

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

DETEKCE A LOKALIZACE REGISTRAČNÍ ZNAČKY VOZIDLA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETER ŠLOSÁR

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

DETEKCE A LOKALIZACE REGISTRAČNÍ ZNAČKY VOZIDLA

LICENSE PLATE DETECTION AND LOCALIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETER ŠLOSÁR

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ADAM HEROUT, Ph.D.

BRNO 2012

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá detekcí a lokalizací registračních značek motorových vozidel. Teoretická část pojednává o vlastnostech a vzhledu registračních značek v České republice a na Slovensku a také o současných metodách používaných na detekci a lokalizaci registračních značek. Hlavní částí práce je návrh a implementace vlastní metody pro detekci a lokalizaci využívající detektor rohových bodů, jejich zhlukování a kaskádovou klasifikaci. V závěru je popsáno testování na pořízené datové sadě a zhodnocení úspěšnosti navrhnutého systému.

Abstract

This bachelor's thesis deals with the detection and localization of vehicle registration plates. Theoretical part discusses properties and appearance of Czech and Slovak license plates and also methods presently used for detection and localization of license plates. Main part of the thesis consists of design and implementation of new detection and localization method using corner detector, clustering and cascade classification. Final part describes testing of this system using dataset and evaluates its success rate.

Klíčová slova

registrační značka, státní poznávací značka, detekce, lokalizace, zhlukování, klasifikace

Keywords

license plate, vehicle registration plate, detection, localization, clustering, classification

Citace

Peter Šlosár: Detekce a lokalizace registrační značky vozidla, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012

Detekce a lokalizace registrační značky vozidla

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Adama Herouta, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Peter Šlosár
15. května 2012

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce, doc. Ing. Adamovi Heroutovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady, ústretovost a přátelský přístup při odborných konzultacích. Také chci poděkovat za záznamy z vozidlové kamery, které mi ochotně poskytl a které posloužili jako cenný zdroj testovacích dat.

© Peter Šlosár, 2012.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Úvod	3
1 Registračné značky a ich detekcia	4
1.1 Využitie detekcie registračných značiek v praxi	4
1.1.1 Súčasnú príklady využitia	4
1.1.2 Pohľad do budúcnosti	5
1.2 Charakteristiky registračných značiek	5
1.2.1 Registračné značky v Českej republike	6
1.2.2 Evidenčné čísla vozidla na Slovensku	7
1.2.3 Súhrn hlavných rozdielov, porovnanie s inými krajinami	9
1.3 Obmedzenia navrhnutého programu vzhľadom na vzhľad a polohu značiek	9
1.4 Metódy detekcie registračných značiek	10
1.4.1 Spracovanie binárneho obrazu	10
1.4.2 Spracovanie úrovni sivej	10
1.4.3 Spracovanie farieb	10
1.4.4 Využitie klasifikátorov	11
2 Návrh vlastného prístupu	12
2.1 Úprava kontrastu obrazu	12
2.1.1 Adaptívna ekvalizácia histogramu	13
2.2 Hľadanie kandidátskych oblastí	13
2.2.1 Detekcia rohových bodov	14
2.2.2 Zhlukovanie detekovaných bodov	14
2.3 Úprava kandidátskych oblastí	15
2.3.1 Odstránenie okrajových bodov	15
2.3.2 Spojenie príhlých kandidátskych oblastí	16
2.3.3 Zdokonalenie kandidátskych oblastí	17
2.4 Výber oblastí pomocou kaskádového klasifikátora	18
2.4.1 Prvý stupeň klasifikátora	18
2.4.2 Druhý stupeň klasifikátora	18
2.4.3 Tretí stupeň klasifikátora	19
3 Implementácia programu	20
3.1 Použité jazyky a knižnice	20
3.2 Fáza predspracovania obrazu	20
3.3 Fáza detekcie a zhlukovania rohových bodov	21
3.4 Fáza odstránenia okrajových bodov	22
3.5 Fáza úpravy kandidátskych regiónov	23

3.6	Fáza klasifikácie	24
4	Testovanie a vyhodnotenie úspešnosti	25
4.1	Použité dátové sady	25
4.2	Vyhodnotenie	25
5	Možné rozšírenia a pokračovanie vývoja projektu	28
5.1	Rozpoznanie textu lokalizovanej registračnej značky	28
5.2	Zvýšenie úspešnosti detekcie	28
5.3	Optimalizácia	28
5.4	Detekcia natočenej značky	29
5.5	Rozšírenie na ďalšie druhy registračných značiek	29
6	Záver	30
	Zoznam príloh	31
A	Obsah CD	33
B	Manuál k programu	34

Úvod

Pri súčasnom masívnom rozvoji dopravy a automobilového priemyslu a čoraz viac prevládajúcej automatizácii sa dostáva do popredia aj problematika využitia počítačového softvéru pri úlohách týkajúcich sa spracovania obrazu v oblasti dopravy. Jednou z nich je aj detekcia a lokalizácia registračnej značky vozidla v obraze.

V tejto bakalárskej práci sa zaoberám metódami detekcie a lokalizácie registračných značiek vozidiel a vývojom programu, ktorý dokáže tieto značky v obraze lokalizovať. Problémom detekcie registračných značiek (RZ) sa v poslednej dobe zaoberá čoraz viac svetových inštitúcií a tak o možné návrhy riešenia nie je núdza. Existuje množstvo algoritmov, z ktorých takmer každý využíva pre svoju funkčnosť iné charakteristiky a princípy. Prístup, ktorý som pri riešení problému zvolil sa zameriava najmä na detekovanie RZ vozidiel registrovaných v Českej republike a na Slovensku a je určený prevažne na spracovanie snímok z kamery umiestnenej vo vozidle snímajúcej priestor pred vozidlom, prípadne z kamery umiestnenej nad vozovkou, ktorá sníma dopravnú situáciu.

Štruktúra práce je nasledovná. V prvej kapitole sa zaoberám praktickým využitím systému pre detekciu a lokalizáciu registračných značiek. Ďalej táto kapitola obsahuje stručné charakteristiky, tvarové špecifiká a rozdelenie RZ vozidiel v Českej republike a na Slovensku, porovnanie zásadných rozdielov medzi týmito krajinami ako aj ďalšími, prevažne európskymi štátmi. Rozoberám aj obmedzenia, kvôli ktorým v niektorých prípadoch nedôjde k zaznamenaniu registračnej značky v obraze. V závere tejto kapitoly sú v stručnom prehľade prezentované niektoré metódy, ktoré sa pre podobné detekčné úlohy v súčasnosti používajú.

Druhá kapitola predstavuje priblíženie prístupu, z ktorého v práci vychádzam a jeho navrhnuté úpravy spolu s teoretickými poznatkami, ktoré stoja za jeho jednotlivými fázami. Táto kapitola predstavuje spolu s nasledujúcou celú technickú správu.

V tretej kapitole sa nachádza detailný popis implementácie detekčného programu.

Nasleduje nemenej dôležitá štvrtá kapitola, ktorá sa zaoberá dátovými sadami použitými na tréning a testovanie programu a vyhodnotením úspešnosti detekcie.

Obsahom piatej kapitoly je načrtnutie možných rozšírení funkcionality programu, prípadne jeho ďalšieho budúceho vývoja. Je zameraná najmä na prípadné rozpoznanie textu RZ, ktoré na mnou riešený problém úzko naväzuje.

V úplnom závere sú zhrnuté výsledky a zhodnotený celkový prínos práce.

Kapitola 1

Registračné značky a ich detekcia

Táto kapitola sa v jej prvej časti zaoberá stručným prehľadom súčasných možností využitia detekcie registračných značiek v praxi a jemne načrtáva možnosti využitia tejto detekčnej úlohy v blízkej budúcnosti.

Druhá časť predstavuje pohľad na české a slovenské registračné značky zo strany ich optických vlastností a integritných obmedzení. Tieto vyplývajú z platnej legislatívy a sú záväzne určené pre tabuľky s registračným číslom každého štátu. Venujem sa aj špeciálnym druhom registračných značiek, ako sú napríklad značky pre historické vozidlá a značky s upraveným pomerom strán pre motocykle a automobily dovezené napríklad zo Spojených štátov amerických. Primárne zameranie na registračné značky automobilov registrovaných v Českej republike a na Slovensku som zvolil z toho dôvodu, že sa väčšinu času pohybujem práve na území týchto dvoch štátov a tak s nimi prichádzam denne do styku. Takisto som detailne oboznámený s vzhľadom registračných značiek týchto dvoch krajín aj z dôvodu môjho záujmu o cestnú dopravu.

V tretej časti popíšem a zdôvodním obmedzenia implementovaného detekčného algoritmu. Jedná sa najmä o polohu registračnej značky v scéne vstupného obrazu a takisto o RZ exotických krajín, ktoré majú výrazne rozdielny vzhľad a v našich končinách sa takmer nevyskytujú.

V závere kapitoly predstavím niektoré prístupy a metódy, ktoré majú v súčasnosti väčšie či menšie využitie v praxi pri riešení tohoto detekčného problému.

1.1 Využitie detekcie registračných značiek v praxi

Pri rastúcom rozmachu nasadzovania výpočtovej techniky do bežného života sa rôzne automatizované kamerové systémy stali pravidelnou súčasťou dopravných systémov v každej vyspelejšej krajine. Podľa ich zamerania zefektívňujú priebeh dopravy, prípadne slúžia na kontrolné a preventívne účely. Systémy pre detekciu RZ patria zatiaľ prevažne do druhej menovanej kategórie.

1.1.1 Súčasné príklady využitia

Systémy na detekciu a rozpoznanie registračných značiek vozidiel sú dnes využívané prevažne na monitorovanie dopravy a vymáhateľnosť práva. Práve preto nimi disponuje najmä polícia, prípadne iné štátne zložky a takisto správa diaľnic, ciest vyšších tried a cestných tunelov.

U polície sa takýto systém uplatňuje pri dokazovaní dopravných priestupkov ako je prekročenie maximálnej dovolenej rýchlosti, prípadne nezastavenie na červený signál semaforu. Podobne dohliada kamerový systém s detekciou registračnej značky aj na bezpečnosť v cestných tuneloch a na úsekoch ciest, kde majú vodiči tendenciu závažne porušovať dopravné predpisy.

V niektorých krajinách, kde sa diaľničné poplatky, prípadne mýto, uhrádzajú paušálne bez využitia diaľničných známok, sa automatizované rozpoznanie RZ používa na kontrolu, či má vozidlo prechádzajúce daným úsekom zaplatený príslušný poplatok. Takýto spôsob používa z okolitých krajín napríklad Maďarsko.

V neposlednom rade nachádzame využitie aj u súkromných spoločností pri kontrole oprávnenia na vjazd do neverejných parkovacích domov, prípadne areálov.

