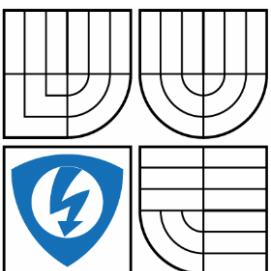


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

METODY STROJOVÉHO VIDĚNÍ PRO ROZPOZNÁVÁNÍ DOPRAVNÍHO ZNAČENÍ

MACHINE VISION METHODS FOR TRAFFIC SIGNS RECOGNITION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

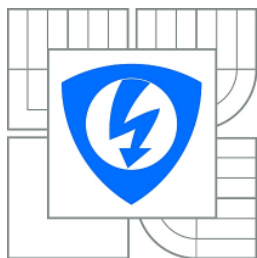
Bc. Michal Zátopek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Horák, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Michal Zátopek

ID: 136598

Ročník: 2

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Metody strojového vidění pro rozpoznání dopravního značení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Diplomová práce se zabývá problematikou zpracování obrazu se zaměřením na detekci dopravního značení z interiérové kamery vozidla:

1. Nastudujte state-of-the-art uvedeného tématu
2. Pořídte vlastní galerii dopravních značek nejméně o 1000 snímcích.
3. Navrhněte a implementujte několik různých algoritmů pro detekci a rozpoznání dopravního značení tak, aby alespoň jeden z nich dosahoval srovnatelné kvality s používanými systémy.
4. Proveďte srovnání vlastních metod s již používanými ve světě nad vlastní i volně dostupnými galeriemi a proveďte zevrubné hodnocení a porovnání všech navržených metod.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] RUSS, J.C. The Image Processing Handbook. Boca Raton : CRC Press, 1995. 674 p. ISBN 0-8493-2516-1.

[2] SONKA, Milan, HLAVAC, Vaclav, BOYLE, Roger. Image Processing, Analysis and Machine Vision. 3rd edition. Toronto : Thomson, 2008. 829 p. ISBN 978-0-495-08252-1.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 18.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Karel Horák, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou strojového vidění v oblasti rozpoznávání dopravního značení. Nejprve se věnuje strojovému vidění v obecných dopravních situacích. Současně s dopravními aplikacemi je pozornost také věnována možnému autonomnímu vozidlu a aplikacím pro rozpoznávání dopravního značení.

Hlavní část práce je věnována popsání a implementaci několika metod pro barevnou a tvarovou lokalizaci dopravního značení ve scéně a identifikačním algoritmům. Kromě samotné implementace jsou tyto algoritmy podrobeny také několika experimentům na zhodnocení jejich úspěšnosti. Součástí této práce je také galerie snímků s dopravním značením včetně souboru s popisnou anotací pro automatické testování algoritmů.

Klíčová slova

doprava, strojové vidění, lokalizace, detekce, identifikace, dopravní značení

Abstract

This diploma thesis is dealing with an issue of machine vision in the field of traffic signs recognition. The first part is devoted to machine vision in general traffic situations. Together with traffic applications there is paid attention to a possible autonomous vehicle and applications for the traffic signs recognition.

The main part of this work is devoted to a description and an implementation of several methods for colour and pattern localisation of traffic signs in the scene and to identification algorithms. Apart from the implementation itself, these algorithms are submitted to several experiments for a valorisation of their success. The thesis also includes a gallery of images with traffic signs including a file with descriptive annotation for an automatic testing of algorithms.

Keywords

transportation, machine vision, localization, detection, identification, traffic signs

Bibliografická citace:

ZÁTOPEK, M.. *Metody strojového vidění pro rozpoznávání dopravního značení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 113s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Karel Horák, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Metody strojového vidění pro rozpoznávání dopravního značení jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **18. května 2015**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Horákovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **18. května 2015**

.....

