŪRINIO

2015-05-25d.

Kaunas

Autorius, _____ Mantas Radzevičius _____
(vardas, pavardė)

patvirtina, kad Kauno technologijos universitetui pateiktas baigiamasis bakalauro (magistro) darbas
(toliau vadinama – Kūrinys) _____

(kūrinio pavadinimas)

„Automobilių numerių atpažinimo programinės įrangos kūrimas ir tyrimas“
pagal Lietuvos Respublikos autorių ir gretutinių teisių įstatymą yra originalus ir užtikrina, kad

- 1) jį sukūrė ir parašė Kūrinyje įvardytas autorius;
- 2) Kūrinys nėra ir nebus įteiktas kitoms institucijoms (universitetams) (tiek lietuvių, tiek užsienio kalba);
- 3) Kūrinyje nėra teiginių, neatitinkančių tikrovės, ar medžiagos, kuri galėtų pažeisti kito fizinio ar juridinio asmens intelektinės nuosavybės teises, leidėjų bei finansuotojų reikalavimus ir sąlygas;
- 4) visi Kūrinyje naudojami šaltiniai yra cituojami (su nuoroda į pirminį šaltinį ir autorių);
- 5) neprieštarauja dėl Kūrinio platinimo visomis oficialiomis sklaidos priemonėmis.
- 6) atlygins Kauno technologijos universitetui ir tretiesiems asmenims žalą ir nuostolius, atsiradusius dėl pažeidimų, susijusių su aukščiau išvardintų Autorių garantijų nesilaikymu;
- 7) Autorius už šiame rašte pateiktos informacijos teisingumą atsako Lietuvos Respublikos įstatymų nustatyta tvarka.

Autorius

Mantas Radzevičius

(vardas, pavardė)

_____ (parašas)

SANTRAUKA

Šiame darbe yra apžvelgiamos technologijos ir naudojami metodai, kuriant automobilių numerių atpažinimo sistemas. Atlikus literatūros analizę, buvo rasta kad atpažinimo procesas susideda iš keletos dalių: valstybinių numerių radimo, valstybinių numerių išskyrimo, segmentacijos, simbolių atpažinimo. Kiekviena iš šių dalių yra itin svarbios, nes visos sistemos efektyvumas priklauso nuo prieš tai buvusios dalies efektyvumo. Siekiant patyrinėti objektų radimo algoritmus buvo sukurta programinė įranga realizuojanti visus procesus būdingus ANPR sistemomis. Darbe yra tiriami objektų radimo algoritmai LBP ir HOG, siekiant rasti valstybinius automobilių numerius. Algoritmai yra lyginami savo veikimo sparta, sugebėjimu rasti objektą, bei klaidingų kandidatų skaičiumi nuotraukoje. Gauti rezultatai parodė, kad HOG metodu numeriai randami 96,36% tikslumu, LBP – 74,54%, tačiau vidutinė vienos nuotraukos (800x600 taškų) apdorojimo sparta siekia 961 ms, kai LBP – 54.25 ms. Taip pat HOG metodas vidutiniškai gražindavo papildomą 1,2 netinkamai rastą kandidatą, kai LBP tik – 0,1.

SUMMARY

This work presents overview of technologies and used methods in ANPR systems. After initial study, it was found that all ANPR systems have the same processing of plate recognition: license plate detection, license plate extraction, character segmentation, character recognition. Every part of the process is crucial, as the ANPR system is as effective as its weakest processing part. In order to research object detection methods and their performance – a license plate recognition system was created which implemented all typical processing parts. Two algorithms were analyzed LBP and HOG to see which method offers better detection rate, performance. After analysis it was found that HOG method yields 96,36% detection rate compared with 74,54% using LBP. HOG descriptors have shown average processing speed of an image at 961 ms/image, while LBP shown only 54 ms/image. Moreover HOG descriptors seems to produce more false positive regions at average 1,2 additional false detection per image, compared to LBP at 0,1 additional false detection per image.

TERMINŲ IR SANTRUMPŲ ŽODYNAS

ALPR (*angl. Automatic License Plate Recognition*) – automatinis numerių atpažinimas.

LPE (*angl. License Plate Extraction*) – automobilių numerių išskyrimas.

LPD (*angl. License Plate Detection*) – automobilio numerių aptikimas.

SVM (*angl. Support Vector Machine*) – atraminiai vektoriai.

OCR (*angl. Optical Character Recognition*) – raidžių atpažinimas.

HOG (*angl. Histogram of Oriented Gradient*) – objektų aptikimo metodas.

LBP (*angl. Local Binary Pattern*) – objektų aptikimo metodas

CCA (*angl. Connected Component Analysis*) – susijusių komponentų analizė.

ROI (*angl. Region Of Interest*) – dominantis plotas nuotraukoje.

CUDA – NVIDIA kompanijos lygiagrečių skaičiavimų platforma.

TesseractOCR – atviro kodo programinė įranga, skirta atpažinti raidėms, tekstui, iš nuotraukos.

OpenCV – atviro kodo programinė įranga, skirta darbui su vaizdų apdirbimo algoritmais.

Otsu Adaptive Thresholding – metodas paversti nuotrauką į dvejetainį formatą.

TURINYS

1	ĮVADAS.....	11
1.1	Tyrimo problematika ir aktualumas	11
1.2	Tyrimo tikslas ir uždaviniai.....	11
1.3	Dokumento struktūra	12
2	ANALITINĖ DALIS.....	12
2.1	ALPR sistemų bendras veikimo principas.....	12
2.2	Valstybinių numerių išskyrimas	14
2.2.1	Valstybinių numerių išskyrimas naudojant briaunų, kraštų informaciją.....	14
2.2.2	Valstybinių numerių išskyrimas naudojant nuotraukos informaciją.....	16
2.2.3	Valstybinių numerių išskyrimas naudojant tekstūros bruožus	16
2.2.4	Valstybinių numerių išskyrimas naudojant spalvos bruožus	18
2.2.5	Valstybinių numerių išskyrimas naudojant simbolių bruožus	19
2.3	Valstybinių numerių segmentacija	19
2.3.1	Valstybinių numerių segmentacija naudojant taškų susijungimus.....	20
2.3.2	Valstybinių numerių segmentacija naudojant projekcijas.....	20
2.4	Simbolių atpažinimas	21
2.4.1	Simbolių atpažinimas naudojant neapdorotus duomenis	21
2.4.2	Simbolių atpažinimas naudojant išskirtus bruožus	21
2.4.3	Komercinių sistemų ir jų veikimo apžvalga.....	21
2.5	Išvados	22
3	PROGRAMINĖS ĮRANGOS PROJEKTAVIMAS.....	22
3.1	Reikalavimai sprendimui	22
3.2	Funkciniai reikalavimai	23
3.3	Nefunkciniai reikalavimai	28
3.4	Kokybės kriterijai	29
3.5	Sprendimo projektavimas	30

3.5.1	Statinis sistemos vaizdas	30
3.5.2	Dinaminis sistemos vaizdas. Atpažinimo procesas	31
3.6	Sprendimo realizacija	32
3.6.1	Automobilio nuotraukų rinkimas	32
3.6.2	Sistemos apmokymas	33
3.6.3	Realizacijos priemonės.....	34
3.6.4	Testavimo strategija	34
3.6.5	Testavimo scenarijai.....	35
3.7	Išvados	36
4	EKSPERIMENTINĖ DALIS	36
4.1	HOG metodo optimalių parametų nustatymo tyrimas	36
4.2	Objektų radimo metodų tikslumo bei greičio tyrimas	36
4.3	Tyrimo rezultatai	37
4.3.1	HOG metodo optimalių parametų nustatymo tyrimas	37
4.3.2	Objekto radimo metodų tikslumo bei greičio tyrimas.....	38
4.4	Išvados	42
5	DARBO REZULTATAI IR IŠVADOS.....	43
6	LITERATŪRA.....	44

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Valstybinių numerių atpažinimo keturios stadijos. Pirmuoju nr. pažymėta 1-oji stadija.....	14
2 pav. LBP skaičiavimo pavyzdys	17
3 pav. HOG Descriptoriaus vizualiacija.....	18
4 pav. Originalus paveikslas.....	15
5 pav. Sujungtas paveikslas.....	15
6 pav. Pritaikytas x ašies gradientas	15
7 pav. Pritaikytas y ašies gradientas.....	15
8 pav. Panaudojimo atvejų diagrama	23
9 pav. Statinis vaizdas. Klasių diagrama.....	30
10 pav. Dinaminis vaizdas. Atpažinimo procesas.....	32
11 pav. Nuotraukų piramidės pavyzdys	33
11 pav. Automobilių nuotraukų pavyzdžiai	37
12 pav. Tikslumas esant skirtingiems kelės ir bloko dydžiams.....	38
13 pav. Vidutinė sparta esant skirtingiems kelės ir bloko dydžiams.....	38
14 pav. Vidutinis klaidingų aptikimų skaičius esant skirtingiems kelės ir bloko dydžiams	38
15 pav. Automobilių numerių iškirpti pavyzdžiai.....	39
16 pav. LBP ir HOG metodų vienos nuotraukos apdorojimo vidutinis greitis.....	40
17 pav. LBP ir HOG metodų numerių aptikimo nuotraukoje tikslumas.....	40
18 pav. HOG ir LBP klaidingų radimų per nuotrauką vidurkis	41

LENTELIŲ SĄRAŠAS

Lentelė 1 Panaudojimo atvejai	23
Lentelė 2 Funkciniai reikalavimai	24
Lentelė 3 Nefunkciniai reikalavimai	28
Lentelė 4 Kokybės vertinimas	29
Lentelė 5 Klasių aprašymas	30
Lentelė 6 Priemonės	34
Lentelė 7 Testavimo scenarijai	35

1 ĮVADAS

Pirmasis numerių atpažinimo prototipas buvo sukurtas 1979 ir išbandyta Wokingham, Jungtinėse karalystėse, A1 kelyje Dartford tunelyje. Taip pat pirmasis sulaikymas vogtos mašinos buvo 1981 metais. Nuo sukūrimo pradžios technologija yra pastoviai tobulinama ir išplito į platesnį taikymą.

Automatinis mašinų numerių atpažinimas (toliau – ALPR) yra svarbus uždavinys kasdieniame gyvenime, tokiose srityse kaip automatinis kelių mokesčių rinkimas, eismo taisyklių paaiskinimas, stovėjimo aikštelių mokesčių surinkimas, bei kelių eismo stebėjimas.

Kuriama sistema susidarys iš dviejų dalių: ALPR bibliotekos, bei pagalbinės PI, kuri bendraus ir valdys, fiksuos rezultatus gautus iš ALPR. Pilnai veikiančiai sistemai taip pat reikėtų įrenginio, kuris sugebėtų nufotografuoti ir perduoti nuotraukas į programą.

1.1 Tyrimo problematika ir aktualumas

Šiuolaikinės intelektualios transporto sistemos yra neatsiejama kasdienybė. Automatinių numerių atpažinimo sistemas galima rasti įdiegtas tiek privačiuose įmonėse, tiek valstybės mastu. Dažniausiai tokias sistemas galima sutinkame norėdami pastatyti automobilį automatizuotose stovėjimo automobilių aikštelėse, ar išvažiuoti iš oro uosto, taip pat šios sistemos įdiegtos greičio matuokliuose, kelių stebėjime naudojamos, policijos pareigūnų automobiliuose ir t.t. Tokios sistemos gali pagerinti teikiamų paslaugų kokybę, sumažinti kaštus, stebėti eismą ir sekti eismą, fiksuoti eismo kelių taisyklių pažeidimus, rasti vogtas mašinas. Šios sistemos veikia dažniausiai vienu principu: randamas mašinų numeris, išskiriamas mašinų numeris, sudalinama simboliškai ir atpažįstama, tad visos sistemos efektyvumas priklauso nuo kiekvieno etapo efektyvumo. Taigi pats pirmas ir svarbiausias etapas yra automobilio numerių radimas.

Šiame darbe trumpai apžvelgiami visi ANPR sistemoms būdingi etapai ir naudojamos technologijos ir analizuojami du metodai skirti objektų radimui tai – HOG ir LBP. Tiriama bus šių algoritmų tikslumas ir sparta.

1.2 Tyrimo tikslas ir uždaviniai

Ištirti ALPR sistemų veikimo principą, bei palyginti automobilių numerių išskyrimo (*angl. License Plate Extraction*) stadijoje naudojamus algoritmus, kurie leistų tiksliau aptikti automobilių numerių buvimą vietą nuotraukoje.