Je však nutné podotknúť, že všetky vyššie menované spôsoby využitia sa nezaobídu bez detekčnej úlohy, ktorá na lokalizáciu úzko nadväzuje. Tou je rozpoznanie textu na registračnej značke. Lokalizácia bez následného rozpoznania znakov sa využíva na štatistické účely. Ide napríklad o meranie vyťaženia cestných ťahov, kedy sa pomocou detekovaných registračných značiek určuje počet automobilov, ktoré daným úsekom prešli za časovú jednotku.

1.1.2 Pohľad do budúcnosti

V poslednom období výrobcovia automobilov integrujú do produkovaných vozidiel čoraz viac počítačových inteligentných systémov. Systém detekovania dopravných značiek pomocou kamery na čele vozidla sa už dostal do produkčnej verzie a teší sa obľube užívateľov. Takáto kamera by našla využitie aj pri detekcii registračnej značky vozidiel idúcich pred zaznamenávacím vozidlom alebo oproti nemu.

Využitie tohoto snímania s detekciou registračných značiek vidím v automatizácii administratívnych procesov pri prípadnej škodovej udalosti, ktorá nastane zrážkou vozidiel. Čoraz viac vodičov si vlastnou kamerou zaznamenáva priebeh jazdy pre prípadné dokazovanie vinníka nehody. Takto by bola škodová udalosť za pomoci kamery a ďalších senzorov umiestnených v automobile automaticky vyhodnotená, určený vinník a správa o nehode automaticky zaslaná poisťovniam. Vozidlo by podľa vyhodnotenia závažnosti nehody dokázalo samo privolať aj záchranné zložky.

1.2 Charakteristiky registračných značiek

Vlastnosti registračných značiek vozidla podliehajú právnej úprave. Táto je záväzná a detailne definuje všetky charakteristiky tabuliek s evidenčným číslom vozidla. Používa sa tak jednotný systém značenia, aj keď je možné stretnúť sa s majiteľmi vozidiel, ktorí tieto predpisy ignorujú a RZ majú vyhotovenú napríklad vo forme nálepky.

V minulosti bol pre české aj slovenské tabuľky zaužívaný pojem „štátna poznávací značka“ (ŠPZ), no už sa oficiálne nepoužíva. V Českej republike sa pre registračné tabuľky používa oficiálny úradný názov „registrační značka“ a ich podobu určuje vyhláška [1]. Na Slovensku sa používa označenie „evidenčné číslo vozidla“ (EČV) a podoba tabuliek je definovaná zákonom [3] a vyhláškou [2]. V tejto práci označujem značky oboch krajín súhrnným pojmom „registračná značka“.

1.2.1 Registračné značky v Českej republike

Tabuľka registračnej značky vozidla je vyrobená zo zliatin ľahkých kovov v reflexnej úprave. Na osobných motorových vozidlách musí byť čitateľne osadená vpredu aj vzadu, u motocyklov len vzadu. Registračná značka má tvar obĺžnika so zaoblenými rohmi s polomerom zaoblenia 1 cm. Bežne používaný rozmer je 52 cm x 11 cm (obr. 1.1). Pre zadnú tabuľku pre nákladné automobily, autobusy a prípojné vozidlá je používaný rozmer 34 cm x 20 cm (obr. 1.2). Traktory a samohybné pracovné stroje používajú registračné značky s rozmermi 28 cm x 20 cm. Motocyklom je určená varianta s rozmermi 20 cm x 16 cm. Česká legislatíva myslí aj na majiteľov vozidiel dovezených z USA, pre ktoré je určený rozmer tabuliek 32 cm x 16 cm. Pre športové vozidlá existuje špeciálny rozmer prednej tabuľky, a to 33 cm x 8,5 cm. Najmenšie registračné značky majú mopedy, v tomto prípade sa jedná o rozmery 8 cm x 11 cm.



Obrázek 1.1: Registračná značka používaná v súčasnosti v Česku. Zdroj: [7]



Obrázek 1.2: Registračná značka alternatívneho rozmeru. Zdroj: [7]

Zvláštnosťou je papierová jednorazová registračná značka s obmedzenou dobou platnosti používaná napríklad na prevoz nového vozidla. Táto má rozmery 21 cm x 14,5 cm a je zelená s čiernym textom.

Text registračnej značky je prevedený reliéfne na bielom podklade, spravidla v čiernej farbe. V ľavej časti je umiestnený modrý pruh s dvanástimi žltými hviezdami predstavujúcimi znak Európskej únie, pod nimi je označenie CZ. Značky spred 1. mája 2004 majú namiesto tohoto pásu len prázdne miesto. Tento pás takisto neobsahuje registračné značky pre mopedy, traktory a samohybné pracovné stroje. Tieto mechanizmy majú značku vyvedenú čiernymi písmenami na žltom podklade. Vlastníci vozidiel s diplomatickými alebo konzulárnymi výsadami majú tabuľky biele s modrým písmom. Ostatné druhy značiek (napríklad historické vozidlá (obr. 1.3), trvalo manipulačné značky, športové vozidlá) sú všetky vyvedené jednotne zeleným písmom na bielom podklade, líšia sa len textom.



Obrázek 1.3: Registračná značka historického vozidla. Zdroj: [7]

Samotný text značky tvorí trojica alfanumerických znakov, pričom písmeno nachádzajúce sa najviac vľavo určuje kraj, v ktorom je vozidlo nesúce registračnú značku registrované.

Nasleduje štvorica číslíc. Tabuľka registračnej značky umiestnená vzadu má medzi týmito skupinami znakov ešte priestor pre nalepenie okrúhlych nálepiek technickej a emisnej kontroly. V poslednej dobe prebieha diskusia ohľadom zavedenia registračných značiek s vlastným textom navrhnutým vlastníkom vozidla, podobne ako to funguje na Slovensku.

V platnosti aj naďalej ostávajú staré registračné značky spred roka 2001 (obr. 1.4). Tieto vychádzajú ešte z československého formátu a používajú označenie okresov namiesto krajov [7]. Ide klasicky o čierny text na bielom podklade, avšak tvorí ho trojica písmen a dve dvojčíslia oddelené pomlčkou. Nákladné vozidlá a autobusy majú túto starú značku vyvedenú na oranžovom podklade, u vozidiel diplomatov a cudzích štátnych príslušníkov sa jedná o modrý podklad a žltý text.



Obrázek 1.4: Registračná značka staršieho typu spred roka 2001. Zdroj: [7]

1.2.2 Evidenčné čísla vozidla na Slovensku

Tabuľka s evidenčným číslom vozidla je vyrobená zo zliatin ľahkých kovov s reflexnou úpravou povrchu. Na želanie vlastníka vozidla môže byť tabuľka vyrobená zo zmesi polykarbonátu a polyesteru. Takáto tabuľka vyžaruje svetlo pri zapnutom osvetlení vozidla a musí byť umiestnená vzadu. Na vozidle musia byť umiestnené obidve vydané tabuľky s EČV, vpredu aj vzadu. Toto sa netýka motocyklov, ktorým sa vydáva len jedna tabuľka, ktorá je umiestnená vzadu. Tabuľka musí byť na vozidle pripevnená tak, aby nebola narušená jej celistvosť a bola dobre čitateľná. Vozidlo bez pripevnených tabuliek s EČV sa v premávke nesmie používať.

Bežne používané tabuľky s evidenčným číslom vozidla majú rozmery 52 cm x 11 cm (obr. 1.5). Menej bežnou variantou, využívanou prevažne na prívesoch, návěsach a automobiloch dovezených zo zahraničia je tabuľka s rozmermi 34 cm x 20 cm (obr. 1.6). Traktory a motocykle využívajú tabuľky o rozmeroch 24 cm x 15 cm. Najmenšie tabuľky s rozmermi 14,5 cm x 11 cm využívajú mopedy a malé motocykle. Tabuľky so zvláštnym evidenčným číslom (určené napríklad pre historické vozidlá, prípadne ako prevozné značky) majú rozmery 24 cm x 15 cm. Každá tabuľka má po obvode vylisovanú obvodovú drážku rovnakej farby ako text na značke, teda spravidla čiernej.



Obrázek 1.5: Tabuľka s EČV používaná v súčasnosti na Slovensku. Zdroj: [4]

Text značky tvoria vypuklé písmená a čísla čiernej farby na bielom podklade. Prvé dve písmená označujú skratku okresu, v ktorom je vozidlo evidované. Nasleduje trojčíslenie a dvojica písmen označujúca sériu značky. V ľavej časti značky je od mája 2004 umiestnené modré pole o šírke 4 až 5 cm, ktoré obsahuje v jeho hornej časti 12 žltých hviezd (symbol



Obrázek 1.6: Tabuľka s EČV s alternatívnym rozmerom. Zdroj: [4]

Európskej únie) a v jeho dolnej časti biele písmená SK. Na staršej variante EČV bol na mieste tohoto poľa umiestnený štátny znak Slovenskej republiky a písmená SK boli čiernej farby (obr. 1.7). Od júna 2006 nahradil tento štátny znak pomlčku medzi označením okresu a trojčísľím. Obidve tieto predošlé varianty sú stále platné.



Obrázek 1.7: Tabuľka s EČV v podobe vydávanej do mája 2004. Zdroj: [4]

Na žiadosť vlastníka vozidla je možno vydať špeciálne EČV. Namiesto trojčísľia a série obsahuje 5 znakov podľa ľubovôle majiteľa. Prvé 3 znaky musia byť písmená, posledné 2 znaky môžu byť tvorené písmenami alebo číslicami. Kombinácia týchto znakov však nemôže tvoriť hanlivý alebo pohoršujúci výraz.

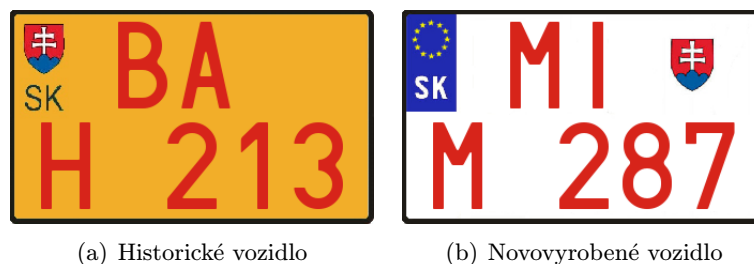
Registračné značky vydávané vozidlám cudzích zastupiteľských úradov majú označenie EE, prípadne ZZ. Sú tvorené žltým textom na tmavomodrom pozadí (obr. 1.8).