podpis autora

Obsah

1 Úvod	9
2 Dopravní aplikace	10
2.1 <i>Aplikace se stacionární kamerou</i>	<i>10</i>
2.1.1 Zjištění a upozornění na problematickou situaci.....	10
2.1.2 Kontrola dodržování dopravních předpisů	10
2.2 <i>Aplikace s kamerou umístěnou na vozidle</i>	<i>11</i>
2.3 <i>Autonomní vozidlo</i>	<i>12</i>
2.3.1 Řízení automobilu.....	13
2.3.2 Podpůrné systémy pro řízení.....	14
2.3.3 Problémy k vyřešení pro autonomní řízení	15
2.4 <i>Rozpoznávání dopravního značení</i>	<i>16</i>
2.4.2 Lokalizace oblastí s dopravním značením.....	17
2.4.3 Identifikace dopravního značení	20
3 Galerie vstupních snímků	22
3.1 <i>Vlastní galerie</i>	<i>22</i>
3.1.1 Popis vytvořené galerie	23
3.1.2 Specifické snímky v galerii	25
3.1.3 Tvorba a kontrola anotace	25
3.2 <i>Převzaté galerie</i>	<i>28</i>
3.2.1 Německé galerie dopravních značek.....	28
3.2.2 Švédská galerie dopravních značek	30
3.2.3 Americká galerie dopravních značek.....	32
4 Implementace metod	34
4.1 <i>Předzpracování</i>	<i>35</i>
4.2 <i>Barevná lokalizace</i>	<i>36</i>
4.2.1 Prahové metody	37
4.2.2 Lokalizace pomocí dominantního kanálu v RGB a CMY	38
4.2.3 Poměrová lokalizace v RGB a CMY	40
4.2.4 Prahová lokalizace v HSV	41
4.2.5 Prahová lokalizace v HSL.....	43

4.2.6	Neuronová síť typu RCE.....	45
4.3	<i>Redukce počtu nalezených oblastí</i>	52
4.4	<i>Tvarová lokalizace</i>	53
4.4.1	Lokalizace pomocí Houghovy transformace.....	54
4.4.2	Lokalizace pomocí vlastností regionů.....	57
4.5	<i>Normalizace nalezených oblastí</i>	59
4.6	<i>Identifikace</i>	61
4.6.1	Popis významných oblastí.....	62
4.6.2	Metoda vizuálních slov	63
5	Experimenty	67
5.1	<i>Experimenty s lokalizací</i>	67
5.1.1	Existence objektů po barevné lokalizaci.....	67
5.1.2	Vliv uzavírání objektů	69
5.1.3	Porovnání tvarových lokalizací	70
5.1.4	Vliv vstupních snímků	71
5.1.5	Shrnutí a hodnocení experimentů s lokalizací.....	71
5.2	<i>Experimenty s identifikací</i>	72
5.2.1	Experiment identifikace bez známého typu značky	72
5.2.2	Experiment identifikace se známým typem značky	74
5.2.3	Shrnutí a hodnocení experimentů s identifikací.....	75
6	Závěr	76

1 ÚVOD

Strojové vidění našlo uplatnění již v mnoha oborech lidské činnosti. Nejznatelnější a největší počet aplikací v dnešní době můžeme nalézt v průmyslu. Další možný směr rozvoje strojového vidění jsou dopravní aplikace. Tento druh aplikací je typický proměnlivými okolními podmínkami a algoritmy musí být výrazně robustnější. Ovšem můžeme zde nalézt mnoho objektů pro detekci, které podléhají jistému druhu normování pomocí legislativy (svislé dopravní značení, vodorovné dopravní značení, SPZ, barvy světel). Díky tomuto normování mají algoritmy pevné body, o které se mohou opřít.

Díky tomuto pronikání strojového vidění do dopravních aplikací jsou již dnes k dispozici nejrozumnější aplikace pro podporu řidiče (parkovací asistent, čtení rychlostního značení) nebo aplikace pro řízení a hlídání provozu (lokalizace stojícího vozidla, měření rychlosti a kontrola průjezdu na červenou). Další možnosti aplikací směřují zejména k plné automatizaci řízení vozidla. Zde je ovšem potřeba zajistit vysokou robustnost systému a tím také bezpečnost na silnicích, která je prioritní.

Tato práce se zabývá metodami strojového vidění pro detekci a následnou identifikaci dopravních značek. V první části jsou rozebrány aplikace strojového vidění v dopravních aplikacích obecně. Ty jsou dále rozděleny do dvou skupin, a to do aplikací se stacionární kamerou a aplikací s kamerou umístěnou na vozidle. Tato část se také věnuje možnému autonomnímu vozidlu a aplikacím pro rozpoznávání dopravního značení.