Uždaviniai:

- Išanalizuoti ir susipažinti su ALPR sistemomis, naudojamais metodais

- Iširti pasirinktų algoritmų efektyvumą sukuriant automobilių numerių atpažinimo programinę įrangą
- Įvertinti pasirinktų algoritmų tinkamumą pagal gautus rezultatus

1.3 Dokumento struktūra

Pirmiausia skaitytojas yra supažindamas su automatinių numerių atpažinimo sistemose vykstančiais procesais ir pateikiama naudojamų metodų analizė. Sekančioje dalyje supažindinama su projektuojamu programinės įrangos sprendimu. Eksperimentinėje dalyje yra aprašomas atliktas tyrimas, jo eiga, pasirinkti algoritmai bei jų vertinimo kriterijai. Galiausiai darbas yra apibendrinamas ir pateikiami gauti rezultatai su išvadomis, bei tolimesnių tyrimų rekomendacijos.

2 ANALITINĖ DALIS

2.1 ALPR sistemų bendras veikimo principas

ALPR sistemos pagrindiniai duomenys iš kurių vyksta numerių atpažinimas – nuotraukos arba filmuota medžiaga [1]. Pateikiamos nuotraukos gali būti spalvotos, juoda-balta, infra – raudonųjų tipo gautos iš foto ar vaizdo kameros. Pats atpažinimo procesas susidaro iš tokių dalių kaip:

- Objekto aptikimas (*angl. Object detection*),
- Nuotraukos apdorojimas (*angl. Image processing*),
- Šablonų atpažinimo (*angl. Pattern recognition*),
- Ir kitos;

Kiekvienai ALPR sistemai tenka susidurti su kliūtimis dėl aplinkos veiksnių ar skirtingų mašinos numerių formatų. Sunkumų pavyzdžiai:

1. Mašinių numerių vieta – vieta yra skirtinga priklausomai ir nuo mašinos tipo, bei skirtingose šalyse naudojamų skirtingų standartų.
2. Mašinių numerių kiekis paveikslėlyje – viename paveikslėlyje gali būti daug mašinių numerių, o gali ir nebūti ne vieno.
3. Mašinių numerių dydis – numeriai nuotraukose gali būti skirtingų dydžių dėl atstumo iki kameros bei naudojamo priartinimo. Taip pat reiktų paminėti, kad vien Lietuvoje yra naudojami 4 tipų skirtingi valstybinių numerių formatai: 1-ojo tipo matmenys 520 mm x 110 mm (automobiliams, priekaboms ir puspriekabėms ženklinti), 2-ojo tipo matmenys 300 mm x 150 mm (naudojama priekaboms ir puspriekabėms ženklinti tais atvejais, kai nėra galimybių prie transporto priemonių pritvirtinti 1-ojo formato numerio ženklą, jų nedeformavus), 3-ojo tipo matmenys 230 mm x 150 mm (naudojama motociklams

- ženklinti), 4-ojo tipo matmenys 145 mm x 120 mm (naudojama mopedams ir motociklams (tais atvejais, kai nėra galimybių prie motociklų pritvirtinti 3-ojo formato numerio ženklų, jų nedeformavus) ženklinti).
4. Spalva – valstybinių numerių fono spalva gali skirtis (pvz. Geltona – transporto priemonėms įvežtoms iš užsienio), bei gali skirtis dėl fotografuojančio įrenginio.
 5. Šriftas – skirtumas tarp kitų valstybių mašinų numerio šriftu, bei jo dydžiu.
 6. Standartiniai numerių skirtumas nuo vardinių numerių – standartiniai lengvųjų automobilių valstybiniai numeriai susideda iš trijų raidžių bei trijų skaitmenų (pvz. „AAA 000), tačiau tokios taisyklės negalioja vardiniams numeriams, kurie gali būti „0“, „007“, „VARDENIS1“.
 7. Matomumas – numeriai gali būti blogai matomi, padengti purvu ar sniegu.
 8. Polinkio – numeriai nuotraukose gali būti užfiksuoti nepalankiu kampu.
 9. Apšvietimo – nuotraukose gali skirtis apšvietimas, pagrinde dėl aplinkos apšvietimo bei mašinų priekinių lempų.
 10. Fono - pavyzdžiui Lietuvoje galima pastebėti, kad sunkvežimių vairuotojai, prie priekinio stiklo prisideda vardinius netikrus numerius.

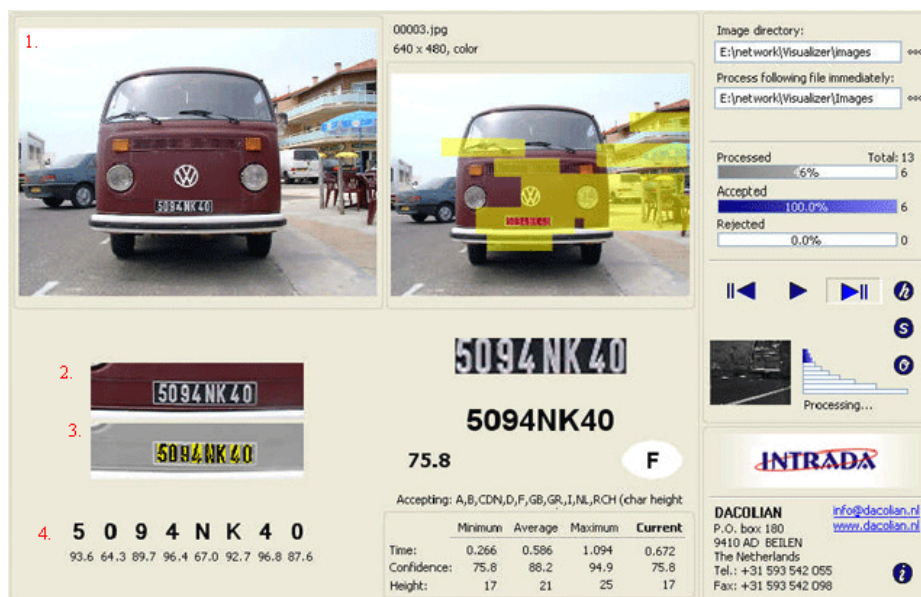
ALPR sistemų numerių atpažinimas yra suskirstytas į keturias stadijas.

Pirmoji stadija – duomenų gavimas kameros pagalba (*angl. Image Acquisition*). Šioje dalyje reikia turėti omenyje tokius parametrus kaip – kameros tipas, nuotraukų raiška, užrakto greitis (*angl. shutter speed*), kameros fizinės vietos, aplinkos apšvietimas, infra-raudonųjų spindulių filtras.

Antroji stadija – valstybinių numerių išskyrimas (*angl. License Plate Extraction*). Tai valstybinių numerių kaip objekto aptikimas nuotraukoje naudojant tam tikrus parametrus, pavyzdžiui valstybinių numerių spalvos specifiką, ieškant kontūrų, ieškant simbolių.

Trečioji stadija – valstybinių numerių segmentacija (*angl. License Plate Segmentation*) bei simbolių išskyrimas, pavyzdžiui naudojant spalvos savybes, ar tai pozicija pagal valstybinių numerių šabloną.

Ketvirtoji ir paskutinė stadija – tai iš išskirtos iš trečios stadijos simbolių atpažinimas (*angl. Character Recognition*), naudojant klasifikatorius, tokius kaip neuroniniai tinklai ar miglotieji (*angl. fuzzy*) klasifikatoriai.



1 pav. Valstybinių numerių atpažinimo keturios stadijos. Pirmuoju nr. pažymėta 1-oji stadija.

Bendras sistemos veikimas priklauso nuo to kaip gerai ir greitai atliekama kiekviena atpažinimo stadija. Toliau dokumente bus apžvelgiami egzistuojantys metodai, būdai kiekvienai atskirai stadijai, išskyrus nuotraukos gavimą.

2.2 Valstybinių numerių išskyrimas

Šioje stadijoje kaip ir minėta anksčiau iš paveikslėlio yra išskiriami valstybiniai mašinių numeriai, šios stadijos rezultatai įtakoja visą atpažinimo rezultatą. Stadijos įvestis – mašinos nuotrauka, o išvestis dalis nuotraukos, kurioje galimai yra mašinių numeriai. Valstybiniai numeriai pateiktoje nuotraukoje gali egzistuoti bet kurioje vietoje (dėl kameros vietos ir t.t.), todėl vietoj to kad nuotrauka būtų analizuojama taškas pagal tašką yra bandoma įvesti tam tikrus valstybinių numerių bruožus, ir analizuojami tik tie taškai kurie juos turi. Bruožai gali būti valstybinių numerių spalva, formatas (anksčiau aptarti 4 dydžių formatai naudojami Lietuvoje), forma (stačiakampis), spalvų skirtumas tarp fono bei raidžių. Taip pat galima naudoti ir simbolių egzistavimą kaip bruožą, kuriuo būtų galima atpažinti valstybinių numerių vietą. Šioje stadijoje gali būti sujungiami keli bruožai atpažinti valstybinių numerių vietą. Toliau apžvelgiami keli naudojami metodai.

2.2.1 Valstybinių numerių išskyrimas naudojant briaunų, kraštų informaciją

Valstybiniai numeriai dažniausiai yra stačiakampio formos tam tikru santykiu, taigi numeriai gali būti ieškomi tikrinant visus galimus stačiakampius nuotraukoje. Briaunų aptikimo metodas yra dažniausiai taikomas ieškant stačiakampių [3]-[5].

Šaltiniuose [2],[4] yra naudojamas Sobelio filtras (angl. Sobel filter/operator) aptikti briaunoms. Filtras remiasi spalvos kaita tarp valstybinių numerių ir mašinos kėbulo, valstybinio

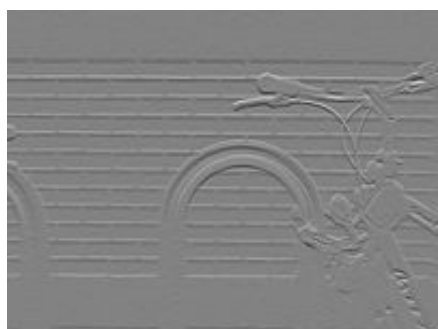
numerio ribos yra briaunomis. Briaunos yra dvi horizontalios linijos, kurios aptiktos x – ašies analizės metu, bei dvi vertikalios linijos, kurios aptiktos y-ašies analizės metu.



2 pav. Originalus paveikslas



3 pav. Sujungtas paveikslas



4 pav. Pritaikytas x ašies gradientas



5 pav. Pritaikytas y ašies gradientas

Galimi valstybinių numerių plotai yra aptinkami naudojant tik y ašies briaunas [2], [4]. Numerių aptikimas naudojant tik vertikalias briaunas yra greitas ir patikimas būdas, kadangi naudojant tik horizontalias kraštines klaidos tikimybė padidėja dėl mašinos priekyje esančio bamperio. Vertikalių briaunų aptikimo būdu gauti neblogi rezultatai – 96.2 proc. teisingas atpažinimas iš nuotraukos esant įvairioms apšvietimo sąlygomis. Taip pat buvo pasiekti ir geresni rezultatai [4], naudojant ta patį būdą tik papildomai pašalinus fone esančias nereikalingas briaunas, tokio metodo rezultatai – išanalizuotos 1165 nuotraukos, atpažinimo sėkmė netoli 100 proc. Vienos nuotraukos (384 x 288 px) apdorojimo laikas 47.9 ms.

Šaltinyje [9] buvo pristatytas naujas ir greitas vertikalių briaunų aptikimo algoritmas (*angl. vertical edge detection algorithm – VEDA*). Naujo metodo rezultatai parodė kad naujasis VEDA algoritmas yra greitesnis apie 7-9 kartus negu anksčiau minėtas Sobelio filtras.

Ribomis paremtas išskyrimas (*angl. Boundary Based Extraction*) kuris naudoja Hough transformacija aprašytas šaltinyje [7]. Hough transformacijos pranašumas – tiesių linijų aptikimas iki 30 laipsnių numerių palinkimo. Sujungus paminėtą metodą su kontūrų algoritmu buvo pasiektas sėkmingas numerių išskyrimas apie 98.8 proc.

Taigi briaunomis paremti metodai yra pakankamai paprasti ir greiti, tačiau rezultatams įtakos turi atpažintos briaunos tęstinumas [11].

2.2.2 Valstybinių numerių išskyrimas naudojant nuotraukos informaciją

Sujungtų komponentų analizė (*angl. Connected Component Analysis*) yra viena iš svarbių technikių binarinių nuotraukų apdorojime [1]. Veikimo principas – skanuojamas binarinė nuotrauka ir sužymimi taškai ir suskirstomi į komponentus pagal taškų susijungimą su kitais. Tokių vietų/komponentų matavimai tokie kaip plotas, kraštinių santykis yra plačiai naudojami valstybinių numerių atpažinime. Šaltiniuose [12], [13] panaudojus šį metodą mažos rezoliucijos vaizdinei medžiagai apdoroti buvo pasiektas 96,62 proc. atpažinimas, analizuojant daugiau nei keturias valandas filmuotos medžiagos.