Obrázek 1.8: Tabuľka s EČV cudzieho zastupiteľského úradu. Zdroj: [4]

Tabuľky so zvláštnym EČV sa takisto líšia farebne a písmenným označením. Vozidlá určené na jednotlivý vývoz majú tabuľky oranžovej farby s čiernym textom a sú uvedené písmenom V. Novovyrobené vozidlá používajú písmeno M a červený text na bielom pozadí (obr. 1.9(b)). Športové vozidlá majú tabuľky s písmenom S vyvedené modrým textom na bielom pozadí. Pre historické vozidlá sú určené oranžové tabuľky s červeným textom a písmenom H (obr. 1.9(a)). Jednotlivo dovezené vozidlá používajú dočasné bielo-zelené značky s písmenom C.

Značky starého formátu (3 písmená okresu a štvorčísľie oddelené pomlčkou, napríklad KEA - 12 34) boli platné len do konca roka 2004 a už sa nepoužívajú.



Obrázek 1.9: Tabuľky so zvláštnym EČV. Zdroj: [4]

1.2.3 Súhrn hlavných rozdielov, porovnanie s inými krajinami

Ako vyplýva z vyššie uvedeného, ak budeme uvažovať len o detekcii a lokalizácii registračnej značky a nebudeme rozpoznávať jej text, v tomto ohľade sú české a slovenské značky pomerne podobné. Majú takmer identické rozmery, proporcie a farebné vlastnosti. Rozmery sú podobné aj registračným značkám väčšiny európskych krajín.

Rozdielne fonty a pozície jednotlivých znakov v tomto prípade nehrajú veľkú rolu, keďže úlohou nie je rozpoznať text značky, ale len jej polohu v snímanej scéne. Navrhovaný algoritmus si teda vie poradiť so slovenskými značkami aj s oboma vekovými variantami českých značiek. Vyhovujúce budú pravdepodobne aj značky niektorých ďalších krajín Európy, ktoré majú značky podobné rozmerovo a farebne.

1.3 Obmedzenia navrhnutého programu vzhľadom na vzhľad a polohu značiek

Keďže navrhovaná metóda je založená na detekcii príznakov v obraze, konkrétne rohových bodov, značky ktoré majú byť detekované musia byť dostatočne kontrastné. Pri klasifikácii sa využíva informácia o svetlých pixeloch a teda detekované budú len registračné značky písané tmavými znakmi na svetlom pozadí.

Týmto dvom kritériám nezodpovedajú najmä slovenské značky cudzieho zastupiteľského úradu, pretože sú inverzné, majú svetlý text na tmavom pozadí. Z toho dôvodu ich nebude možné detekovať a lokalizovať. Podobný problém sa týka aj napríklad starých poľských značiek, ktoré tvoria biely text na čiernom pozadí. Väčšina štátov USA má zase registračné značky neprimerane pestrofarebné a obsahujúce rôzne obrazové motívy. Takéto značky pravdepodobne tiež nebudú detekované. V našich končinách to však neprekáža.

Detektor zaznamená aj RZ s menej výrazným pomerom strán, ktorým sa vyznačujú napríklad motocyklové značky, prípadne automobily dovezené zo zahraničia, pre ktoré je určený rozmer 34 cm x 20 cm, prípadne 32 cm x 16 cm. U týchto značiek však nie je zaručená taká spoľahlivosť lokalizácie ako u klasických podlhovastých tabuliek. Takýchto vozidiel však na našich cestách jazdí minimum, a teda to nie je tak zásadný problém.

Výsledok detekcie nebude zaručený aj u ďalších skupín značiek, ktoré sú pri istých svetelných podmienkach nedostatočne kontrastné. Jedná sa najmä o vyššie menované značky so žltým, prípadne oranžovým pozadím (pozadie je príliš tmavé a splyva s textom) a o tie písané zeleným textom (opačný prípad, keď je text príliš svetlý). Slabým kontrastom taktiež trpia značky poznačené početnými nárazmi, z ktorých sa pôvodne čierny text ošúchal a je sotva čitateľný.

Navrhnutý systém je dimenzovaný na spracovávanie snímok z bežnej dopravnej situácie. Predpokladá sa tak, že registračné značky budú v scéne umiestnené vždy horizontálne orientované. Značky, ktoré sú natočené o viac ako približne 10 stupňov v osi prechádzajúcej kolmo na plochu značky, nebudú detekované. Podobne je obmedzený aj náklon značky podľa vertikálnej osi na približne 30 stupňov. Z toho vyplýva, že v prípade postupne odbočujúceho automobilu bude jeho RZ lokalizovaná len do určitej miery odbočenia. Najmenej obmedzujúci je náklon tabuľky podľa horizontálnej osi prechádzajúcej tabuľkou zľava doprava. Pokiaľ je značka rotovaná v tomto smere čitateľná voľným okom, systém ju detekuje. Takýto typ náklonu sa však pri rozumnom umiestnení snímacej kamery v bežnej dopravnej situácii nevyskytuje.

Detekcii takisto uniknú registračné značky, ktoré sú v scéne príliš ďaleko a nenesú tak informácie o rohových bodoch, na základe ktorých algoritmus pracuje. Podobne na tom sú aj snímky registračnej značky, ktoré sú zhotovené z veľkej blízkosti a značka na nich zaberá väčšinu plochy.

1.4 Metódy detekcie registračných značiek

V súčasnosti je známa pestrá paleta metód pre detekciu a lokalizáciu registračných značiek vozidla. Sú založené na rôznych základných princípoch a pre svoju funkčnosť využívajú rozmanité vlastnosti obrazu. Podľa [5] môžeme tieto systémy zdeliť do nasledujúcich 4 základných skupín podľa základnej využitej metódy spracovania obrazu. Jedná sa o metódy založené na spracovaní binárneho obrazu, metódy fungujúce na princípe spracovania úrovni sivej farby, metódy spracúvajúce farebnú informáciu a v neposlednom rade metódy využívajúce klasifikátory. Je potrebné poznamenať, že hranice medzi jednotlivými kategóriami nie sú vyhranené a tak sa niektoré metódy prelínajú viacerými kategóriami.

1.4.1 Spracovanie binárneho obrazu

Techniky patriace do tejto kategórie sú založené na detekcii hrán v binárnom obraze a matematickej morfológii. Sú založené na princípe, že oblasť s registračnou značkou vykazuje podstatne markantnejšie zmeny jasů, než iné oblasti scény. Pre detekciu sa využíva výpočet lokálnej odchýlky obrazu a miera intenzity hrany, tzv. gradient magnitude. Na zistenie týchto hrán je často použitá konvolúcia obrazu Sobelovým operátorom.

Na jednoduchých scénach tieto techniky preukazujú pomerne dobré výsledky. Pri zložitejších sú však náchylné na falošné hrany, detekované často najmä v oblasti prednej masky automobilu a mriežky chladiča. Pri kombinácii s vhodnými morfológickými krokmi, ktoré dokážu eliminovať nechcené hrany sa stávajú techniky tejto kategórie veľmi spoľahlivými a rýchlymi, často vhodnými aj pre spracovanie v reálnom čase.

1.4.2 Spracovanie úrovni sivej

Do tejto kategórie spadajú rôznorodé metódy, ktoré by sme mohli ďalej deliť. Ich spoločnou črtou je, že spracúvajú obraz konvertovaný do úrovni sivej farby, často analyzujú lokálny kontrast obrazu. Spravidla nedosahujú tak veľkú úspešnosť ako metódy predošlej kategórie.

1.4.3 Spracovanie farieb

Metódy spadajúce do tejto kategórie sa zakladajú na očakávanom vzhľade registračnej značky a teda dokážu detekovať len špecifické RZ krajiny, pre ktorú bola technika vyvinutá.

Sú závislé na svetelných podmienkach, pretože sa s nimi mení farebné podanie. Nakoľko sú tieto v bežných scénach výrazne variabilné, nedajú sa od techník založených na tomto princípe čakať veľmi presné výsledky.

Princípom týchto metód je často analýza farebného histogramu v jednotlivých regiónoch obrazu. Prípadne sa farebný model transformuje z RGB (červená, zelená, modrá) na HLS (odtieň farby, sýtosť, svetlosť), z ktorého je jednoduchšie určiť odtieň konkrétneho regiónu. Táto skupina nachádza často uplatnenie v krajinách, kde sú registračné značky význačné výraznou farbou a nie sú klasicky bielo-čierne ako je zvykom v našich končinách.

1.4.4 Využitie klasifikátorov

Takto založené metódy pre detekciu využívajú natrénovaný klasifikátor a príznačné vlastnosti obrazu. Je možné použiť radu bežných klasifikátorov. Zo štatistických je to napríklad AdaBoost, prípadne Support Vector Machines. Do tejto kategórie môžeme zaradiť aj metódy využívajúce umelú inteligenciu vo forme rozhodovacích stromov alebo neurónových sietí.

Metódy tejto kategórie dosahujú dobré výsledky v oblasti lokalizácie. Trpia však na náročnosť výpočtov a tak sa doba potrebná pre detekciu značne predlžuje. Toto často znemožňuje uplatniť tieto techniky pre detekciu v reálnom čase.

Kapitola 2

Návrh vlastného prístupu

Na základe zistených poznatkov som sa rozhodol navrhnúť vlastnú metódu pre detekciu a lokalizáciu registračných značiek. Pôvodne som uvažoval o real-time spracovaní záznamu z kamery, ale v neskoršej fáze som sa rozhodol pre spracovanie statických snímok vyhotovených fotoaparátom, prípadne získaných ako statický frame z videozáznamu.

Navrhnutý algoritmus obsahuje pri spracovaní vstupu niektoré pomerne výpočetne komplexné kroky. Udržať rýchlosť detekcie vhodnú pre spracovanie v reálnom čase by bolo náročné a pravdepodobne by to bolo na úkor úspešnosti lokalizácie.

Ako základ pre návrh a úpravu detekčnej techniky som si vzal postup prezentovaný v [12]. Ten v tejto kapitole ďalej popíšem aj s úpravami, ktoré som navrhol.

Jedná sa o algoritmus na pomedzí troch z vyššie uvedených kategórií. Kombinuje spracovanie úrovni sivej, binárneho obrazu a použitie kaskádového klasifikátora. Farebná informácia o obraze sa nevyužíva. Algoritmus je založený na fakte, že oblasť s registračnou značkou má značné výkyvy v hodnotách sivej farby a teda je bohatá na rohové body. Vďaka tomu táto metóda poskytuje dobré výsledky za rôznych svetelných podmienok a taktiež v prípade, že je dopravná značka znečistená. Ako som už spomenul, moja úprava sa nedokáže popasovať s príliš veľkým natočením registračnej značky, no vzhľadom na plánované zameranie toto nie je prekážkou.