Další část práce se zabývá galeriemi vstupních snímků. V rámci této práce byla vytvořena vlastní galerie včetně souboru s anotacemi pro využití k automatizovanému testování. Kromě vlastní galerie byly využity také galerie převzaté z jiných zdrojů. Ty jsou zde popsány a rozebrány.

Hlavní částí práce byla implementace algoritmů pro detekci dopravního značení. Detekce dopravního značení je složená z několika dílčích částí, které jsou zde samostatně popsány. Pro vlastní implementaci algoritmů bylo použito prostředí Matlab.

Poslední část práce je věnována experimentům s naimplementovanými algoritmy. Tyto experimenty jsou rozděleny do dvou samostatných částí. Experimenty s lokalizací dopravní značky ve snímku a experimenty s identifikací.

2 DOPRAVNÍ APLIKACE

Dopravní aplikace strojového vidění můžeme rozdělit do dvou samostatných skupin: dopravní aplikace využívající stacionární kameru umístěnou poblíž vozovky a dopravní aplikace s kamerou umístěnou na vozidle.

2.1 Aplikace se stacionární kamerou

Tyto aplikace využívají pevně umístěnou kameru u vozovky a mohou plnit několik funkcí:

1. Zjištění a upozornění na problematickou situaci
2. Kontrola dodržování dopravních předpisů

2.1.1 Zjištění a upozornění na problematickou situaci

Zde patří systémy, které jsou schopny detekovat překážku nebo jinou výjimečnou situaci na vozovce. Může se jednat například o kolizi automobilů, odstavené nebo pomalu jedoucí vozidlo. Systém by měl být schopný o situaci okamžitě informovat dispečink, který může zajistit další kroky. V případě nehody se tak může výrazně zvýšit rychlost vyslání záchranných složek a pomocí proměnného dopravního značení lze omezit riziko dalších kolizí. V případě lokalizace pomalu jedoucích vozidel se může jednat o vznik kolony, na kterou lze také reagovat změnou proměnného dopravního značení.