Dar vienas iš šios kategorijos algoritmų – kontūrų aptikimo algoritmas (*angl. Countour Detection Algorithm*). Algoritmo aptikti objektai, kurie turi tokias pat geometrinius bruožus kaip ir valstybiniai numeriai yra laikomi galimais kandidatais. Kontūrų aptikimo algoritmas sėkmė priklauso nuo nuotraukos kokybės, kadangi pateikus blogos kokybės nuotrauką gaunami iškraipyti kontūrai, kuriuos sunku palyginti su valstybinių numerių bruožais.

2.2.3 Valstybinių numerių išskyrimas naudojant tekstūros bruožus

Metodai, kurie remiasi tekstūros bruožais priklauso nuo tam tikrų simbolių buvimo valstybiniuose numeriuose, bei spalvų kontrasto tarp simbolių ir numerių fono. Dažniausiai analizuojamos juoda-balta tipo nuotraukos.

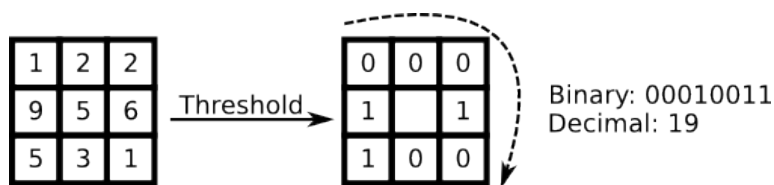
Vienas iš tokių metodų yra nuotraukos transformacija – pagrinde Gabor filtras naudojamas tekstūros analizėje. Šios technikos pagrindiniai privalumai, kad galima analizuoti bet kokio dydžio bei orientacijos nuotraukos. Rezultatai gauti yra apie 98 proc., taikant šį filtrą nuotraukos gautoms pastovaus ir specifinio kampo [17]. Silpnoji pusė – šis metodas yra lėtas.

Šaltinyje [16] buvo pasiūlytas numerių atpažinimo metodas paremtas slenkančio langų ir histograma (*angl. license plate recognition based sliding concentric windows and histogram*). Šio metodo esmė – mašinų numerius nuotraukose galima laikyti kaip anomalijas bendroje nuotraukos tekstūroje ir aptiktos tokios anomalijos gali būti kaip galimi valstybiniai numeriai.

Taip pat aptariamas būdas ir naudojant diskretinę Furjė transformaciją [15], kuri atvaizduoja tarpus tarp mašinų simbolių kaip harmonikas ir jas galima aptikti grafike. Šis metodas naudojamas analizuojant nuotrauką eilutėmis norint aptikti horizontalią numerių poziciją, bei stulpeliais – norint aptikti vertikalią poziciją.

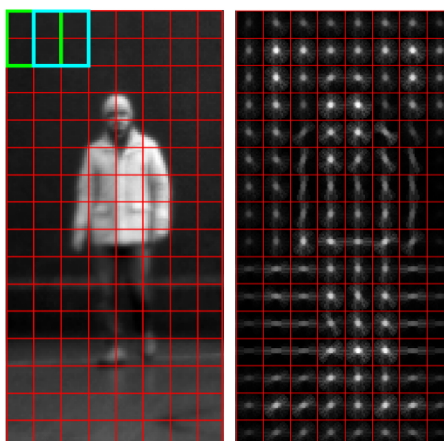
Valstybinių numerių paieška nuotraukoje atliekama naudojant kaskadinius klasifikatorius. Kaskadinis klasifikatorius, tai stiprus klasifikatorius, kuris yra sujungtas iš daugelį silpnų klasifikatorių (stadijų) taip sudarydamas klasifikatorių grandinę. Klasifikatorius yra taikomas dominančiam plotui (*angl. Region Of Interest*), ir tikrinamas atsakymas iš klasifikatoriaus stadijų ar objektas yra rastas. Jeigu objektas yra rastas dominančiame plote, tikrinama sekanti stadija kol galiausiai visos stadijos yra patikrinamos ir gražinamas atsakymas su rastais objektais.

Vienas iš objekto bruožų aprašymų metodų yra *Local Binary Pattern* [44]. Pirmiausia nuotrauka yra padalijama į blokus, kiekvienam blokui yra suskaičiuojama histograma, pagal pilkos spalvos taškų intensyvumą. Galiausiai histogramos yra sujungiamos ir gaunamas tekstūros aprašymas. Žemiau esančiame paveiksle pateikiamas LBP skaičiavimo pavyzdys. Imamas blokas 3x3 taškų dydžio, kur kiekvieno taško reikšmė yra išreikšta pilkos spalvos intensyvumu nuo 0 iki 255. Sekantis žingsnis yra imamas vidurinio taško intensyvumas (šiuo atveju 175) ir esantys aplinkui kaimynai yra lyginami su šia reikšme. Jei kaimyno taško intensyvumas yra didesnis nei vidurinio, jo reikšmė patampa 1, jei ne patampa 0. Taip gaunamas dvejetainis formatas šiuo konkrečiu atveju yra 00010011. Dvejetainis šablonas vadinamas tolyginiu, jei gautas dvejetainis formatas turi daugiausia du pasikeitimus iš 0 į 1 arba iš 1 į 0, pvz. 00010000 – du pasikeitimai, 01010100 – 6 pasikeitimai. LBP histogramos skaičiavimui, kiekvienas tolygus dvejetainis šablonas yra įtraukiamas į atskirą histogramos elementą, o netolygūs sutraukiami į vieną elementą. Galiausiai kiekvieno bloko histogramos sujungiamos į vieną histogramą.



6 pav. LBP skaičiavimo pavyzdys

Kitas būdas bruožų aprašymo gavimo būdas yra naudojantis HOG metodu. HOG metodas pirmiausia buvo naudojamas pėsčiųjų aptikimui [41], tačiau gali būti naudojamas ir kitų objektų radimui. HOG bruožų vektorius yra gaunamas slenkant fiksuoto dydžio paieškos langą per nuotrauką. Paieškos langas yra padalijamas į celes (pavyzdžiui 2x2 taškų), kurios yra sugrupuojamos į blokus (2x2 celės). Celėse yra apskaičiuojami taškų gradientai, kurie po to yra suskirstomi į 9 elementų histogramą. Iš histogramų gauti bruožai yra apjungiami į vieną vektorių, prieš perduodant SVM klasifikatoriui [42]. Dažniausiai naudojamas su HOG metodu yra tiesinis atraminio vektorių klasifikatorius.



7 pav. HOG Descriptors vizualiacija

Metodai, kurie analizuoja ir bando nustatyti mašinų numerių plotą pagal tekstūros bruožus gali lėti, esant prastoms sąlygoms, tokioms kaip sudėtingas nuotraukos fonas turintis daug kraštų. Šių metodų privalumas yra sugebėjimas aptikti valstybinius numerius net jei valstybiniai numeriai yra deformuoti, skirtingų dydžių ar formų.

2.2.4 Valstybinių numerių išskyrimas naudojant spalvos bruožus

Kai kuriuose pasaulio šalyse valstybiniai numeriai turi tam tikras spalvas, taigi buvo sukurti ir metodai, kurie numerius atpažįsta pagal numerių foną nuotraukoje.

Idėja pakankamai paprasta – spalvų kombinacija tarp valstybinių numerių fono ir jų simbolių spalvos yra unikali ir beveik visada pasitaiko tik numerių plote [18]. Vienas iš siūlymų – klasifikuoti visus taškus naudojant HLS (*Hue, Lightness, Saturation*) modelį į 13 kategorijų.

Taip pat yra naudojami ir neuro tinklai suklasifikuoti spalvas kiekvieno taško, po nuotraukos konvertavimo iš RGB į HLS [19]. Neuroninių tinklo išvestis – specifinės spalvos būdingos numeriams (pavyzdžiui žalia, raudona ir balta – naudojama Korėjoje). Specifinių spalvų projekcijos yra daromos tiek x tiek y ašies kryptimi ir gautas didžiausias specifinių spalvų tankumas ir yra valstybiniai numeriai.

Genetinis algoritmas (GA) taip pat naudojamas kaip paieškos metodas numerių spalvos atpažinimui [21][22]. Apmokymo metu iš mokomųjų nuotraukų su skirtingu apšvietimu, GA apmokomas nustatyti valstybinių numerių spalvos apatinę bei viršutinę ribas. Ryšys tarp vidutinio šviesumo ir šių ribų yra aprašoma specialia funkcija. Pirmiausia bet kokiai nuotraukai pirmiausia yra nustatomas vidutinis šviesumas, ir tik tada naudojantis anksčiau minėta f-ja yra gaunamos apatinės bei viršutinės ribos. Bet koks taškas su reikšme tarp apatinės ir viršutinės ribos yra pažymimas. Jei susijungimas tarp pažymėtų taškų yra stačiakampio formos, su tam tikru kraštiniu

santykiu, kuris atitinka valstybinių numerių santyki – tada šis stačiakampis yra laikomas valstybiniu numeriu.

Gaussian weighted histogram intersection (GWHI) [23] gali būti naudojamas aptikti valstybinius numerius pagal spalvą. Įveikti apšvietimo problemą, kuri paveikia spalvas, tradicinis histogramos susikirtimas (*angl. Histogram Intersection*) yra modifikuojamas Gauso funkcijos. Svoris, gautas iš Gauso f-jos, kiek analizuojamos spalvos yra panašios į valstybinių numerių spalvas.

Spalvų išdėstymas tarp valstybinių numerių bei jų simbolių spalvų yra panaudojamas gauti numerių kontūrams. Nuotrauka yra skanuojama horizontaliai ir jei koks taškas yra valstybinių numerių spalvų intervale, tada tikrinami jo kaimynai. Jei 2 ar daugiau kaimynai yra iš to paties intervalo – taškas pažymimas kaip galimu numerių tašku. Taip visi taškai analizuojami bandant nustatyti galima numerių plotą.

Pagrindinis pranašumas metodų, kurie valstybinių numerių plotą bando išgauti remdamiesi spalvos bruožu, galimybė nustatyti numerius kurie yra pasvirę kampu, bei deformuoti. Žinoma yra ir silpnųjų vietų – apibrėžti taško spalvą naudojant RGB yra sudėtinga, ypač sudėtinga esant skirtingoms apšvietimo sąlygoms. HLS, kuris naudojamas kaip alternatyvus spalvos modelis yra labai jautrus nuotraukoje esantiems „triukšmams“. Metodai, kurie naudoja spalvos projekcija dažnai klaidingai aptinka valstybinius numerius, jei nuotraukoje yra labai panašių spalvinių plotų – valstybinių numerių spalvos.

2.2.5 Valstybinių numerių išskyrimas naudojant simbolių bruožus

Vienas iš galimų būdų rasti valstybinius numerius – tai ieškoti pagal simbolius. Paminėti būdai analizuoja nuotrauką ieškodami simbolių, jei simboliai randami plotas yra išskiriamas kaip valstybinių numerių plotas.

Vienas iš būdų buvo sujungti paminėtas su konkrečiais rezultatais – numerių atpažinimas, paremtas stačiakampio, tekstūrų bei spalvos bruožų analize norint išskirti valstybinius numerius. Pasiiekti rezultatai 97.3 proc. atpažinimo teisingumas iš 1176 nuotraukų įvairiomis sąlygomis. [26].

2.3 Valstybinių numerių segmentacija

Sekantis etapas sėkmingai numerių atpažinimui yra iš ankstesnės stadijos gauto rezultato su segmentuoti nuotraukoje esančius simbolius ir išskirti numerių atpažinimui. Taip pat reikėtų nepamiršti, kad duomenys gauti iš ankstesnės stadijos gali turėti dar šiek tiek problemų, tokių kaip palinkimas kampu, nevienodas apšvietimas. Segmentacijos algoritmai turėtų išspręsti šias problemas prieš pradėdant analizuoti.

Literatūroje [19] ir [32] buvo panaudota bi-tiesinė transformacija susieti pakreiptus numerius su nepakraiptu stačiakampiu. Šaltinyje [33] naudojamas mažiausio kvadrato metodas yra naudojamas ištiesinti tiek horizontalų tiek vertikalų numerių pakrypimą, bei [34] šia problemą spręsti panaudojamas Karhunen-Loeve (K-L) transformacija.