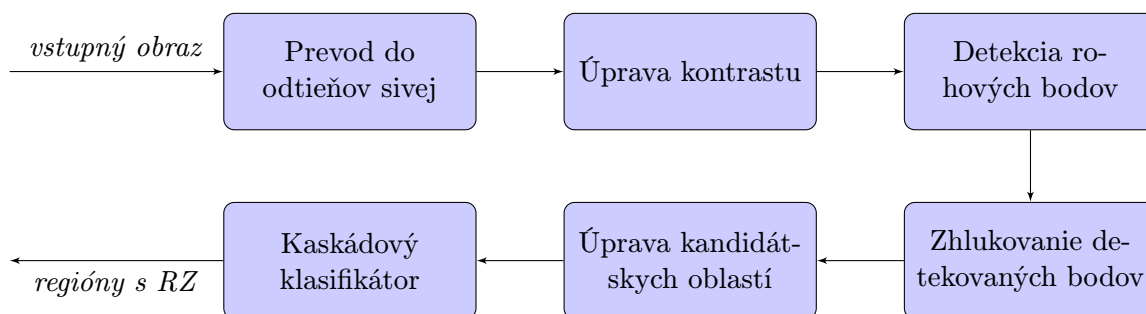
Postup prebiehajúcich procesov môžeme zadeliť do štyroch základných, na seba nadväzujúcich častí:

- Úprava kontrastu vstupu
- Detekcia a zhlukovanie rohových bodov
- Úprava kandidátskych oblastí
- Výber oblastí kaskádovým klasifikátorom

Jednotlivé fázy v ich náväznosti detailnejšie zobrazuje vývojový diagram (obr. 2.1).

2.1 Úprava kontrastu obrazu

Na začiatku je nutné vstupný farebný obraz spracovať a pripraviť na ďalšie fázy spracovania. To spočíva v eliminácii informácie o farbách prevodom do odtieňov sivej.



Obrázek 2.1: Vývojový diagram navrhnutej metódy

Vstupné snímky môžu byť zachytené za veľmi variabilných svetelných podmienok, čo vedie často k nízkym hodnotám kontrastu. Pri málo kontrastných obrazoch je počet detekovaných rohových bodov v ďalšej časti algoritmu veľmi nízky a celá detekcia na ňom zlyháva. Preto je nutné kontrast snímky primerane zvýšiť.

Pre túto úlohu existuje celý rad algoritmov pracujúcich s obrazom v odtieňoch sivej. Zvolená bola adaptívna ekvalizácia histogramu, tzv. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). Tento algoritmus je predstavený v [14].

2.1.1 Adaptívna ekvalizácia histogramu

Metóda CLAHE vychádza z bežnej adaptívnej ekvalizácie histogramu, ktorá sa však vyznačuje výskytom šumu. Vzniknutý šum je spôsobený zvýraznením bežne ťažko postrehnuteľného obrazového šumu v pozadí a je hlavnou nevýhodou algoritmu AHE. Vznik šumu je v prezentovanom algoritme potlačený limitovaním kontrastu v homogénnych oblastiach.

Obraz je rozdelený na maticu kontextuálnych regiónov. Pre každý z týchto regiónov je určený histogram jeho obrazových bodov. Po orezaní histogramu sú orezané pixely rovnomerne distribuované po celom histograme. Keďže regióny sú upravované lokálne, na zamedzenie viditeľnosti prechodov medzi nimi je použitá bilineárna interpolácia.

Oproti bežnej adaptívnej ekvalizácii je pridaný ďalší parameter zvaný kontrastný faktor (clip limit). Tento je definovaný ako násobok priemeru hodnôt histogramu a zabezpečuje rovnomernejšiu a prirodzenejšiu úpravu kontrastu bez vzniku šumu. Ak má tento parameter hodnotu 1, výsledkom je pôvodný obraz. Aj v prípade, keď je clip limit pomerne vysoký, miera šumu je stále prijateľná.

Tento algoritmus je pomerne jednoduchý a poskytuje veľmi dobré výsledky na väčšine obrazov. Na druhej strane niekedy môže vzniknutý obraz obsahovať nepríjemné artefakty.

2.2 Hľadanie kandidátskych oblastí

Pri vstupe do tejto fázy je už vstupný obraz vhodne predpripravený na získanie čo najväčšieho počtu rohových bodov a je tak možné pristúpiť k určeniu kandidátskych oblastí.

To pozostáva z dvoch úzko prepojených častí. Prvou z nich je samotná detekcia rohových bodov, na ktorej je postavený celý algoritmus. Práve táto časť rozhoduje v najväčšej miere o úspešnosti detekcie v jednotlivých prípadoch.

Množina nájdených rohových bodov sama o sebe nemá veľkú výpovednú hodnotu a preto je nutné tieto body sústrediť do menších zhlukov. Kritériom pre zhlukovanie je ich vzájomná

euklidovská vzdialenosť¹. V jednom zhluku tak budú body, ktoré ležia v priestore blízko pri sebe.

2.2.1 Detekcia rohových bodov

O extrahovanie rohových bodov sa stará Harrisov detektor [11]. Na začiatok treba uviesť, čo vlastne pojem rohový bod znamená. Zjednodušene sa jedná o priesečník dvoch hrán. Ak okolo takéhoto bodu vytvoríme malú oblasť a budeme ňou pohybovať, bude vykazovať vysokú mieru obrazových zmien [13]. Harrisov detektor bol zvolený z toho dôvodu, že je pomerne výpočtovo jednoduchý a rýchly. Vychádza z Moravecovho detektora, ktorý mierne upravuje. Je takisto nezávislý voči rotácii, zväčšovaniu a svetelným zmenám.

Implementáciu Harrisovho detektora štandardne poskytuje knižnica OpenCV, preto som k nemu pristupoval sčasti ako k tzv. black-box riešeniu. Matematické princípy jeho fungovania teda nebudem rozoberať viac do hĺbky.

2.2.2 Zhlukovanie detekovaných bodov

Pre zhlukovanie detekovaných rohových bodov bol zvolený algoritmus Affinity Propagation Clustering [9]. Tento algoritmus predstavuje rozšírenie algoritmu k-Medoids. U neho sú počiatočné stredy zhlukov zvolené náhodne. Nesprávny výber potenciálneho stredy však môže významne negatívne ovplyvniť výsledné rozdelenie zhlukov.

V prípade tohoto zvoleného algoritmu sú dátové body pokladané za uzly v grafe. Všetky body sú súčasne považované za potenciálne stredy zhlukov, pričom počet výsledných zhlukov nie je predom stanovený. Automatická detekcia zhlukov v tomto algoritme prebieha pomocou výmeny správ medzi jednotlivými bodmi. Po prebehnutí zhlukovania sú body rozdelené do zhlukov, sú určené ich stredy a je známy počet týchto zhlukov. Zhluky sú vytvorené podľa „spriaznenosti“ jednotlivých bodov podľa istého kritéria. V tomto prípade ide o už spomínanú vzájomnú vzdialenosť detekovaných rohových bodov v dvojrozmernom priestore.

Vstupom algoritmu je množina tzv. podobností medzi jednotlivými bodmi s reálnou hodnotou. Podobnosť $s(i, k)$ indikuje mieru, do akej je bod s indexom k vhodný byť stredom zhluku pre bod s indexom i . V tomto konkrétnom prípade, keď zhlukovanie prebieha na základe vzájomnej blízkosti, sú podobnosti nastavené na zápornú euklidovskú vzdialenosť medzi danými dvoma bodmi. Pre body x_i a x_k platí teda:

$$s(i, k) = -|x_i - x_k|^2$$

Ďalším vstupom algoritmu je reálna hodnota $s(k, k)$ pre každý bod s indexom k . Množina týchto hodnôt pre body je označovaná ako preferencie. Platí, že bod s vyššou hodnotou preferencie má väčšiu šancu stať sa stredom zhluku. Počiatočná hodnota preferencií ovplyvňuje výsledný počet vzniknutých zhlukov. Pre stredne veľký počet zhlukov, ktoré vyhovujú riešenému detekčnému problému volíme hodnotu preferencií ako medián vstupných hodnôt podobností.

Pre rozhodovanie o stredoch zhlukov a výslednej podobe zhlukovania sú použité dva druhy správ, ktoré si medzi sebou vymieňajú dátové body. Prvým typom správy je tzv. zodpovednosť $r(i, k)$, ktorú posiela dátový bod s indexom i kandidátnemu stredu zhluku

¹Zjednodušene povedané ide o „bežnú“ vzdialenosť medzi dvoma bodmi, ktorú vieme odmerať. V dvojrozmernom priestore sa vypočíta pomocou Pytagorovej vety.

s indexom k . Táto správa nesie informáciu o tom, do akej miery je bod x_k vhodný ako stred zhluku pre bod x_i , berúc do úvahy aj ostatné potenciálne stredy zhlukov pre bod x_i .

V opačnom smere posiela potenciálny stred zhluku x_k bodu s indexom i druhý typ správy zvaný dostupnosť. Označuje sa $a(i, k)$ a nesie informáciu o tom, ako vhodné by bolo pre bod x_i zvoliť si za stred zhluku bod x_k , berúc do úvahy aj vplyv ostatných dátových bodov. Na počiatku sú všetky dostupnosti inicializované na nulovú hodnotu. Algoritmus následne iteruje. Zodpovednosti sú vypočítané pomocou pravidla 2.1.

$$r(i, k) \leftarrow s(i, k) - \min_{k' \neq k} \{a(i, k') + s(i, k')\} \quad (2.1)$$

Samotná aktualizácia zodpovedností pravidlom 2.1 predstavuje súperenie kandidátnych stredov zhlukov o dátové body. Aktualizácia dostupnosti pravidlom 2.2 zabezpečí na druhej strane získanie údajov od dátových bodov o tom, či je kandidátny stred zhluku naozaj vhodný. Dostupnosti $a(k, k)$ sú aktualizované mierne odlišne, a to pravidlom 2.3.

$$a(i, k) \leftarrow \min\{0, r(k, k) + \sum_{i' \notin \{i, k\}} \max\{0, r(i', k)\}\} \quad (2.2)$$

$$a(k, k) \leftarrow \sum_{i' \neq k} \max\{0, r(i', k)\} \quad (2.3)$$

Výsledné stredy zhlukov sú určené kombináciou hodnôt dostupnosti a zodpovednosti. Pre bod s indexom i určuje hodnota k , pre ktorú naberá výraz $a(i, k) + r(i, k)$ maximálnu hodnotu, index bodu tvoriaceho stred príslušného zhluku. V prípade, ak platí $k = i$, je bod s indexom i identifikovaný ako stred zhluku.

Iterácia algoritmu sa ukončí pri ustálení hodnôt, je však vhodné počet iterácií zhora obmedziť. Pri aktualizácii správ je tiež vhodné tieto správy utlmiť určitou hodnotou koeficientu, aby sa predišlo možným číselným výkyvom. V tomto prípade má použitý koeficient λ hodnotu 0,5.

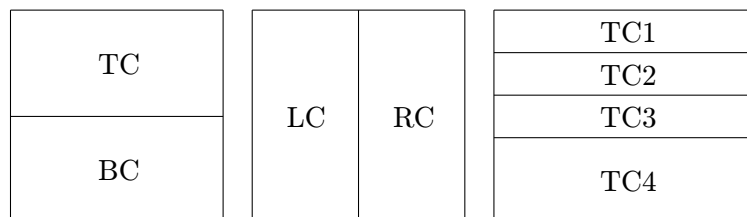
2.3 Úprava kandidátskych oblastí

Pre každý nájdený zhluk je možné určiť najmenší ohraničujúci obdĺžnik, ktorý tvorí kandidátsku oblasť. Túto oblasť v surovom stave je potrebné ďalej modifikovať.

2.3.1 Odstránenie okrajových bodov

Po prebehnutí samotného zhlukovania sú ohraničujúce obdĺžniky často neprimerane veľké. Je to spôsobené tým, že do zhluku bývajú zahrnuté body, ktoré sú od ostatných bodov zhluku pomerne vzdialené. Takéto okrajové body je nutné v záujme úspešnej detekcie odstrániť. V referenčnom článku [12] je predstavený algoritmus, ktorý sa tejto úlohy zhostuje. Jedná sa o hierarchické odstraňovanie okrajových bodov.

Každý ohraničujúci obdĺžnik je rozdelený do 4 regiónov. Podľa horizontálnej stredovej osi sú to regióny TC (hore) a BC (dole), podobne podľa zvislej osi sú to regióny LC (vľavo) a RC (vpravo). Každý z týchto regiónov je ďalej rozdelený na 4 oblasti, pričom oblasti označené číslom 1 až 3 ležia bližšie k okraju obdĺžnika a každá z nich tvorí pätinu obsahu príslušného regiónu, oblasť s číslom 4 tvorí dvojpätinový podiel. Situácia je ilustrovaná s detailom na horný región na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Nákres rozvrhnutia regiónov pre odstránenie okrajových bodov

Pre každý rohový bod i náležiaci do oblastí označených 1 až 3 sa určí počet bodov ležiacich v príslušnej oblasti, označíme ho $CDV(i)$. Odstraňovanie okrajových bodov následne prebieha vo všetkých štyroch regiónoch po jednom bode podľa algoritmu 2.1.

Algoritmus 2.1 Odstránenie okrajových bodov v hornom regióne

```

if corner point  $i$  in TC1 then
  if  $CDV(i) < \beta^2 * M$  then
    remove corner point  $i$ 
  end if
else if corner point  $i$  in TC2 then
  if  $CDV(i) < \beta * M$  then
    remove corner point  $i$ 
  end if
else if corner point  $i$  in TC3 then
  if  $CDV(i) < M$  then
    remove corner point  $i$ 
  end if
end if

```

Uvedený postup je možné opakovať vo viacerých iteráciách, použil som však len jednu. Hodnota M predstavuje prahovú hodnotu a koeficient β slúži na penalizáciu vzdialenejších oblastí. Voľba vhodných hodnôt týchto premenných je pre dobrý výsledok odstránenia okrajových bodov dôležitá.

Nakoniec ešte eliminujeme zhluky, ktoré ostali prázdne, prípadne v nich ostal iba jeden bod. Po prebehnutí tejto fázy sú zhluky kompaktnejšie a im prislúchajúce kandidátske oblasti presnejšie obopínajú miesta s predpokladaným umiestnením registračnej značky.

2.3.2 Spojenie príľahlých kandidátskych oblastí

V niektorých prípadoch môže byť oblasť obsahujúca registračnú značku rozdelená do viacerých zhlukov. Pre správnu lokalizáciu je potrebné tieto zhluky zlúčiť do jedného.

Pre každý zhluk je nanovo vypočítaný najmenší ohraničujúci obdĺžnik. Dva susedné zhluky budú spojené, ak pre ich ohraničujúce obdĺžniky platia všetky z nasledujúcich troch podmienok:

- Vzdialenosť medzi nimi je menšia ako prahová hodnota
- Vertikálne súradnice ich stredov sú takmer rovnaké

- Ich výška sa líši najviac o určenú hraničnú hodnotu

Spájanie susedných zhlukov prebieha dovtedy, pokiaľ už nie je možné spojiť žiadnu dvojicu zhlukov. Po ukončení spájania zhlukov nasleduje opäť prečistenie nevyhovujúcich kandidátskych oblastí. Tentokrát sa eliminujú oblasti orientované na výšku, teda také, ktorých šírka je menšia ako výška. Tento úkon môžeme vykonať z dôvodu, že v obraze očakávame registračné značky orientované horizontálne.

2.3.3 Zdokonalenie kandidátskych oblastí

Oblasti, ktoré sa dostali až do tejto fázy algoritmu už približne zodpovedajú odhadovanému regiónu s registračnou značkou. Stále však môžu obsahovať nechcené časti pozadia, prípadne neobsahujú celú registračnú značku, ale len jej časť. Preto sa budeme snažiť okraje kandidátskej oblasti prichytiť k reálnym okrajom registračnej značky v obraze.

Táto časť algoritmu sa od referenčného článku líši najmarkantnejšie. Pre zdokonalenie hraníc kandidátskej oblasti využijeme informácie z binárneho obrazu. Namiesto konvolúcie Sobelovým operátorom a detekcie hrán ale prevedieme zdrojový obraz prahovaním na taký, ktorý obsahuje výlučne čierne a biele pixely.

Na tomto binárnom obraze je jasne poznať výrazné hrubé ohraničenie registračnej značky, za ktoré zodpovedá plastový rámček na jej uchytenie a čiastočne aj karoséria automobilu. Práve tieto jasné hranice (obr. 2.3) využijeme na úpravu okrajov kandidátskej oblasti.



Obrázek 2.3: Jednoducho odlišiteľné hranice registračnej značky

Postup je pre každú kandidátsku oblasť nasledovný. Začneme ľavou a pravou hranou kandidátskej oblasti. Po stĺpcoch prechádzame oblasťou smerom zvnútra von v definovanom rozsahu. Rozsah by mal byť ideálne niekoľko pixelov smerom dovnútra oblasti, smerom von volíme väčšiu hodnotu. Postupne ukladáme x-súradnicu stĺpca, v ktorom bolo doposiaľ najviac čiernych pixelov. Novú hodnotu okraja kandidátskej oblasti určíme práve ako x-súradnicu najvnútornejšieho stĺpca s maximálnym počtom čiernych pixelov.

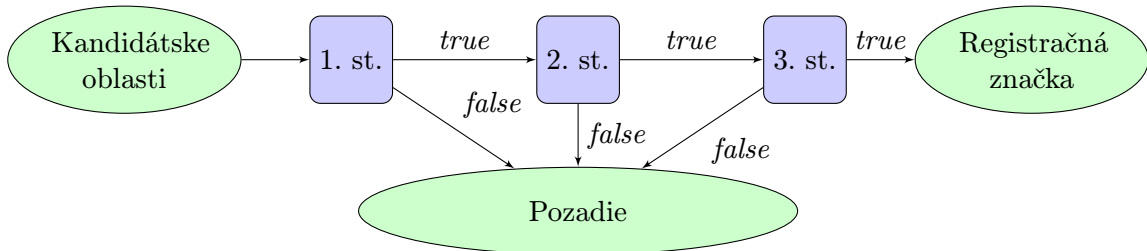
Obdobne postupujeme aj pri úprave hornej a dolnej hrany. Rozsah tu ale nesiahna smerom dovnútra oblasti, keďže v drvivej väčšine prípadov je potrebné kandidátsku oblasť vo vertikál-

nom smere zväčšiť. Pri prechode rozsahom po riadkoch ukladáme y-súradnicu a nový okraj nadobudne hodnotu y-súradnice najvnútornejšieho riadku s maximálnym počtom čiernych pixelov.

Výber najvnútornejších riadkov, respektíve stĺpcov zaručuje, že aj v prípade mierneho natočenia značky bude táto súčasťou detekovanej oblasti celá.

2.4 Výber oblastí pomocou kaskádového klasifikátora

Manipulácia s kandidátskymi oblasťami je týmto ukončená, ostáva rozhodnúť, ktoré oblasti obsahujú registračnú značku a ktoré nie. Na to využijeme trojvrstvový kaskádový klasifikátor využívajúci štatistické vlastnosti. Kaskády klasifikátora sú zoradené od najvšeobecnejšej po najšpecifickejšiu a po každom stupni sa vyradia oblasti nevyhovujúce danému klasifikátoru. V ideálnom prípade na konci ostanú len oblasti obsahujúce registračné značky. Diagram zobrazujúci priebeh kaskádovým klasifikátorom je zobrazený na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Schéma priechodu kaskádovým klasifikátorom

Klasifikácia prebieha nad binárnym obrazom. Z neho sú extrahované 3 požadované vlastnosti, ktoré sú špecifické pre oblasť s registračnou značkou.

2.4.1 Prvý stupeň klasifikátora

Najvšeobecnejšou vlastnosťou je podiel bielych pixelov binárneho obrazu v kandidátnej oblasti. Preto je tento klasifikátor zaradený na prvom mieste. Tento podiel označíme ako D a vypočítame podľa vzorca 2.4, kde N je celkový počet pixelov v oblasti a $D_V(i, j)$ je binárna hodnota pixelu s indexami i a j .

$$D = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j D_V(i, j) \quad (2.4)$$

Ak hodnota D spadá do určitého intervalu, kandidátska oblasť je vyhodnotená ako registračná značka a je posunutá do druhého stupňa klasifikátora. V opačnom prípade sa kandidátska oblasť odstráni.

2.4.2 Druhý stupeň klasifikátora

V poradí druhá fáza klasifikátora je založená na skutočnosti, že v oblasti obsahujúcej registračnú značku sa v horizontálnom smere pravidelne striedajú biele a čierne oblasti binárneho obrazu. Kandidátska oblasť sa prechádza riadok po riadku, a ak v danom riadku počet zmien z bielej na čiernu a naopak spadá do určitého počtu, táto skutočnosť sa zaznamená. Ak

je počet riadkov s vyhovujúcim počtom striedaní vyšší ako medzná hodnota, oblasť je vyhodnotená ako obsahujúca registračnú značku a putuje do posledného stupňa klasifikátora. V opačnom prípade sa odstráni.

2.4.3 Tretí stupeň klasifikátora

Poslednou a zároveň najšpecifickejšou vlastnosťou oblastí binárneho obrazu obsahujúcich registračnú značku je výskyt súvislých bielych stĺpcov. Tieto sa nachádzajú najmä medzi jednotlivými znakmi registračnej značky a na jej okrajoch.