Pasirinkus netinkamą parametą vertimui dvejetainiu formatu gautiems duomenis gaunami susilieję simboliai. Tokie simboliai yra labai sunkiai atpažįstami [33]. Numeriai, kurie yra su rėmais, taip pat sunkiai atpažįstami, kadangi simboliai gali susijungti su rėmų po vertimo į dvejetainį formatą [35]. Pagerinant nuotraukos kokybę prieš vertimą dvejetainiu formatu, padeda nustatyti tinkamą parametą vertimui. Dažniausiai naudojamos technikos pagerinti nuotraukos kokybei yra triukšmo šalinimas (angl. noise removal), histogramos išlyginimas, bei kontrasto padidinimas. Straipsnyje [35] pasiūlyta sistema, kuri atliktų visos nuotraukos gradientinę analizę aptikti numerius ir tada aptiktus numerius pagerinti kokybę nuotraukos naudojant GLT (angl. *Grey Level Transformation*).

2.3.1 Valstybinių numerių segmentacija naudojant taškų susijungimus

Segmentacija yra įgyvendinta straipsniuose [6], [14], [20] pažymint susijungusius taškus binarinėje valstybinių numerių nuotraukoje. Tada analizuojami pažymėtieji taškai ir vietos kurios yra tokio pat dydžio ir kraštinių santykio kaip ir simboliai yra laikomos valstybinių simboliais. Šis metodas nepasiteisina jei nuotraukoje yra simboliai yra susijungę ar deformuoti.

2.3.2 Valstybinių numerių segmentacija naudojant projekcijas

Dauguma simbolių ir mašinių numerių fono spalvos yra skirtingos – priešingos reikšmės binariniame paveiksliuke. Taigi buvo pasiūlytas metodas [8], [10]. Projekcijos būdų iš binarinės nuotraukos vertikalčiai nustatyti simbolio pradžią ir pabaigą, toliau analogiškai padaryti ir su horizontaliai kad išskirti kiekvieną simbolį atskirai. [8] Šaltinyje atlikus bandymus (papildomai naudojamas buvo triukšmo šalinimas) pavyko išskirti simbolius iš 30,000 nuotraukų su tikslumu 99,2 proc. bei 10-20ms nuotraukai apdorojimo greičiu. Apžvelgtoje literatūroje šis būdas yra dažniausiai pasitaikantis ir paprasčiausias.

Privalumas metodo – galima išskirti simbolius nepriklausomai nuo jų pozicijos. Valstybiniai numeriai gali būti šiek tiek ir pasukti, tačiau, šio metodo sėkmė priklauso nuo paveiksliuko kokybės, bet koks triukšmas paveikia rezultatą. Taip pat reikalinga žinoti apie valstybinių numerių simbolius.

2.4 Simbolių atpažinimas

Paskutinė stadija numeriu atpažinime – tai simbolių atpažinimas. Šiame etape duomenys yra iš ankstesnio etapo – simbolių segmentavimo, rezultatai – valstybinis numeris. ALPR sistemose simbolių atpažinimas taip pat turi savų bėdų. Viena iš jų tai dėl kameros priartinimo, segmentuoti simboliai gali neturi tokio pat dydžio ir tokio pat pločio [14]. Simbolių dydžių suvienodinimas prieš atpažinimą padeda išvengti šios problemos. Simbolių šriftas taip pat skirtis gali, kadangi nevisos šalys naudoja tokį patį šriftą. Išskirti simboliai taip pat gali turėti triukšmo arba būti netinkami [14], bei gali būti pakrypę.

2.4.1 Simbolių atpažinimas naudojant neapdorotus duomenis

Šablono taikymas yra paprastas metodas taikomas simbolių atpažinime [2]. Panašumai tarp simbolių ir šablono yra lyginami. Šablonas, kuris labiausiai artimas simboliui yra laikomas teisingu. Daugiausia šablono taikymo metodų naudoja nuotraukas paverstas dvejetainiu formatu.

Minėtas metodas yra naudingas atpažinimui, jei tereikia atpažinti vieno tipo šriftą, nepasuktus, nepakreiptus, fiksuoto dydžio simbolius. Jei simbolis skiriasi nuo šablono dėl bet kokių minėtų sąlygų ar triukšmo, padidėja klaidos tikimybė [33]. Šią problemą [27] sprendžiama saugant kelis šablono variantus. Variantai būna saugomi pakreipti skirtingu kampu.

2.4.2 Simbolių atpažinimas naudojant išskirtus bruožus

Šis metodas remiasi, kad sėkmingai atpažinti simbolį nebūtinai reikia analizuoti jį visą, svarbiausia yra išskirti simbolio išskirtinumo požymių, kurie leistų lengvai atskirti nuo kitų simbolių. Metodo veikimas yra optimalėsnis nei anksčiau minėto, kadangi analizuojami nevisi taškai. Taip pat šis metodas nėra toks jautrus kaip ankstesnysis. Taigi pagrindinis veikimo principas – išskiriamas simbolio unikalumo bruožas ir palyginamas su išsaugotais bruožais. Lyginimui su išskirtais unikalumo bruožais gali būti naudojami įvairūs klasifikatoriai.

2.4.3 Komercinių sistemų ir jų veikimo apžvalga

Literatūroje dažniausiai eksperimentai yra dažniausiai atliekami griežtai apibrėžtuose aplinkose, pvz. Mašinos pozicija ir apšvietimas. Apšvietimo problemą dažniausiai sprendžiama techninėmis priemonėmis - naudojama infra-raudonųjų nuotraukas daryti gebantis įrenginys. Šis sprendimo būdas kilo iš valstybinių numerių paviršiaus tipo (atspindi šviesa su minimaliu išsklaidymu), taip pat yra ir rezultatai naudojant būtent IR tipo kameras [24], [25]. Atpažinimo sėkmės procentas buvo pasiektas net 99.3 proc. atlikus 2483 nuotraukų analizę Irano valstybinių numerių. IR kameros taip pat yra naudojamos ir komercinėse sistemose. ANLP sistema [28] iš Motorola ir PIPS Technology nuolatos skenuoja pravažiuojančių mašinų numerius, kai ieškoma mašina yra užfiksuojama iškart yra pranešama pareigūnui užfiksuojamas laikas bei GPS

koordinates. IBM Haifa tyrimų laboratorijos [29] sukūrė LPR sistemą Stokholmo miesto kelių-apmokestinimo projektui. Nedap [30] AVI ir VAC tvirtina kad tinkamai įdiegta įranga paprastai garantuoja 98 proc. atpažinimo sėkmę. Geovision [31] ALPR naudoja pažangią neuroninių tinklų technologiją užfiksuoja mašinų numerius. Tvirtinama kad sistema gali pasiekti iki 99 proc. atpažinimo tikslumo, bei greitį mažesnę nei 0,2s. Įdomus straipsnis [27], kuriame buvo analizuojama ALPR sistemų problema iš sensorių požiūriu. Straipsnio autorius teigia, kad dabartinės CCD vaizdo kamerų galimybės nėra pakankamos ALPR sistemoms. Taigi buvo panaudoti kita įranga – dvi kameros ir prizmė. Sistema įvykį užfiksuoja dvejopai ir esant skirtingam apšvietimui. Bandymai parodė, kad tokios sistemos atpažinimo sėkmė yra virš 99 proc. tradiciniams numeriams bei virš 96 proc. pakreiptų numerių kampu nuo – 40 iki 40 laipsnių.

2.5 Išvados

1. Valstybiniais numeriais atpažinti metodai buvo pasirinkti iš tekstūrų bruožų išskyrimo būdų, kadangi šie metodai yra mažai jautrūs triukšmui, spalvai, deformacijai ir apšvietimui.
2. Valstybinių numerių aptikimui buvo pasirinktas LBP (*angl. Local Binary Pattern*) metodas, tai efektyvus būdas aptikti objektus, kadangi šis būdas išskiria netik micro bet ir macro tekstūros bruožus. Taip pat šis metodas pasižymi veikimo sparta, dėl jo paprastumo. LBP yra tinkamas realaus laiko sistemoms.
3. Sekantis būdas valstybiniais numeriais aptikti buvo pasirinktas HOG (*angl. Histogram of Oriented Gradients*) naudoti kartu su tiesiniu atraminiu vektoriu. HOG metodas yra tikslesnis, nei LBP, tačiau literatūroje retai naudojamas automobilių numerių atpažinimui.
4. Simbolių išskyrimui iš kandidatų buvo pasirinktas būdas – kontūrų paieškos, kuris yra jau įgyvendintas OpenCV bibliotekoje [43]. Simbolių atpažinimui pasirinkta atpažinti naudojantis TesseractOCR varikliu.

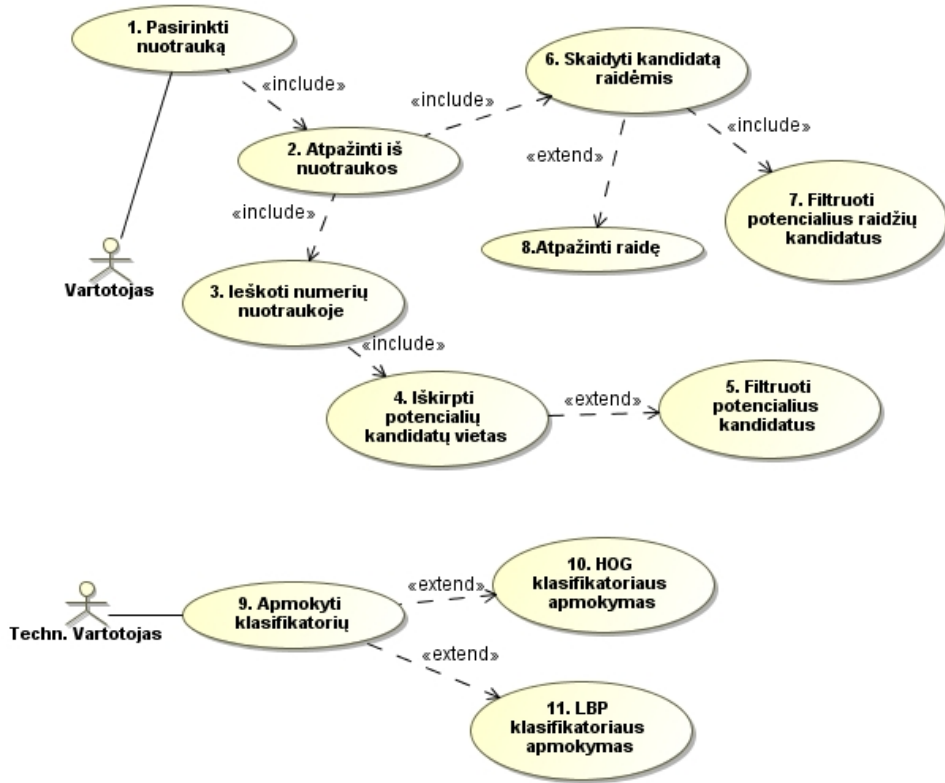
3 PROGRAMINĖS ĮRANGOS PROJEKTAVIMAS

3.1 Reikalavimai sprendimui

Tikslas sukurti automobilių mašinos numerių atpažinimo sistemą, kurią būtų galima pritaikyti įvairiose srityse. Sistema turėtų sugebėti kuo efektyviau nustatyti objektą – mašinų valstybinių numerių buvimo vietą duotoje nuotraukoje – kas lems visos sekančių procesų sėkmę.

3.2 Funkciniai reikalavimai

Automatinių numerių atpažinimo sistema susideda iš keleto dalių: vartotojo sąsajos, nuotraukų analizės, bei klasifikatorių apmokymų. Sekančiame paveiksle pavaizduoti sistemos panaudojimo atvejai.



8 pav. Panaudojimo atvejų diagrama

Panaudojimo atvejų trumpas aprašymas pateiktas žemiau esančioje lentelėje.

Lentelė 1 Panaudojimo atvejai

Panaudojimo atvejis	Paiškinimas
1. Pasirinkti nuotrauką	Vartotojo sąsajoje pasirenkama nuotrauka, kuri bus analizuojama
2. Atpažinti iš nuotraukos	Atpažinimo proceso pradžia, apdorojama nuotrauka
3. Ieškoti numerių nuotraukoje	Pagal pasirinktą algoritmą yra atliekama paieška automobilio numerių nuotraukoje
4. Iškirpti potencialių kandidatų vietas	Iš rastų kandidatų iškerpami kandidatai tolimesnei analizei
5. Filtruoti potencialius kandidatus	Filtruojami kandidatai pagal tam tikrus praktinius apribojimus (kandidato užimamo ploto, minimalaus pločio ir aukščio duomenis, santykis tarp pločio ir aukščio)
6. Skaidyti kandidatą raidėmis	Kandidatai, kurie nebuvo atmesti filtro, yra skaidomi raidėmis

7. Filtruoti potencialius raidžių kandidatus	Filtruojami raidžių kandidatai pagal praktinius apribojimus (užimamo ploto, santykis tarp pločio ir aukščio)
8. Atpažinti raidę	Raidės apdorojamos ir perduodamos OCR atpažinimo varikliui atpažinti ir sugeneruojamas galutinis rezultatas
9. Apmokyti klasifikatorių	Žingsnis, kuriame techninis vartotojas surinkęs pavyzdžius apmoko atpažinimo modelius algoritams.
10. HOG klasifikatoriaus apmokymas	Parenkami parametrai, kuriais bus apmokomas HOG algoritmas, gaunamas modelis.
11. LBP klasifikatoriaus apmokymas	Apmokomas LBP, gaunamas modelis.