Kandidátska oblasť sa prechádza po stĺpcoch a zaznamenáva sa počet stĺpcov, ktoré majú dlhý súvislý sled bielych pixelov. Ak podiel takýchto stĺpcov spadá do istého rozmedzia, oblasť je prehlásená za registračnú značku a detekcia je týmto ukončená.

Kapitola 3

Implementácia programu

Táto kapitola sa venuje podrobnejším informáciám o vyvíjanom systéme a implementačným detailom. Je opäť delená podľa jednotlivých fáz postupu navrhnutým algoritmom.

3.1 Použité jazyky a knižnice

Pre implementáciu som zvolil programovací jazyk C++ a knižnicu OpenCV (Open Source Computer Vision). Výsledným produktom je desktopová aplikácia ovládaná z príkazového riadku, primárne určená pre OS Linux, avšak vďaka multiplatformnosti použitej knižnice nič nebráni v preklade a spustení pod OS Windows. Preklad prebieha pomocou GNU Make a `pkg-config`. Pre úspešný preklad a beh programu je nutné mať nainštalovanú knižnicu OpenCV minimálne vo verzii 2.3.1. Výstupom aplikácie je grafické znázornenie detekovaných oblastí s registračnou značkou a takisto textová reprezentácia ich súradníc vypísaná na štandardný výstup.

Knižnica OpenCV poskytuje výborný základ pre rôzne úlohy v oblasti spracovania obrazu a počítačového videnia. Obsahuje množstvo užitočných funkcií, ktoré značne uľahčia a urýchlia vývoj takto zameraných aplikácií. Základnou oporou pri práci s OpenCV mi bola publikácia [6].

3.2 Fáza predspracovania obrazu

Program pre urýchlenie detekcie pracuje so snímkami v rozlíšení 640 x 480 pixelov. Toto obmedzenie rozlíšenia nie je nijak veľmi zásadné, väčšina v súčasnosti používaných monitorovacích kamier v doprave nemá omnoho vyššie rozlíšenie. Ak má vstupný obrázok väčšiu šírku ako 640 pixelov, je na túto šírku zmenšený, pričom pomer strán ostane zachovaný.

Algoritmus použitý na zvýšenie kontrastu má isté obmedzenie, a to také, že obidva rozmery spracovávaného obrazu musia byť bezo zvyšku deliteľné ôsmimi. Preto ak po zmenšení nastane situácia, že výška obrázku nebude túto podmienku spĺňať, prebytočné pixely sa jednoducho orežú.

Obraz s príslušne upravenými rozmermi sa následne konvertuje do odtieňov sivej pomocou funkcie `cvCvtColor` s parametrom `CV_BGR2GRAY`. Kontrast čiernobieleho obrazu je zvýšený pomocou algoritmu Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization [14]. Funkcia vykonávajúca samotnú ekvalizáciu je celá prevzatá z [10] a pre nekomerčné účely je voľne dostupná. Rozhranie medzi dátovými štruktúrami používanými knižnicou OpenCV tvorí funkcia `cvCLADEqualize`. Za zmienku stoja najmä jej parametre `xdivs` a `ydivs`,

ktoré určujú počty buniek po rozdelení v horizontálnom, respektíve vertikálnom smere a vytvárajú spomenuté obmedzenia rozmerov vstupného obrazu.

Experimentovaním som prišiel na ideálne hodnoty parametrov, aby bol kontrast zvýšený v rozumnej miere a vyhovoval ďalšiemu spracovaniu. Hodnoty parametrov $xdivs$ a $ydivs$ som zhodne nastavil na hodnotu 8. Parameter $bins$ definujúci počet intervalov histogramu sa ustálil na hodnote 64. Obrazový výstup tejto prvej fázy algoritmu porovnaný s originálom je na obrázku 3.2.



Obrázek 3.1: Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization

3.3 Fáza detekcie a zhlukovania rohových bodov

Pre detekciu rohových bodov použitý Harrisov detektor v sebe obsahuje knižnica OpenCV, konkrétne sa jedná o funkciu `cvGoodFeaturesToTrack`. Táto funkcia pri štandardnom použití detekuje rohové body pomocou Shi-Tomasi detektora. Uvažoval som aj o jeho použití, no ukázal sa pre danú úlohu menej vhodný a takisto mierne predlžoval dobu behu programu. Harrisov detektor sa dá vynútiť predposledným parametrom tejto funkcie.

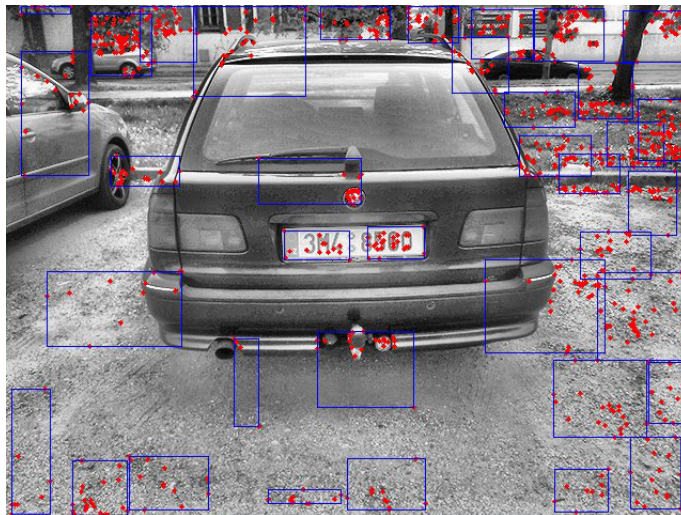
Počet bodov, ktoré majú byť detekované sa ustálil na hodnote 800. Nižšie hodnoty boli pomerne nevyhovujúce, pretože body boli detekované redšie. Vyššie hodnoty zase zbytočne predlžovali beh celého programu, táto hodnota sa ukázala ako vhodný kompromis. Minimálna vzdialenosť medzi dvoma bodmi je nastavená na hodnotu 2 aby sa zvýšila hustota blízkych bodov a úroveň kvality má po experimentovaní hodnotu 0,01.

Funkcia obstarávajúca zhlukovanie detekovaných bodov je prevzatá z [8]. Pre nekomerčné použitie je jej zdrojový kód voľne dostupný. Keďže jej činnosť má presne definovaný tvar vstupov a výstupov, bolo nutné jej výstup prispôbiť pre potreby vyvíjaného programu.

Prvým vstupom tohoto zhlukovacieho algoritmu je vektor obsahujúci indexy dvojíc bodov a negatívne euklidovské vzdialenosti medzi jednotlivými bodmi usporiadané vzostupne podľa ich indexov. Dvojice tvorené tým istým bodom sú vynechané. Druhým vstupom je medián vypočítaný z hodnôt vzdialeností tohoto vektora.

Výstupom zhlukovacej funkcie je vektor, ktorého veľkosť sa rovná počtu detekovaných bodov. Jednotlivé hodnoty jeho položiek určujú index bodu, ktorý tvorí stred zhluku pre príslušný bod. Takýto formát je pre ďalšie spracovanie nevyhovujúci a tak je nutné body zatriediť do zhlukov, aby sa s nimi jednoduchšie manipulovalo. Na to slúži pomocný vek-

tor na kopírovanie a opakované prechádzanie cyklom. Oddelené zhluky sú takto uložené do globálnej premennej typu `vector< vector<CvPoint2D32f> >`. Jedná sa prakticky o dvojrozmerné pole bodov v rovine. Namiesto klasického poľa známeho z jazyka C som uprednostnil použitie C++ kontajneru typu `vector`. Hlavným dôvodom bola podstatne jednoduchšia manipulácia s jeho prvkami.



Obrázek 3.2: Detekované rohové body s vyznačnými zhlukmi

Grafický výstup po ukončení tejto fázy algoritmu je zobrazený na obrázku 3.2. Červenou farbou sú vyznačené detekované body a modré obdĺžniky ohraničujú jednotlivé zhluky.

3.4 Fáza odstránenia okrajových bodov

Pre uskutočnenie tejto fázy je potrebné zistiť najmenší ohraničujúci obdĺžnik pre každý zhluk bodov. Na to slúži funkcia `findBoundingRect`, ktorej jediným parametrom je zhluk bodov. Funkcia vracia ohraničujúci obdĺžnik v premennej typu `CvRect`.

Z tohoto obdĺžnika sú následne vypočítané regióny popisované v predošlej kapitole. Kontrola príslušnosti bodov k jednotlivým regiónom je vykonávaná funkciou `inRect`, ktorá má 3 parametre. Prvými dvoma sú súradnice bodu, tretím je obdĺžnik typu `CvRect`, ktorý sa na prítomnosť bodu testuje. Funkcia je typu `bool` a vracia `true` v prípade, že bod s danými súradnicami leží vo vnútri štvoruholníka. V opačnom prípade je návratovou hodnotou `false`.

Algoritmus odstraňovania okrajových bodov ďalej prebieha spôsobom uvedeným v predošlej kapitole. Bolo pomerne zložité nájsť vhodné hodnoty koeficientu β a prahu M . Nakoniec sa po mnohých pokusoch ustálili na hodnotách $\beta = 1,4$ a $M = 2,5$. Odstraňovanie okrajových bodov však stále nie je úplne spoľahlivé a v niektorých prípadoch vynechá úplne osamotený bod ďaleko od zvyšku zhľuku.

Po tejto redukcii bodov jednotlivých zhľukov sa môže najmä u riedkych zhľukov stať, že v zhľuku ostane jediný bod. Preto je vhodné v tomto momente odstrániť zhľuky ktoré neobsahujú žiadny, alebo obsahujú len 1 bod.

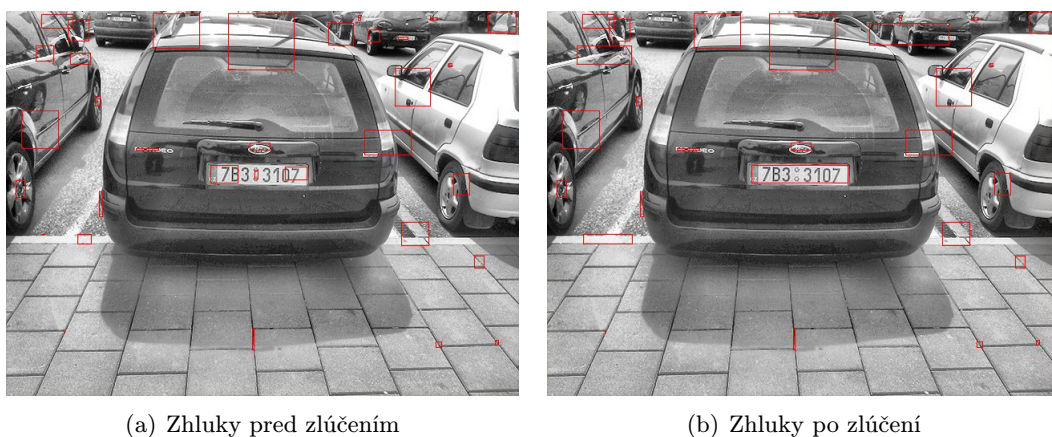
3.5 Fáza úpravy kandidátskych regiónov

Ďalšia úprava regiónov spočíva v zlúčení susedných zhlukov a modifikácii okrajov ohraničujúceho obdĺžnika podľa informácií z binárneho obrazu.

O spájanie susedných zhlukov sa stará rekurzívne volaná funkcia `mergeClusters()`. Táto prechádza po dvojiciach všetky zhluky a podľa kritérií uvedených vyššie rozhodne, či ich zlúči alebo nie. V jednom zavolaní funkcie sa stále spojí len jedna dvojica zhlukov. Funkcia následne volá sama seba, kým je ešte čo zlučovať.

Keďže program pracuje so snímkami s fixnou šírkou 640 pixelov, je možné kritériá pre zlučovanie zhlukov nastaviť absolútnymi hodnotami. Prah horizontálnej vzdialenosti medzi dvoma zhlukmi je nastavený na 50 pixelov. Ak sú dva zhluky od seba vzdialené menej ako je táto hodnota, majú šancu byť zlúčené, ak vyhovujú ďalším dvom kritériám.

Rozdiel medzi vertikálnymi súradnicami stredov zhlukov nesmie byť väčší ako 10 pixelov a zároveň rozdiel vo výške týchto zhlukov nesmie prekročiť 30 pixelov. Tieto hodnoty boli taktiež získané pomocou postupného experimentovania. Porovnanie pred a po spojení zhlukov predstavuje obrázok 3.5.



Obrázok 3.3: Spájanie susedných zhlukov

Po zlúčení vhodných zhlukov prejdeme v cykle všetky zhluky a odstránime tie, ktorých ohraničujúce obdĺžniky sú vyššie ako širšie a teda nemôžu predstavovať oblasť s registračnou značkou.

Pre ďalší postup potrebujeme skonvertovať obraz do binárnej formy. O to sa stará OpenCV funkciou `cvThreshold`. Hodnota prahu je vypočítaná automaticky Otsuho metódou a to špecifikovaním parametra `CV_THRESH_OTSU`. Hodnota parametra `maxValue` je nastavená na 255.

Zhluky sú prechádzané v cykle, pre každý z nich sa uloží minimálny ohraničujúci obdĺžnik do globálnej premennej typu `vector<CvRect>`. Táto premenná bude naďalej reprezentovať kandidátske oblasti, pretože informácie o presnej polohe bodov zhliuku už nebudú potrebné.

Detailný postup úpravy okrajov je popísaný v predošlej kapitole. Doplním len, že pre získanie hodnoty pixelu binárneho obrazu je použitá funkcia `cvGetReal2D`. Po ukončení úpravy okrajov je manipulácia s tvarom kandidátskych oblastí definitívne ukončená. Odstránenie na výšku orientovaných oblastí prebieha po tejto fáze ešte posledný raz.

3.6 Fáza klasifikácie

Kaskádový klasifikátor bol dostatočne popísaný v tretej kapitole, a tak len pre úplnosť uvádzam konečné hodnoty prahov pre jednotlivé stupne klasifikátora.

Pre prvý stupeň je hraničným kritériom 45 % bielych pixelov v kandidátskej oblasti. Regióny, ktoré majú podiel bielych pixelov nižší, budú vyradené.

V druhom stupni sa meria početnosť striedania sa bielych a čiernych pixelov na riadku. Za pozitívny riadok sa považuje taký, na ktorom sa hodnoty pixelov vystriedajú 10 až 25 krát. Ak je takýchto riadkov v regióne menej ako 55 %, bude tento vyradený.

Tretí stupeň nastavuje medze pre podiel súvislých bielych stĺpcov v oblasti. Ak región neobsahuje ich dostatočný počet, je vyradený.

Po prejdení všetkými stupňami klasifikátora sú zvyšné kandidátske oblasti prehlásené za registračné značky. Úspešne detekovaných a lokalizovaných značku znázorňuje obrázok 3.4.



Obrázek 3.4: Úspešne lokalizované registračné značky

Kapitola 4

Testovanie a vyhodnotenie úspešnosti

Testovanie algoritmu prebiehalo už počas jeho vývoja na dátovej sade menšieho rozsahu. Po dokončení prác na aplikácii bola táto sada značne rozšírená a nastala fáza doladovania vlastností navrhnutého algoritmu.

Testy prebiehali z časti automaticky pomocou porovnávania výstupov s anotovanou sadou a zároveň aj manuálnym kontrolovaním grafického výstupu programu.

4.1 Použité dátové sady

Na testovanie algoritmu som nasnímal fotoaparátom dátovú sadu o počte 797 snímkov. Tieto boli získané za rôznych svetelných podmienok (ostré slnko, tmavý tieň, odlesky v obraze a podobne) a boli medzi nimi rôznorodé druhy registračných značiek vrátane niekoľkých zahraničných. Podľa očakávaní má prevahu súčasný bežný formát registračnej značky vydaný v Českej republike.

Dátová sada fotografií nebola zameraná na otestovanie funkčnosti algoritmu pri rôzne natočených značkách, pretože som možnosť natočenia zavrhol už pri návrhu. Preto sú všetky fotografie nasnímané spredu, prípadne zozadu, kolmo na vozidlo. Niektoré fotografie boli zamerané aj na overenie schopnosti lokalizácie viacerých registračných značiek na jednom snímku.

Pôvodným zámerom bolo rozšíriť dátovú sadu aj o videozáznam z vozidlovej kamery. Získaný záznam však bol málo kvalitný na to, aby sa implementovaný algoritmus naň dal úspešne aplikovať. Videozáznam mal síce dostatočné rozlíšenie, no zníženie kvality bolo spôsobené prevažne rozmazaným obrazom. Tento neostrý obraz bol spôsobený pohybom vozidla po nerovnostiach vozovky. Miestami sa objavovalo aj zvláštne horizontálne rozostrenie pripomínajúce prekladaný obraz (obr. 4.1). Akonáhle vozidlo s kamerou zastavilo napríklad na križovatke, video bolo dostatočne ostré. Takýchto statických okamihov však bolo málo na zostrojenie vhodnej dátovej sady. Preto som od využitia videozáznamu nakoniec úplne upustil.

4.2 Vyhodnotenie

Cieľom testovania bolo vyhodnotiť úspešnosť detekcie registračných značiek navrhnutým algoritmom. Testovanie prebiehalo viacerými opakovanými experimentami nad celou dá-



Obrázek 4.1: Statický snímok z videozáznamu rozostrený pohybom vozidla

tovou sadou. Medzi nimi prebiehali úpravy algoritmu, prevažne ladenie klasifikátora, aby sa úspešnosť finálneho produktu maximalizovala.

Pri väčšom počte snímok v dátovej sade by bolo vhodné túto rozdeliť podľa určitých spoločných črt zachytenej scény, ako sú napríklad prudké svetlo, nočné fotografie s bleskom, zložité pozadie obsahujúce množstvo trávy, prípadne znečistené značky. Získaná dátová sada je na toto rozdelenie podľa môjho názoru príliš malá. Jednotlivé vzniknuté kategórie by nemali dostatok snímok a štatistická výpovedná hodnota by bola skreslená.

Za správne detekovanú značku som považoval oblasť, ktorá obsahovala väčšinový fragment registračnej značky, nemuselo sa teda jednať o oblasť zahŕňajúcu celú tabuľku s registračnou značkou. Pri určovaní úspešnosti detekčného algoritmu je podobne dôležitým kritériom ako počet značiek, ktoré neboli detekované, miera výskytu tzv. false alarms. Jedná sa v tomto prípade o oblasti, ktoré boli prehlásené za registračnú značku, no neobsahujú ju.



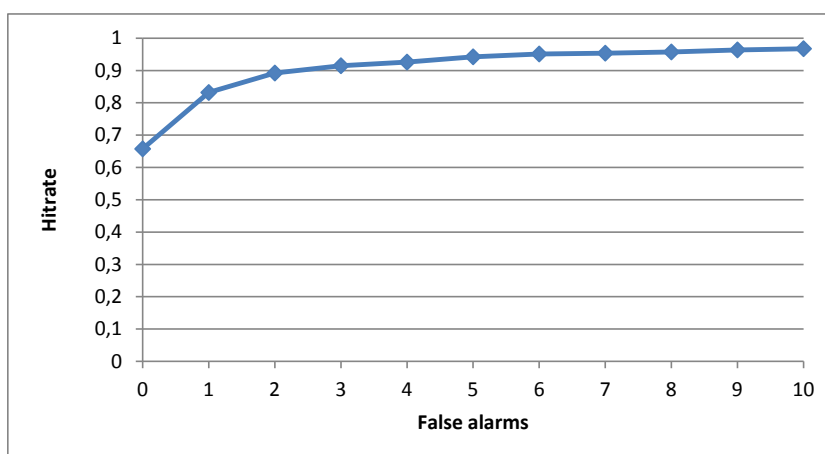
Obrázek 4.2: Kandidátska oblasť s nesprávne odstránenými okrajovými bodmi

Pri experimentovaní a vyhodnocovaní som prišiel na časť algoritmu, ktorá je najcitlivejšia na zlyhanie. Jedná sa o odstraňovanie okrajových bodov zhlukov. Nájdené zclu-

ky sú často pomerne roztrúsené do plochy a táto modifikácia ich má urobiť kompaktnejšími. Prezentovaný algoritmus však niektoré okrajové body nepovažuje za dostatočne vzdialené a tak ich neodstráni. Tohoto nedostatku som sa nedokázal zbaviť. Bez odstránenia prebytočných okrajových bodov obsahuje výsledná kandidátska oblasť okrem registračnej značky aj časti pozadia mimo nej. Následne v ďalších fázach zlyháva klasifikácia takejto zle ohraničenej oblasti a značka nie je rozpoznaná. Vznik takejto situácie je demonštrovaný na obrázku 4.2.

Finálna verzia algoritmu dosiahla celkovú úspešnosť 65,75 % pri 524 správne detekovaných značkách z celkového počtu 797. Je nutné podotknúť, že táto úspešnosť je dosiahnutá pri nulovom výskyte falošných detekcií (false alarms). Ak pripustíme istú mieru falošne detekovaných oblastí a nastavíme teda klasifikátor benevolentnejšie, miera lokalizácií vyhodnotených ako úspešné začne stúpať. Niektoré oblasti s registračnou značkou však neboli detekované vôbec.