Pagrindiniai sistemos aktoriai yra techninis vartotojas ir kasdienis vartotojas. Techninis vartotojas atlieka derinimo f-ja, apmoko klasifikatorius, o vartotojas naudojami programine įranga. Toliau pateikiami funkciniai reikalavimai.

Lentelė 2 Funkciniai reikalavimai

Reikalavimo nr.	1	PA nr.	1
Aprašymas	Galimybė pasirinkti nuotrauką		
Pagrindimas			
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Užkraunama nuotrauka, kuri bus naudojama atpažinimo f-jai		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	2	PA nr.	2
Aprašymas	Apdorojama ir atpažįstamas (jeigu buvo įmanoma) automobilio numeris		
Pagrindimas			
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Išvedamas automobilio numeris grafinėje sąsajoje		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	3	PA nr.	3
Aprašymas	Atliekama numerio paieška nuotraukoje		
Pagrindimas			
Šaltinis	Užsakovas		

Atitikimo kriterijus	
Papildoma medžiaga	
Istorija	Užregistruota 2013-07-01

Reikalavimo nr.	4	PA nr.	4
Aprašymas	Iškirpti potencialius kandidatus		
Pagrindimas			
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Kandidatų plotai yra iškerpami iš paveiksluko ir galima atvaizduoti		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	5	PA nr.	5
Aprašymas	Potencialių kandidatų filtravimas		
Pagrindimas	Sumažinti analizės kaštus ir atmesti netinkamus kandidatus tolimesnei analizei		
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Netinkami kandidatai nebėra tikrinami toliau		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	6	PA nr.	6
Aprašymas	Išskaidyti kandidatą raidėmis		
Pagrindimas	Tolimesnei atpažinimo numerių atpažinimo analizei reikalingi pavieniai simboliai, kurie bus analizuojami ir bandomi atpažinti po vieną OCR varikliui.		
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Sėkmingai suskaidyti kandidato regionai pagal raides		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	7	PA nr.	7
Aprašymas	Filtruoti raidžių kandidatus		
Pagrindimas	Atmesti galimai netinkamus raidžių kandidatus, kad neįtakotų galutiniam rezultatui		
Šaltinis	Užsakovas		

Atitikimo kriterijus	Atmesti plotai, kurie netinkami.
Papildoma medžiaga	
Istorija	Užregistruota 2013-07-01

Reikalavimo nr.	8	PA nr.	8
Aprašymas	Atpažinti raidę iš ploto		
Pagrindimas			
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Raidė sėkmingai atpažinta ir gražinamas rezultatas		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	9	PA nr.	9
Aprašymas	Apmokyti klasifikatorių		
Pagrindimas	Galimybė savarankiškai apmokyti klasifikatorius, pagal kitus turimus pavyzdžius, kad būtų galima taikyti kitose srityse.		
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Galima apmokyti klasifikatorius		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	10	PA nr.	10
Aprašymas	Apmokyti HOG klasifikatorių		
Pagrindimas			
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Galimybė parinkti ir apmokyti HOG klasifikatorių pagal pasirinktus parametrus		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	11	PA nr.	11
Aprašymas	Apmokyti LBP klasifikatorių		
Pagrindimas			
Šaltinis			
Atitikimo kriterijus	Galimybė pasirinkti ir apmokyti LBP klasifikatorių		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

3.3 Nefunkciniai reikalavimai

Nefunkciniai reikalavimai apibūdina sistemos tikslumo ir spartos reikalavimus.

Lentelė 3 Nefunkciniai reikalavimai

Reikalavimo nr.	12	PA nr.	2
Aprašymas	Bendras vieno numerio atpažinimas neturi viršyti 2s		
Pagrindimas			
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Sistema apdoroja nuotrauką ir pateikia rezultatą greičiau nei 2 sekundės.		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	13	PA nr.	2
Aprašymas	Kiek įmanoma kuo aukštesnis sistemos patikimumas		
Pagrindimas	Aukštas sistemos patikimumas reikalingas užtikrinti efektyvų sistemos darbą.		
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Patikimumas aukštesnis nei 75%		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

Reikalavimo nr.	14	PA nr.	1-11
Aprašymas	Sistema, turi būti lengvai plečiama ir palaikoma		
Pagrindimas	Bėgant laikui sistemos funkcionalumas bei poreikiai gali keistis dėl naujų algoritmų		
Šaltinis	Užsakovas		
Atitikimo kriterijus	Mažas modulių bei komponentų susietumas		
Papildoma medžiaga			
Istorija	Užregistruota 2013-07-01		

3.4 Kokybės kriterijai

Įvertinti sistemos kokybę buvo sudaryti kokybės vertinimo kriterijai kiekvienai numerių atpažinimo stadijai bei veikimo spartai.

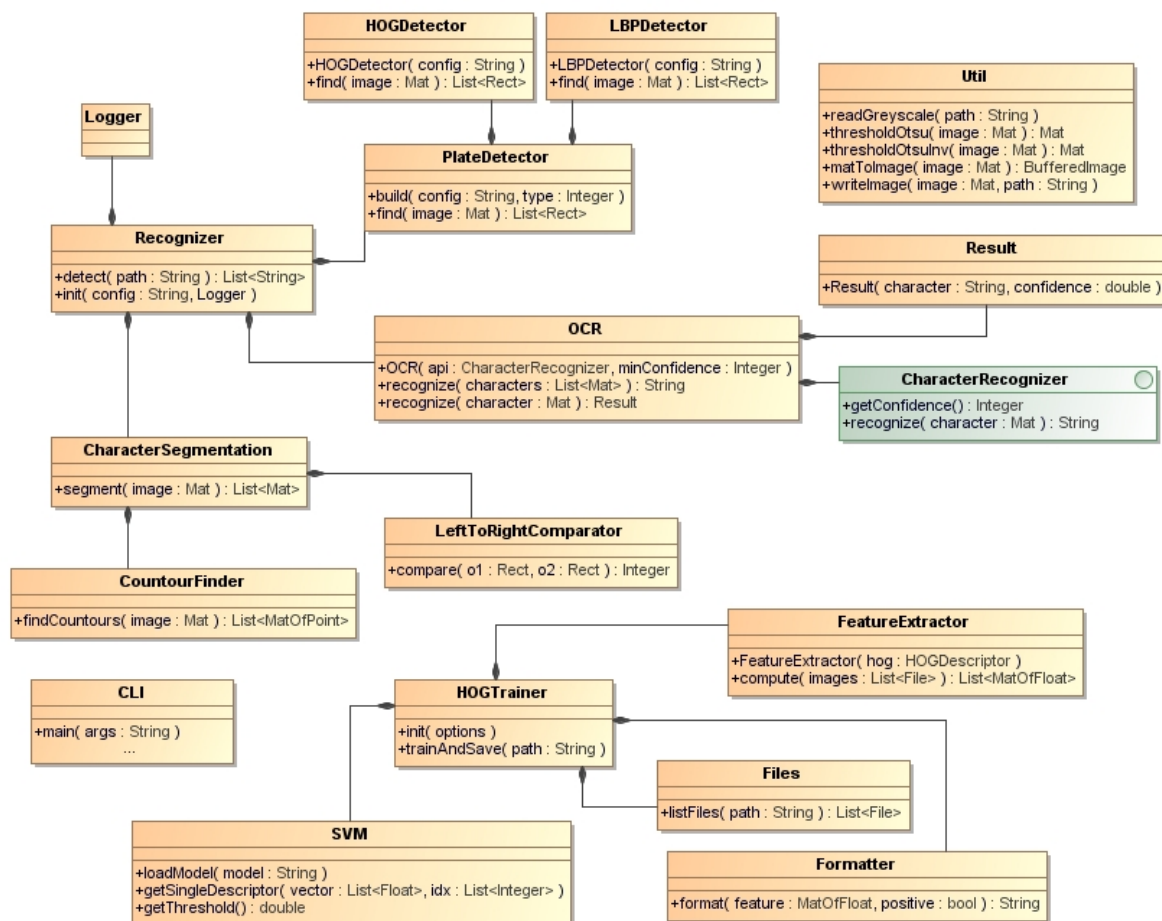
Lentelė 4 Kokybės vertinimas

Kriterijus	Vertinimas
Automobilio numerių aptikimas nuotraukoje tikslumas	Vertinama, ar nuotraukoje yra aptinkamas automobilio numeriai
Automobilio numerių segmentacija į simbolius tikslumas	Vertinama, ar visi simboliai yra išskaidomi į atskirus segmentus
Simbolių atpažinimo tikslumas	Vertinama, ar visi išskaidyti simboliai yra atpažįstami korektiškai.
Nuotraukos analizės sparta	Matuojamas vienos nuotraukos apdorojimo greitis.
Klaidingai aptiktų regionų skaičius	Matuojama aptiktų klaidingų regionų skaičius.

3.5 Sprendimo projektavimas

3.5.1 Statinis sistemos vaizdas

Žemiau pateikiama klasių diagrama su klasių paaiškinimais.



9 pav. Statinis vaizdas. Klasių diagrama

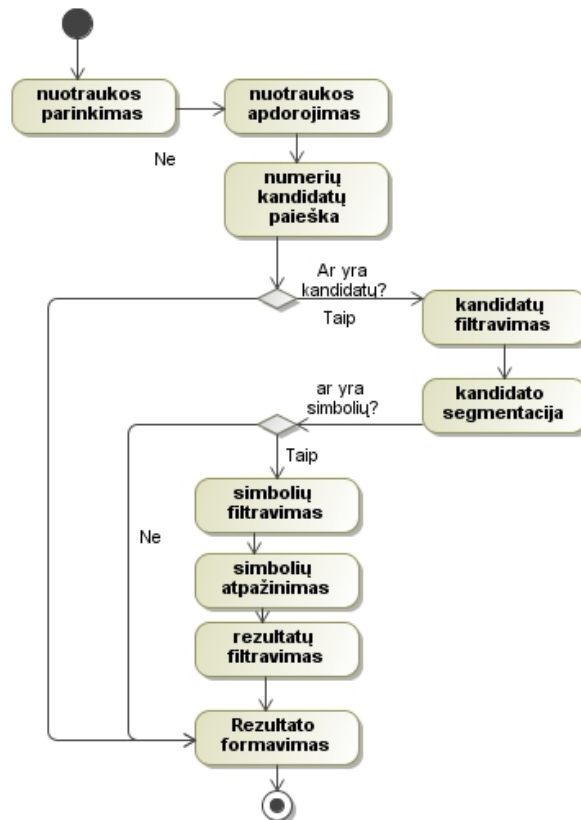
Lentelė 5 Klasių aprašymas

Klasės pavadinimas	Aprašymas
<i>Logger</i>	Paketo Log4j žurnalo klasė, skirta registruoti sisteminius veiksmus
<i>Recognizer</i>	Atpažinimo klasė, kuri valdo atpažinimo proceso eigą
<i>CharacterSegmentation</i>	Skaldo nuotrauką simbolių segmentais, naudojami <i>CountourFinder</i> klase aptikti simbolių kontūrus. Taip pat filtruoja netinkamus kandidatus, bei gražina rūšiuota segmentų sąrašą.
<i>CountourFinder</i>	Algoritmas skirtas atrasti simbolių kontūrus.
<i>LeftToRightComparator</i>	Palyginimo klasė, kuri rūšiuoja kandidatus pagal jų poziciją iš kairės į dešinę.
<i>CLI</i>	Komandinės eilutės įėjimo taškas, skirtas treniruoti <i>HOG</i> klasifikatorių.
Klasės pavadinimas	Aprašymas

<i>HOGTrainer</i>	Modelio treniravimas, pagal parametrus ir modelių rašymas į bylą.
<i>SVM</i>	HOG bruožų apjungimas į vieną aprašantį vektorių, kurį bus galima panaudoti su OpenCV <i>HOGDetector</i> .
<i>FeatureExtractor</i>	HOG bruožų vektoriaus generavimas iš failų sąrašo.
<i>Files</i>	Pagalbinė klasė gaunant bylų sąrašą kataloguose.
<i>Formatter</i>	Bruožų vektoriaus formato pavertimas į reikalingą pagal atraminio vektoriaus reikalavimus.
<i>OCR</i>	Simbolių atpažinimo iš jau iškirptų simbolių. Naudojamas TesseractOCR variklis.
<i>Result</i>	Simbolio atpažinimo rezultatas, gražinantis simbolį ir pasitikėjimo lygį nuo 0 iki 100.
<i>CharacterRecognizer</i>	OCR sąsaja, skirta atpažinti simboliams.
<i>PlateDetector</i>	Valstybinių numerių aptikimo algoritmo aptikimo inicializacijos klasė, bei numerių aptikimo ir kandidatų gražinimo klasė
<i>HOGDetector</i>	Numerių aptikimo ir kandidatų gražinimo klasė naudojantis HOG metodu.
<i>LBPDetector</i>	Numerių aptikimo ir kandidatų gražinimo klasė naudojantis LBP metodu.
<i>Util</i>	Pagalbinė klasė, naudojama nuotraukų apdorojimui.