Na vyhodnocovanie detekčných algoritmov sa spravidla používa tzv. ROC krivka. Táto berie do úvahy okrem miery úspešne detekovaných oblastí (hitrate) aj počet falošných detekcií. Hodnotenie úspešnosti algoritmu je tak prehľadnejšie a úplnejšie. Ideálna krivka so 100% úspešnosťou aj pri nulovom výskyte false alarmov kopíruje hornú hranu grafu. Obrázok 4.3 znázorňuje ROC krivku zodpovedajúcu implementovanému systému.



Obrázok 4.3: ROC krivka implementovaného systému

Kapitola 5

Možné rozšírenia a pokračovanie vývoja projektu

Navrhnutý produkt je možné ďalej rozvíjať a vylepšovať v rôznych ohľadoch. Či už sa jedná o zdokonalenie súčasnej funkcionality, alebo pridávanie novej, nadväzujúcej na súčasný stav.

5.1 Rozpoznanie textu lokalizovanej registračnej značky

Samotná detekcia a lokalizácia registračnej značky v obraze bez rozpoznania jej textu má pomerne obmedzené uplatnenie v praxi. Práve preto je rozpoznanie textu najzásadnejším rozšírením funkcionality. Buď by sa jednalo o priame rozšírenie implementovaného programu, alebo by bolo rozpoznanie riešené ako samostatný modul, ktorý by zdieľal nejaké určené rozhranie.

5.2 Zvýšenie úspešnosti detekcie

Pri dosiahnutých výsledkoch úspešnosti lokalizácie je stále priestor tieto ešte vylepšiť. Úspešnosť detekcie s hodnotou 100 % sa zrejme bez nárastu tzv. false positives za rôznorodých svetelných podmienok nedá docieľiť.

K zvýšeniu úspešnosti by mohli viesť niektoré drobné zmeny v návrhu. Ide najmä o vylepšenie algoritmu pre eliminovanie okrajových bodov v zhluku, ktorý má aj pri vhodne vyladených parametroch stále medzery. Dobrý vplyv na podiel úspešných detekcií by mala aj úprava kaskádového klasifikátora, najmä zväčšenie počtu jeho fáz a ich vhodné odstupňovanie. Najst ďalšie vhodné charakteristiky oblastí s registračnými značkami, na základe ktorých by bolo možné kandidátske oblasti klasifikovať však nie je jednoduchá úloha.

V neposlednom rade by na úspešnosť priaznivo pôsobilo navýšenie počtu detekovaných rohových bodov. Toto by však malo neblahý vplyv na rýchlosť algoritmu, ktorá už v súčasnom stave nie je nijako závratná. V konečnom dôsledku by takáto nevyváženosť mohla viac škodiť ako pomáhať, najmä pri dávkovom spracovaní množstva dát.

5.3 Optimalizácia

V momentálnom stave trvá beh aplikácie podľa zložitosti scény v priemere okolo troch sekúnd. Tento čas je neprimerane dlhý. Použité algoritmy síce patria medzi výpočtovo

a časovo náročnejšie, no stále si myslím, že priestor na skrátenie doby detekcie tu stále je. Nepomýšľam síce na možnosti plnohodnotnej detekcie v reálnom čase, stlačenie doby detekcie pod jednu sekundu by však umožnilo načítať na vstup videozáznam a detekovať jeho obraz aspoň v časovom intervale jednej sekundy. Tento interval je pre bežné účely úplne postačujúci.

5.4 Detekcia natočenej značky

Ako vstup programu som predpokladal scény, kde je vozidlo s registračnou značkou zosnímané priamo z prednej alebo zadnej časti ako tomu býva na záznamoch z vozidlovej kamery, prípadne statickej kamery snímajúcej jazdný pruh. V tomto prípade netreba uvažovať rotáciu značky prakticky po žiadnej z osí. Ak by však táto metóda dokázala detekovať a presne lokalizovať aj rôzne natočené značky, pridalo by jej to na robustnosti a všestrannosti.

5.5 Rozšírenie na ďalšie druhy registračných značiek

Implementovaná metóda je pomerne univerzálna a nemá problém okrem bežných tvarov českých a slovenských registračných značiek detekovať aj značky iných krajín, pokiaľ nie sú priveľmi odlišné. Ďalšie z možných rozšírení by mohlo spočívať v tom, že by program dokázal detekovať aj značky, ktoré sú vyvedené na úkor čitateľnosti v menej bežných farbách a tvaroch, často s chabým kontrastom. Takéto globálne riešenie je však podľa môjho názoru vhodnejšie nahradiť viacerými špecializovanými detekčnými systémami.

Kapitola 6

Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo zoznámiť sa s algoritmami pre detekciu registračnej značky v obraze a takisto navrhnúť a implementovať systém, ktorý ich dokáže v obraze lokalizovať. Preštudoval som niekoľko odborných článkov prezentujúcich tieto algoritmy a zvolil som jeden, z ktorého môj návrh vychádza. Nasledovalo bližšie štúdium algoritmov používaných pri detekcii objektov v obraze a legislatívnych noriem upravujúcich vzťah registračných značiek. Stanovil som si aj podmienky na tvar a orientáciu značky v obraze pre uľahčenie implementácie.

Na základe zistených poznatkov som implementoval systém, ktorý detekuje a lokalizuje registračné značky vo fotografii so snahou o najlepší možný výsledok. Používa pri tom detekciu rohových bodov a ich zhlukovanie. Úspešne dokáže detekovať prinaajmenšom české a slovenské registračné značky rôznych formátov.

Na otestovanie systému som nazbieral dátovú sadu obsahujúcu testovacie snímky v rôznych podmienkach. Nad touto sadou som vykonal experimenty, ktorých cieľom bolo maximalizovať úspešnosť detekcie. Výsledky testovania systému sú súčasťou tejto práce. Dátová sada je znovupoužiteľná pre ďalšie obdobné detekčné úlohy a v budúcnosti ju plánujem pre vlastné potreby ešte rozšíriť.

Pri experimentovaní sa objavili niektoré nedostatky, ktoré mierne znižujú úspešnosť implementovaného systému. Tieto môžu byť predmetom ďalšieho rozvoja práce. Celkovo však hodnotím výsledný systém ako pomerne úspešný a splňujúci zadanie. Záverom navrhujem aj niektoré ďalšie možné rozšírenia úpravy k lepšiemu.

Práca mi bola jednoznačným prínosom a zaujala ma. Vďaka nej som získal širšie povedomie o algoritmoch používaných na detekciu objektov v obraze a počas tvorby programu som do tejto oblasti prenikol hlbšie aj z praktickej stránky.

Zoznam príloh

- **Príloha A** Obsah CD
- **Príloha B** Manuál k programu

Literatura

- [1] Vyhláška č. 243/2001 Sb., o registraci vozidel. §15 – §24.
- [2] Vyhláška č. 9/2009 Z.z., ktorou sa vykonáva zákon o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov. §35 – §37.
- [3] Zákon č. 8/2009 Z.z., o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Čl. 6: Evidencia vozidiel, evidovanie vozidiel a evidenčné čísla.
- [4] *EČV Maximá [online]*. [cit. 2012-05-14]. Dostupné na: <http://www.stofi.eu/ecv_maxima/>.
- [5] ANAGNOSTOPOULOS, C.-N., ANAGNOSTOPOULOS, I., PSOROULAS, I. et al. License Plate Recognition From Still Images and Video Sequences: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2008, roč. 9, č. 3. S. 377–391.
- [6] BRADSKI, G. a KAEHLER, A. *Learning OpenCV: computer vision with the OpenCV library*. [b.m.]: O'Reilly, 2008. O'Reilly Series. ISBN 978-0-596-51613-0.
- [7] FEUEREISL, D. *Poznávací značky automobilů v Českých zemích [online]*. 2011-08-15 [cit. 2012-05-14]. Dostupné na: <http://www.feudal.cz/spz/html/uvodni_strana.htm>.
- [8] FREY, B. J. *Affinity Propagation [online]*. 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné na: <www.psi.toronto.edu/affinitypropagation/>.
- [9] FREY, B. J. a DUECK, D. Clustering by passing messages between data points. *Science*. 2007, roč. 315. S. 972 – 977.
- [10] HAINES, E. *Graphics Gems, by Book [online]*. 2001-06-12 [cit. 2012-05-14]. Dostupné na: <<http://tog.acm.org/resources/GraphicsGems/gems.html#gemsiv>>.
- [11] HARRIS, C. a STEPHENS, M. A Combined Corner and Edge Detector. In *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*. 1988. S. 147 – 151.
- [12] LUO, J., YANG, S., GUAN, R. et al. A Robust Method for License Plate Detection. In *Image and Video Technology (PSIVT), 2010 Fourth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*. November 2010. S. 133 – 138.
- [13] SINHA, U. *Harris Corner Detector [online]*. 2010-04-26 [cit. 2012-05-14]. Dostupné na: <<http://www.aishack.in/2010/04/harris-corner-detector/>>.
- [14] ZUIDERVELD, K. Contrast limited adaptive histogram equalization. In HECKBERT, P. S. (ed.). *Graphics gems IV*. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc., 1994. S. 474 – 485. ISBN 0-12-336155-9.

Příloha A

Obsah CD

- Zdrojové kódy programu vrátane Makefile v adresári `/src/`
- Táto práca vo formáte pdf v adresári `/sprava/`
- Zdrojové súbory tohoto dokumentu v systéme \LaTeX v adresári `/sprava/latex/`
- Ukážku testovacích dát aj s výsledkami detekcie v adresári `/examples/`
- Plagát prezentujúci túto prácu vo formáte pdf v adresári `/plagat/`

Příloha B

Manuál k programu

Implementovaný program je konzolovou aplikáciou a ovláda sa parametrami príkazového riadku. Určený je primárne pre OS Linux. Pre úspešné preloženie a spustenie aplikácie je nutné mať na počítači nainštalovanú knižnicu OpenCV vo verzii 2.3.1. alebo vyššej. Pre preklad sa používa `pkg-config`.

Program očakáva minimálne jeden povinný parameter príkazového riadku. Je ním cesta k vstupnému súboru určenému pre detekciu. Podporovaná je väčšina bežných formátov, preferovaným je však formát JPEG. Ak je program spustený len s týmto jedným parametrom, výstup prebehnutej detekcie sa zobrazí v okne. Lokalizované oblasti sú vyznačené červenými obdĺžnikmi a na štandardný výstup sa vypíšu ich súradnice. Program potom čaká na stlačenie ľubovoľnej klávesy, následne sa ukončí.

Za povinným parametrom môže nasledovať nepovinný parameter `-s`. Ktorý slúži na voľbu uloženia výsledku detekcie do súboru. Ak za ním nenasleduje meno cieľového súboru, použije sa názov vstupného súboru s príponou `_out`. Cieľový súbor obsahujúci grafický výstup lokalizácie sa uloží. V tomto prípade sa nezobrazuje žiadne okno. Pri spustení programu bez parametrov sa vypíše nápoveda o spôsobe jeho použitia.