3.5.2 Dinaminis sistemos vaizdas. Atpažinimo procesas.

Atpažinimo procesas, tai pagrindinis sistemos vykstantis veiksmas. Pradedant nuo pradžių yra pasirenkama nuotrauka, kuri toliau yra apdorojama. Nuotrauka yra nuskaityta nespaltotu formatu ir tada ieškomi pagal pasirinktą algoritmą kandidatai. Rasti kandidatai yra filtruojami pagal aukščio ir pločio santykį, bei užimamą plotą. Tada atrinkti kandidatai yra perduodami segmentacijos procesui. Pirmiausia perduoti kandidatai yra paverčiami į dvejetainį formatą naudojantis *Otsu Adaptive Thresholding* algoritmu. Gautam kandidatui dvejetainiame formate atliekama struktūrinė analizė, naudojantis *OpenCV* bibliotekos *findContours* metodu. Gauti kontūrai yra atrenkami pagal pločio ir aukščio santykį, bei užimamą plotą, bei gražinamas atrinktų kontūrų sąrašas. Atrinkti kandidatų fonas yra paverčiamas į baltą, kad raidės liktų baltomis, tada kandidatai yra perduodami *TesseractOCR* varikliui atpažinti ir suformuojamas galutinis rezultatas.



10 pav. Dinaminis vaizdas. Atpažinimo procesas

3.6 Sprendimo realizacija

Sistemos realizacija būtų galima skirti į keletą dalių. Pirmoji dalis būtų automobilio nuotraukų rinkimas, jų apdorojimas ir paruošimas klasifikatoriaus treniravimui. Sekanti dalis būtų bruožų išskyrimas iš nuotraukų ir klasifikatoriaus apmokymas bei išsaugojimas byloje. Paskutinio dalis būtų naudojantis pasirinkti klasifikatoriumi paleisti atpažinimo sistemą.

3.6.1 Automobilio nuotraukų rinkimas

Reikalingi duomenys buvo renkami naudojantis internetu prieiga, ieškant automobilio ir numerių nuotraukų. Taip pat nuotraukos buvo renkamos paprasčiausiai fotografuojant išmaniuoju telefonu arba foto kamera. Fotografuojant mašinas buvo stengiamasi laikytis keleto sąlygų:

- fotografuojama 2-3 žingsnių nuo mašinos atstumu
- fotografuojami numeriai neturi būti pakreipti
- fotografuojama turi būti dieną

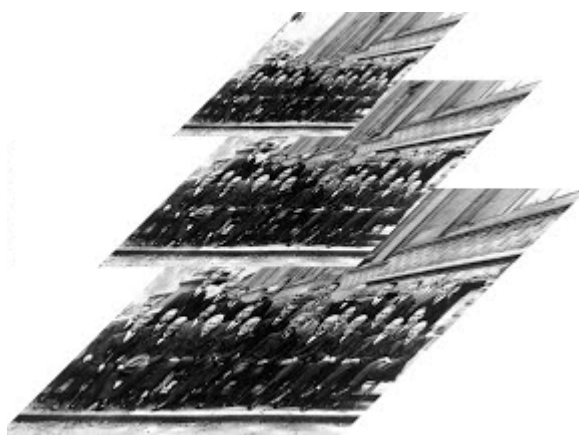
Fotografuojama buvo dienos metu dažniausiai automobilių aikštelėse ir kiemuose. Sekantis žingsnis tai buvo mašinų numerių rankinis iškirpimas apvedant kontūrus, stengiantis kuo tiksliau pažymėti numerius kartu su numerių kontūrais.

3.6.2 Sistemos apmokymas

Objektų atpažinimui apmokyti buvo naudojama OpenCV biblioteka [39], bei libSVM biblioteka [40]. Prieš pradėdant apmokymo procesą nuotraukos suskirstomos į teigiamas ir neigiamas duomenų rinkinius, tada yra išrenkami teigiamų bei neigiamų duomenų bruožai ir klasifikatorius apmokomas remiantis išrinktais bruožais atskirti objektus. Apmokytus klasifikatorius panaudojame atrasti valstybinius numerius nuotraukose.

3.6.2.1 Valstybinių numerių atpažinimo paieška

Valstybinių numerių paieška nuotraukoje nuotrauka atliekama naudojant fiksuoto dydžio slenkančiu paieškos lauku, tikrinant per nuotraukų piramidę. Nuotraukų piramidė – tai skirtingų dydžio tos pačios nuotraukos reprezentacija, ji sudaroma mažinant nuotrauką. Nuotraukų piramidė naudojama tam, kad tame pačiame paieškos lange būtų galima aptikti įvairaus dydžio objektus.



11 pav. Nuotraukų piramidės pavyzdys

Kiekviename paieškos lange atliekama objekto atpažinimas per visus dydžius, galiausiai aptikimai yra sujungiami ir gražinamas galutinis rezultatas. Šis metodas yra naudojamas kartu su HOG ir LBP metodais ir šis metodas yra įgyvendintas OpenCV bibliotekoje – vadinama *detectMultiScale*.

3.6.2.2 Tiesinis atraminių vektorių klasifikatorius

HOG metodui parinktas tiesinis atraminių vektorių klasifikatorius dėl efektyvumo ir greičio. SVM klasifikatorius buvo apmokant kiekvieną kartą keičiant parametrus. SVM baudos parametro C paieška buvo atliekama naudojant 5 etapų kryžminę atestaciją. SVM klasifikatorių apmokyti buvo pasirinkta atviro kodo biblioteka libSVM.

3.6.2.3 TesseractOCR

Realizacijoje atpažinti simbolius yra naudojamas TesseractOCR variklis, tad norint užtikrinti geriausias rezultatus variklis turi būti apmokytas atpažinti numeriuose naudojamą šriftą [38]. Netiksliai parinktas šriftas turi įtakos atpažintų simbolių sėkmei. Taigi norint atpažinti kitų šalių šriftus TesseractOCR variklį reikia apmokyti atpažinti tuose šalyse naudojamais šriftais.

3.6.3 Realizacijos priemonės

Žemiau pateiktos pasirinktos priemonės, kuriant programinę įrangą.

Lentelė 6 Priemonės

Priemonė	Aprašymas
OpenCV	Atviro kodo vaizdų apdorojimo, aktyviai plėtojama ir plataus funkcionalumo biblioteka.
libSVM	Atviro kodo atraminių vektorių biblioteka.
Ubuntu OS	Operacinė sistema naudota kuriant programinę įrangą.
IntelliJ	Programinio kodo redaktorius.
Rackspace Cloud	Kompanija teikianti debesų technologijas.
JAVA	Plačiai naudojama programavimo kalba, veikianti daugelį platformų

3.6.4 Testavimo strategija

3.6.4.1 Vienetų testavimas

Vienetų testavimui naudojami bus struktūriniai ir funkciniai testavimo metodai. Struktūrinio testavimo metu bus tikrinama metodo veikimas, žinant vidinę metodo struktūrą.

Funkcinio testavimo metu bus tikrinama ar tam tikros numerių atpažinimo dalys veikia korektiškai su parinktais testavimui paveiksliukais.

3.6.4.2 Integracinis testavimas

Po vienetų testavimo, atskiros sistemos dalys yra apjungiamos į vieną sistemą ir atliekamas integracinis testavimas. Integracinis testavimas apjungia visas sistemos dalis (atpažinimo proceso) į vieną ir taip patikrinamas korektiškas veikimas.

3.6.4.3 Rankinis testavimas

Rankinio testavimo metu bus tikrinamas sistemos vietos, kurių veikimą, bei norimą gauti rezultatą galima testuoti reikia vizualiai pamatyti ir įvertinti.

3.6.4.4 Spartos testavimas

Spartos testavimo metu bus tikrinama ir užfiksuojama žurnale atpažinimo proceso vykdymo greitis.

3.6.5 Testavimo scenarijai

Lentelė 7 Testavimo scenarijai

Testas	Laukiamas rezultatas	Klaida
OCR. Neleidžiama nustatyti minimalaus patikimumo lygio aukštesnio nei 100	Iššaukiamas <i>IllegalArgumentException</i>	NE
OCR. Neleidžiama nustatyti minimalaus patikimumo lygio žemiau ar lygu 0	Iššaukiamas <i>IllegalArgumentException</i>	NE
OCR. Į rezultatus neįtraukiami simboliai, kurie atpažįstami žemesniu nei nustatytu patikimumo lygiu.	Neįtrauktas simbolis	NE
OCR. Apdorotas paveikslas perduodamas atpažinimo varikliui.	Pašauktas <i>recognize</i> metodas	NE
OCR. Gražinamas pilnas mašinos numeris	Visi atitinkantys minimalaus patikimumo lygį simboliai įtraukiami į gražinamą simbolių seką	NE
Segmentacija. Paduodamas paveikslas, kuriame matoma tik mašinos numeriai.	Numeris yra išdalinamas į segmentų skaičių, kuris turi atitikti simbolių skaičiui.	NE
Atidaryti bylą	Paspaudus mygtuką „ <i>Open File</i> “ atidaromas failas ir parodomas jo pagrindinis vaizdas	NE
Atpažinti numerį	Paspaudus mygtuką „ <i>Recognize</i> “ numeris atpažįstamas iš užkraunamo paveikslėlio.	Kartais
Išeiti iš programos	Programa uždaro paspaudus <i>Exit</i> mygtuką.	NE

3.7 Išvados

1. Sudaryta architektūra yra pakankamai lanksti, projekto eigoje buvo lengva pridėti papildomą objektų aptikimo metodą – HOG. Taip pat būtų įmanoma be didelių pastangų pakeisti kitose stadijose veikiančius algoritmus.
2. Įgyvendintą programinę įrangą būtų galima panaudoti kaip pagrindą tolimesniems bandymams ir panaudojimui eksperimentiniuose projektuose, tačiau komerciniuose projektuose be pakeitimų ir tolimesnių tyrimų nerekomenduojama.

4 EKSPERIMENTINĖ DALIS

Eksperimentinėje dalyje yra atliekamas dviejų objekto radimo metodų: HOG ir LBP tyrimas, jų valstybinių automobilio numerių aptikimas, bei veikimo sparta. HOG metodo optimalūs parametrai buvo nustatomi eksperimentiniu būdu.

4.1 HOG metodo optimalių parametrų nustatymo tyrimas

HOG metodo efektyvumas priklauso nuo parinktų parametrų. Pagrindiniai parametrai lemiantys tikslumą ir spartą yra – paieškos lango dydis, celės dydis, bloko dydis (celėmis), bloko poslinkio dydis. Tyrimo eiga:

1. Išskiriami HOG bruožų vektoriai naudojant skirtingus celės ir bloko dydžius
2. Kiekvienai celės ir bloko dydžių kombinacijos porai apmokomas klasifikatorius
3. Atliekamas spartos tyrimas esant skirtingiems celės ir bloko parametrams
4. Atliekamas tikslumo tyrimas esant skirtingiems celės ir bloko parametrams
5. Atliekamas klaidingai nustatytų kandidatų tyrimas skirtingiems celės ir bloko parametrams

Celės parinktos 4x4, 6x6, 8x8 taškų dydžio, o bloko dydžiai parinkti 1x1, 2x2, 4x4 celėmis. Bloko poslinkis pasirinktas fiksuotas santykis – pusė bloko dydžio. Kiekvienai celės ir parametrų pora buvo apmokyta atskirai, atraminio vektoriaus baudos parametras C , buvo parenkamas atliekant 5 lygių kryžminę atestavimą.

4.2 Objektų radimo metodų tikslumo bei greičio tyrimas

Tyrimo tikslas palyginti HOG ir LBP metodus, jų objektų aptikimą, greitį, klaidingų aptikimų vidutinį skaičių per nuotrauką. Tyrimą galima suskirstyti į keletą dalių:

1. LBP ir HOG metodų algoritmų spartos tyrimas

2. LBP ir HOG metodų algoritmų klaidingai nustatytų regionų skaičiaus tyrimas
3. LBP ir HOG metodų objekto aptikimo tyrimas

4.3 Tyrimo rezultatai

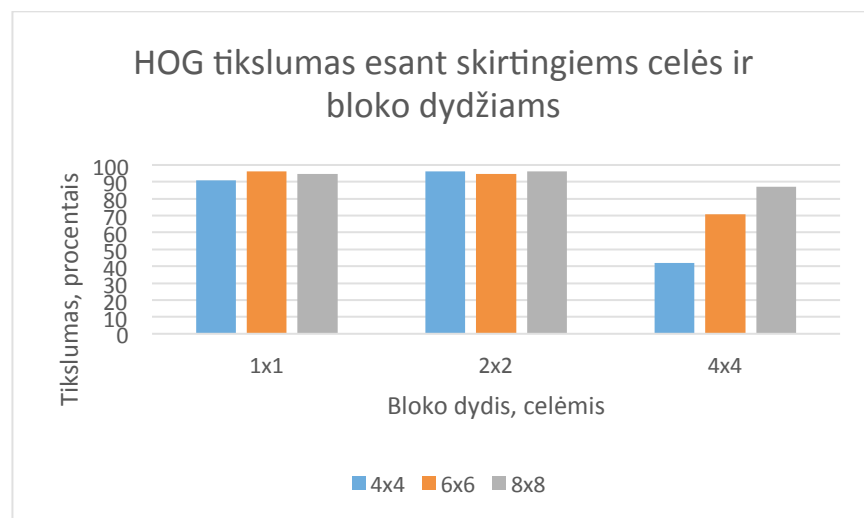
4.3.1 HOG metodo optimalių parametų nustatymo tyrimas.

Tyrimo metu buvo nustatoma siekta išsiaiškinti kokios celės dydžio, bei bloko dydžio reikšmės parodys geriausia aptikimų tikslumą su mažiausiu vidutiniu klaidingu aptikimų skaičiumi. Bandymai buvo atlikti bandant aptikti automobilių valstybinius numerius 55 nuotraukose. Žemiau pateikiama keleto automobilių nuotraukų pavyzdžiai iš testuojamų duomenų. Testavimui panaudotos nuotraukos buvo parinktos įvairaus atstumo, pokrypio, polinkio automobilio valstybinių numerių.

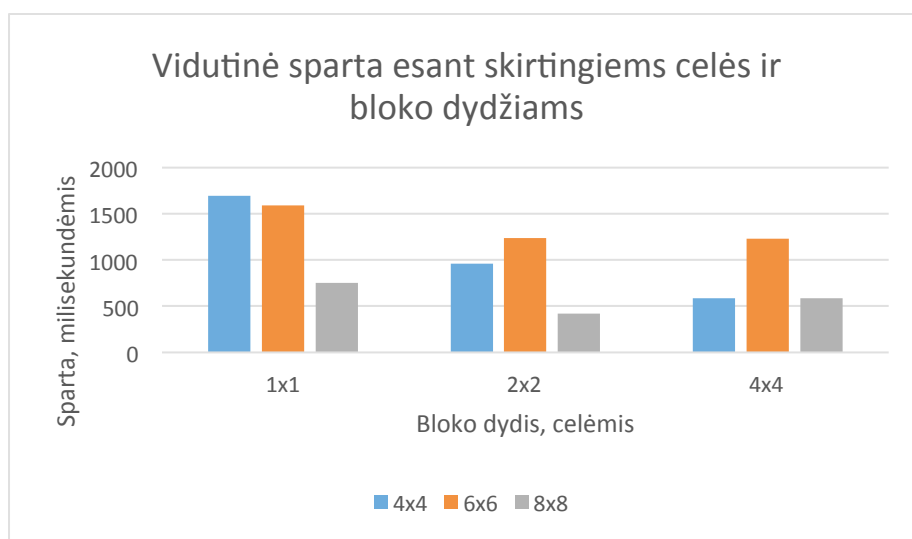


12 pav. Automobilių nuotraukų pavyzdžiai

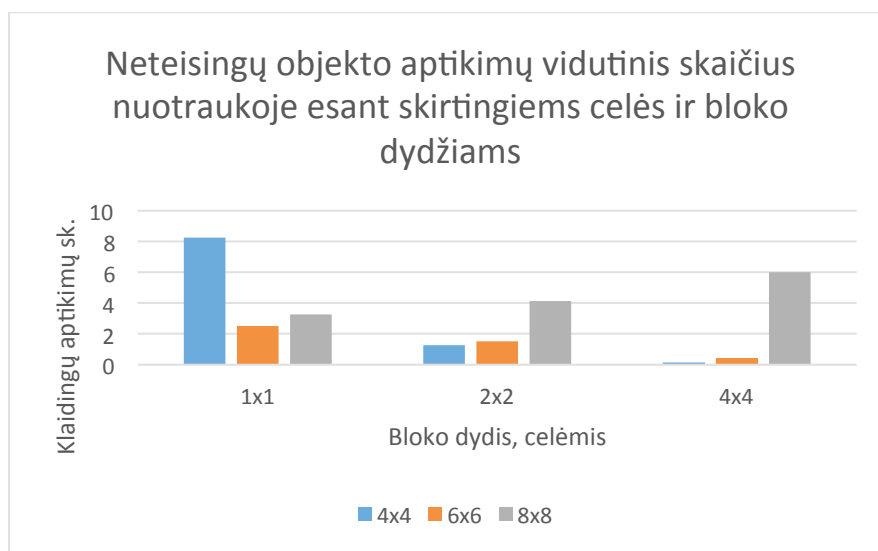
Toliau pateikiami gauti rezultatai atlikus bandymus su skirtingais celės ir bloko parametrais.



13 pav. Tikslumas esant skirtingiems celės ir bloko dydžiams



14 pav. Vidutinė sparta esant skirtingiems celės ir bloko dydžiams



15 pav. Vidutinis klaidingų aptikimų skaičius esant skirtingiems celės ir bloko dydžiams

Iš gautų matavimo rezultatų buvo gauta, kad ieškant objekto (automobilio valstybinių numerių) kurio dydis yra apytiksliai 200x40 taškų, geriausia aptikimo rezultata parodė parinktas celės dydis 4x4 taškų, bloko dydis 2x2 celės arba 8x8 taškų – gautas tikslumas siekė 96,36 proc. Taip pat šie parametrai parodė ir mažiausią klaidingų aptikimo skaičių – vidutiniškai apie 1,25 klaidingo aptikimo per nuotrauką. Vidutė parinktų parametrų apdorojimo sparta siekė apie 0,96 sekundės.

4.3.2 Objekto radimo metodų tikslumo bei greičio tyrimas

Pirmiausia metodų apmokymui buvo naudojami europietišku numeriu pavyzdžiai sukarpyti į vidutinį 200 x 40 taškų dydį, o testavimui naudojamos nuotraukos nesusijusios su apmokymu. Matuojama mašinų numeriai ar mašinų numeriai apgaubti detektoriaus stačiakampiu, koks

klaidingai aptiktų tokių apgaubimų per nuotraukų skaičius, bei kokia vienos nuotraukos apdorojimo sparta. Testuojamos nuotraukos bus 800x600 taškų dydžio. Žemiau pateikiami rankiniu būdu iškirpti teigiami automobilių numerių pavyzdžiai.



16 pav. Automobilių numerių iškirpti pavyzdžiai

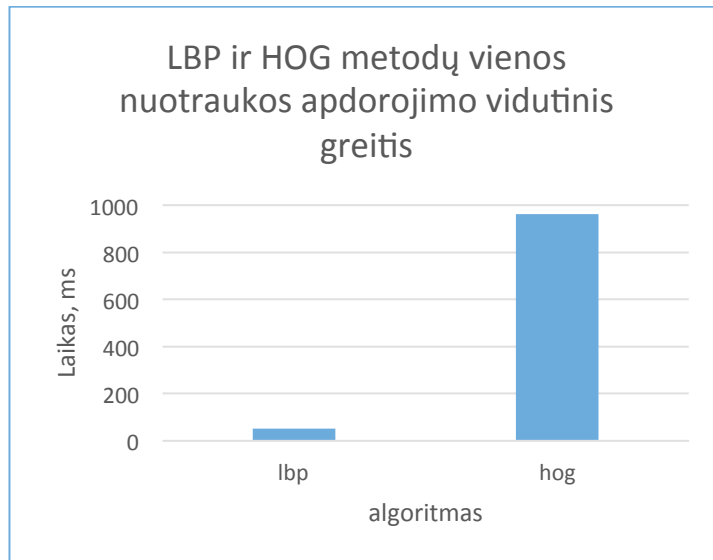
HOG metodas buvo apmokytas panaudojant 1347 teigiamų pavyzdžių, bei 3205 neigiamų pavyzdžių. Neigiami pavyzdžiai buvo išrinkti iš nuotraukų neturinčių mašinų numerių. Išskiriant bruožus iš teigiamų ir neigiamų pavyzdžių buvo naudojamas aptikimo langas 200x40 taškų dydžio, apytiksliai vidutinio teigiamo pavyzdžio dydžio. Reikia paminėti, kad visos naudojamos nuotraukos prieš išskiriant bruožus buvo sumažintos iki tikslaus 200x40 taškų dydžio. Taip pat viena iš HOG metodo reikalaujamų sąlygų yra kad naudojami parametrai (paieškos aptikimo langas, celės dydis, bloko dydis, poslinkis) turi būti dvejetainis. Pasirinkti HOG parametrai:

- Aptikimo lango dydis 200x40 taškų
- Bloko dydis 2x2 celės arba 8x8 taškų
- Celės dydis 4x4 taškų
- Bloko poslinkio dydis pasirinktas puse bloko dydžio, t.y. 4x4 taškų.

SVM klasifikatoriaus branduolys parinktas buvo tiesinis, dėl paprastumo ir greičio. Klasifikatoriaus parametras C buvo surastas atliekant 5 lygių kryžminę atestavimą. Rastos reikšmės $C=0.03125$, gautas tikslumas siekia 99,0237% su bandomaisiais duomenimis.

LBP kaskados apmokymas buvo atliktas naudojant tuos pačius teigiamus ir neigiamus pavyzdžius. Kaskados apmokymo stadijų skaičius nustatytas 12, minimalus pataikymo dažnis 0.995, maksimalus silpnų klasifikatorių skaičius stadijoje nustatytas 100.

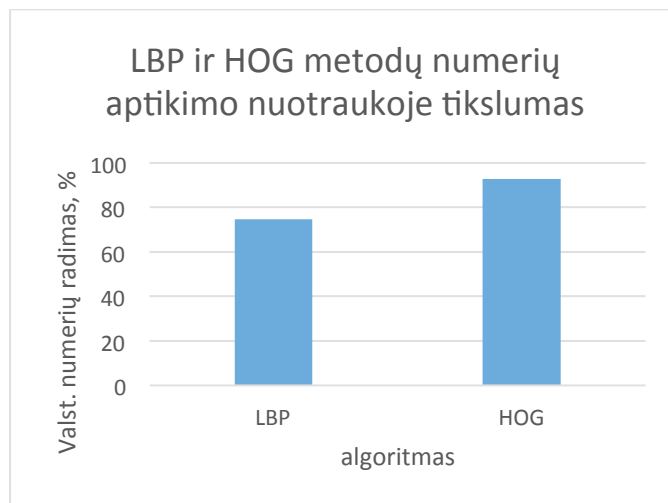
Testavimo duomenis buvo sudaryti iš 55 nuotraukų, kurios buvo apdorotos LBP ir HOG objektų aptikimo metodais. Testuojamos sistemos parametrai Intel Core 2 Duo 2.26 GHz, 8GB RAM DDR3. Spartos rezultatai gauti matuojant kiek laiko užtrunka atlikti vienos nuotraukos analizę, bei pamatuotas vidurkis.



17 pav. LBP ir HOG metodų vienos nuotraukos apdorojimo vidutinis greitis

Gautas rezultatas vidutinis LBP algoritmo apdorojimo greitis siekia 51.25ms, kur HOG algoritmo greitis siekia vidutiniškai 961ms, kas yra apie 18,84 kartų lėčiau nei LBP.

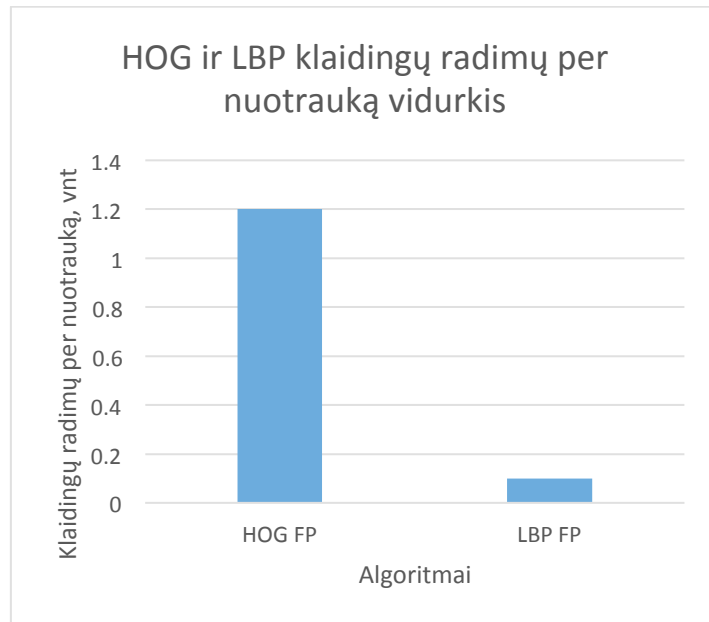
Toliau pateikiami algoritmų objekto radimo nuotraukoje rezultatai.



18 pav. LBP ir HOG metodų numerių aptikimo nuotraukoje tikslumas

Atlikus objekto radimo (valstybinių numerių buvimo vietą nuotraukoje) matavimą, gauti rezultatai, kad LBP algoritmo siekė vidutiniškai apie 74,54%, o HOG – 96,36%. HOG algoritmas pasirodė gebantis aptikti mašinių numerius nuotraukoje buvo 21,82% tiksliau, nei LBP.

Galiausiai pateikiami rezultatai atlikus klaidingų aptikimų vidurkio matavimai nuotraukoje.



19 pav. HOG ir LBP klaidingų radimų per nuotrauką vidurkis

Gauti rezultatai, kad HOG klaidingų aptikimų (*angl. False Positive*) yra apie 1,2 papildomo regiono per nuotrauką, kur LBP algoritmo 0,1 klaidingų aptikimų vidurkis.

4.4 Išvados

1. Atlikus HOG parametrų celės ir bloko dydžių parinkimą buvo nustatyta, kad esamam uždaviniui automobilio numerių aptikimo uždaviniui geriausia parametrų kombinacija buvo 4x4 taškų celės dydis ir 2x2 bloko dydis. Pasiiektas aukštas 96,36 proc. tikslumas su vidutiniu klaidų skaičių 1,25 papildomo klaidingai aptikto kandidato.
2. Atlikus HOG ir LBP metodų tikslumo ir spartos tyrimą rasta, kad HOG metodas pasirodė esantis tikslesnis, tačiau taip pat ir daug lėtesnis. LBP tikslumas siekė 74,54% su vidutiniu 0.1 klaidingų aptikimo vidurkiu. Vidutinis LBP metodo nuotraukos apdorojimo greitis siekė 51ms, o vidutinis HOG apdorojimo greitis siekė 961ms.
3. Norint pagerinti HOG algoritmo veikimo spartą, reikia sumažinti paieškos regioną, tai galima būtų padaryti pirmiausia aptinkant automobilio priekį ir atlikti paiešką rastame regione arba būtų galima remtis fiksuota kameros pozicija ir atlikti paiešką tik pasirinktame nuotraukos plote. Taip pat vertėtų išbandyti, atliekant skaičiavimus naudojantis *CUDA* technologija, įgyvendinta grafikos plokštėse. Kitas būdas – būtų galima sumažinti analizuojamų nuotraukų dydį iš 800x600 taškų į 640x480, arba dar mažesni.

5 DARBO REZULTATAI IR IŠVADOS

1. Atlikus objekto aptikimo tyrimą pasiektas maksimalus tikslumas 96,36% naudojant HOG metodą, tai 21,82% tiksliau nei naudojant LBP – 74,54%, tačiau kaip parodė spartos tyrimas HOG apdorojimo greitis yra apie 18 kartų lėčiau nei LBP. Tad jeigu svarbesnis yra greitis verta rinktis LBP, jeigu tikslumas – HOG. Pasirinkti HOG parametrai, kuriais buvo pasiektas minėtas tikslumas, celės dydis 4x4 taškų, o bloko dydis pasirinktas 2x2 celės (arba 8x8 taškų).
2. HOG algoritmas veikia tiksliau nei LBP, tačiau grąžina daugiau netinkamų regionų – vidutiniškai apie 1,2 regiono per nuotrauką, kai LBP – 0,1. Renkantis HOG algoritmą reikėtų patyrinti kaip sumažinti arba atmesti klaidingus regionus.
3. Norint pasiekti aukštą tikslumą naudojantis HOG metodu rekomenduojama išbandyti įvairias celių ir bloko dydžių kombinacijas ir taip rasti optimalias reikšmes, tenkinančias užsibrėžtą tikslumą.
4. Sukurta programinė įranga galėtų būti panaudota tolimesniems bandymams kitų algoritmų bandymams arba integruoti į kitas sistemas, tačiau nerekomenduojama naudoti komercinėse sistemose be papildomų tyrimų ir pakeitimų.
5. Pasirinkti objektų atpažinimo metodai naudojantys tekstūrų bruožus yra atsparūs objektų deformacijoms, spalvai, apšvietimui.

6 LITERATŪRA

1. C.N.E. Anagnostooulus et al, „License plate recognition from still images and video sequences: a survey,“ *IEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 377-391, 2008.
2. M. Sarfraz et al, “Saudi Arabian license plate recognition system,” *Int. Conf. Geom. Model. and Graphics.*, pp. 36-41, 2003.
3. H. Bai and C. Liu, “A hybrid license plate extraction method based on edge statistics and morphology,” *Int. Conf. Patt. Recog.*, vol. 2, pp. 831-834, 2004
4. D. Zheng et al, “An efficient method of license plate location,” *Pattern recog. Letter*, vol. 26, no. 15, pp. 2431-2438, 2005.
5. F. Faradji et al, “A morphological-based license plate location,” *IEEE Int. Conf. Image Process.*, vol. 1, pp. 57-60, 2007.
6. K. Kanayama et al, “Development of vehicle-license number recognition system using real-time image processing and its application to travel-time measurement,” *IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 798-804, 1991.
7. V. Kamat and S. Ganesan, “An efficient implementation of the Hough transform for detecting vehicle license plates using DSPs,” *Real-Time Tech. and Applicat. Symp.*, pp. 58-59, 1995.
8. S. Zhang et al, “Car plate character extraction under complicated environment,” *IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, vol. 5, pp. 4722-4726, 2004.
9. A. M. Al-Ghaili et al, “A new vertical edge detection algorithm application,” *Int. Conf. Comput. Eng. & Syst.*, pp. 204-209, 2008
10. T. D. Duan et al, “Building an automatic vehicle license-plate system,” *Int. Conf. in Comput. Sci. RIVF*, pp. 59-63, 2005.
11. J. Xu et al, “Color analysis for Chinese car plate recognition,” *Conf. Robot., Intell. Syst. Signal Process.*, vol. 2, pp. 1312-1316
12. N. Bellas et al, “FPGA implementation of a license plate recognition using automatically generated streaming accelerators,” *IEEE Int. Distributed Process. Symp.*, pp. 8-15, 2006.
13. P. Wu et al, “License plate extraction in low resolution video,” *Pattern Recog.*, vol. 1, pp. 824-827, 2006.
14. K. Miyamoto et al, “Vehicle license-plate recognition by image Int. Conf. Ind. Electron., Control and Instrum., vol. 3, pp. 1
15. R. Parisi et al, “Car plate recognition by neural networks processing,” *IEEE Int. Symp. Circuits and Syst.*, vol. 3, pp.

16. K. Deb, H.-U. Chae, and K.-H. Jo, "Vehicle license plate detection based on sliding concentric windows and histogram," *J. of Compu.*, no. 8, pp. 771-777, 2009.
17. F. Kahraman et al, License Plate Character Segmentation Gabor Transform and Vector Quantization, vol. 2869, Eds. Springer-Verlag, pp. 381-388, 2003.
18. X. Shi et al, Automatic License Plate Recognition System Based on Color Image Processing, vol. 3483, O. Gervasi et al., Ed. New York: Springer-Verlag, pp. 1159-1168, 2005.
19. E. R. Lee et al, "Automatic recognition of a car license plate using color image processing," *IEEE Int. Conf. Image Process.*, vol. 2, pp. 301-305, 1994.
20. S.-L. Chang et al, "Automatic license plate recognition," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 5, no. 1, pp. 42-53, 2004.
21. S. K. Kim et al, "A recognition of vehicle license plate using a genetic algorithm based segmentation," *Int. Conf. Image Process.*, vol. 2, pp. 661- 664, 1996.
22. S. Yohimori et al, "License plate detection system by using threshold function and improved template matching method," *IEEE Annu. Meet. of the Fuzzy Inform.*, vol. 1, pp. 357-362, 2004.
23. W. Jia et al, "Gaussian weighted histogram intersection for license plate classification," *Int. Conf. Patt. Recog.*, vol. 3, pp. 574-577, 2006.
24. J. Matas and K. Zimmermann, "Unconstrained license plate and text localization and recognition," *IEEE Conf. Intell. Transp. Syst.*, pp. 572-577, 2005.
25. M.-L. Wang et al, "A vehicle license plate recognition system based on spatial/frequency domain filtering and neural networks," *Computational Collective Intell., Tech. and Applicat., Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6423, pp. 63-70, 2010.
26. Z. Chen et al, "Automatic license plate location and recognition based on feature salience," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 58, no. 7, pp. 3781-3785, 2009.
27. T. Naito et al, "Robust license-plate recognition method for passing vehicles under outside environment," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 49, no. 6, pp. 2309-2319, 2000.
28. Prieiga internetu <http://www.fedsig.com/solutions/what-is-alpr> žiūrēta: 2014-12-20
29. Prieiga internetu <https://www.research.ibm.com/haifa/research.shtml> žiūrēta: 2014-12-20
30. Prieiga internetu <http://www.nedapavi.com/solutions/cases/choosing-between-anpr-andtransponder-based-vehicle-id.html> žiūrēta: 2014-12-20
31. Prieiga internetu <http://www.ezcctv.com/license-plate-recognition.htm> žiūrēta: 2014-12-20
32. X. Xu et al, "A method of multi-view vehicle license plates location based on rectangle features," *Int. Conf. Signal Process.*, vol. 3, pp. 16-20, 2006.

33. M.-S. Pan et al, "Vehicle license plate character segmentation," *Int. J. Automat. and Comput.*, vol. 5, no. 4, pp. 425-432, 2008.
34. M.-S. Pan et al, "A new method for correcting vehicle license plate tilt," *Int. J. of Automat. and Comput.*, vol. 6, no. 2, pp. 210-216, 2009.
35. P. Comelli et al, "Optical recognition of motor vehicle license plates," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 44, no. 4, pp. 790-799, 1995.
36. J. Jiao et al, "A configurable method for multi-style license plate recognition," *Pattern Recog.*, vol. 42, pp. 358-369, 2009.
37. Shan Du, Member, IEEE, Mahmoud Ibrahim, Mohamed Sheata, Senior member, IEEE, Wael Badawy, Senior Member, IEEE „Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State of the Art Review) 2011
38. Prieiga internetu <https://code.google.com/p/tesseract-ocr/wiki/TrainingTesseract3> žiūrēta: 2014-12-20
39. Prieiga internetu http://docs.opencv.org/doc/user_guide/ug_traincascade.html žiūrēta: 2014-12-20
40. Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin, LIBSVM : a library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 2:27:1--27:27, 2011. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>
41. Dalal, N.; Triggs, B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, CA, USA, 25 June 2005; Volume 1, pp. 886–893.
42. Cortes, C.; Vapnik, V. Support-vector networks. *Mach. Learn.* 1995, 20, 273–297.
43. Suzuki, S. and Abe, K., Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following. *CVGIP* 30 1, pp 32-46 (1985)
44. Shengcai Liao, Xiangxin Zhu, Zhen Lei, Lun Zhang and Stan Z. Li. Learning Multi-scale Block Local Binary Patterns for Face Recognition. *International Conference on Biometrics (ICB)*, 2007, pp. 828-837.