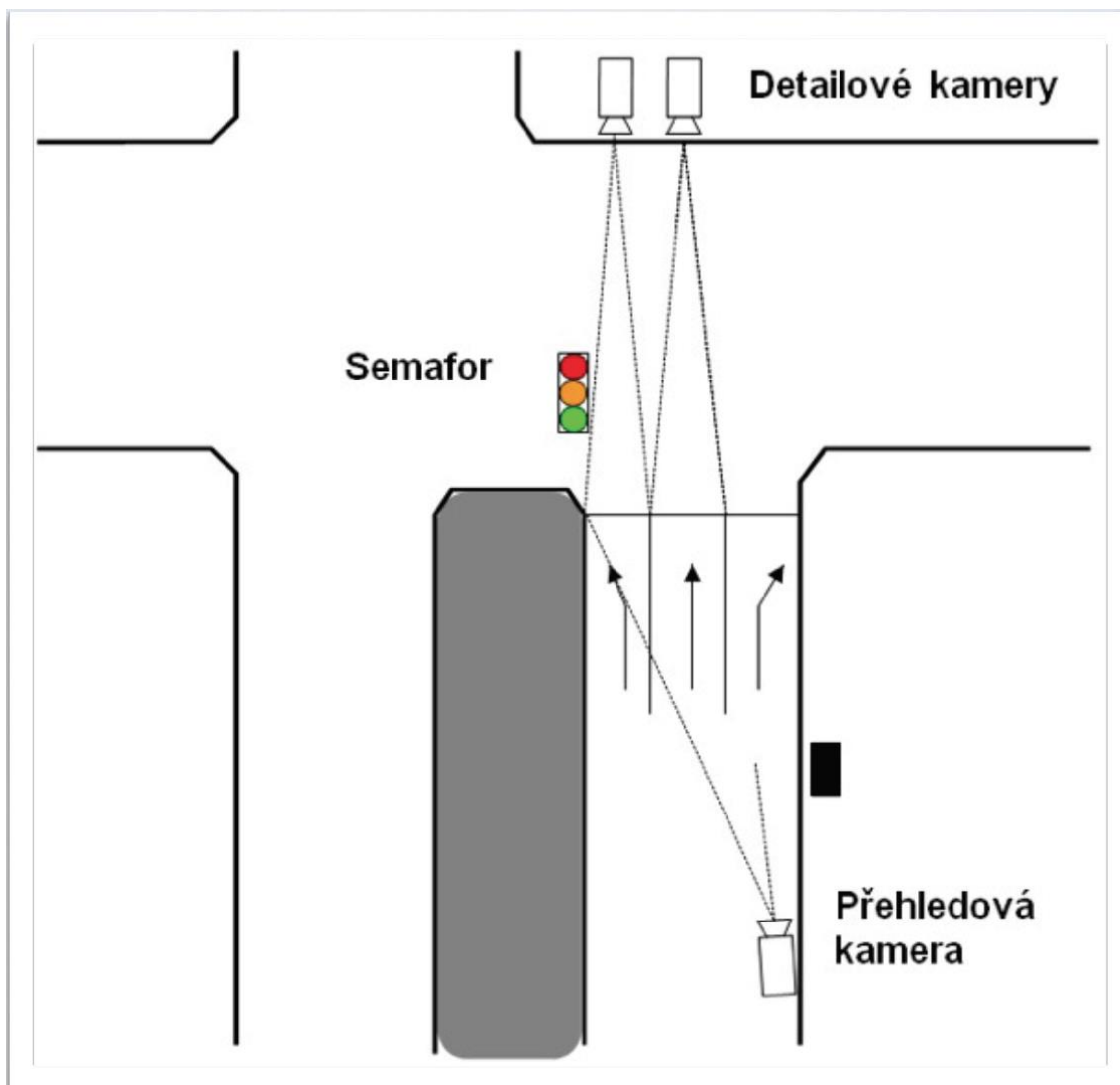
2.1.2 Kontrola dodržování dopravních předpisů

Tyto systémy se využívají ke zjišťování a záznamu přestupků na silnicích v krizových místech. Jedná se zejména o systémy lokalizace průjezdu křižovatky na červenou a měření rychlosti vozidel. Z důvodu možného následného trestného řízení s řidičem je potřeba, aby snímky byly průkazné. Proto jsou snímky opatřeny časovým razítkem a jsou pořizovány z více směrů zároveň.

V případě lokalizace průjezdu na červenou se pořizují zpravidla tři snímky. Jeden se pořídí ještě před vjezdem do křižovatky, kde je vidět vozidlo a samotný semafor. Další se pořídí v momentě, kdy se vozidlo již nachází v křižovatce. Třetí snímek je poté pořízen zepředu, aby bylo možné identifikovat řidiče (možná aplikace viz Obrázek 2.1).

V případě měření rychlosti se může kamera použít v kombinaci s rychlostním radarem. Kamera zde slouží k účelu pořízení důkazného materiálu (s časovým razítkem a informací o rychlosti) a automatizovanému rozpoznání registrační značky vozidla. Také se dá využít systém dlouhodobého měření rychlosti, kdy se umístí dvě kamery na určitý úsek vozovky do předem dané vzdálenosti. U tohoto systému se pak měří průměrná rychlost vozidla na tomto úseku. Ta se provede pomocí detekce vozidla při vjezdu do úseku a detekce při jeho opuštění. Pokud je průměrná rychlost vozidla

vyšší než maximální povolená rychlost, vozidlo muselo alespoň jednou na úseku jet vyšší rychlostí, než byla povolená rychlost.



Obrázek 2.1: Detekce průjezdu na červenou[9]

2.2 Aplikace s kamerou umístěnou na vozidle

U aplikací s kamerou umístěnou na vozidle mluvíme zejména o podpůrných systémech řidiče. Možných aplikací je již v dnešní době nezanedbatelné množství.

Jedná se například o parkovací asistenty, které zobrazují pohled ze zadní kamery na obrazovce umístěné na přístrojové desce, kde se mimo jiné mohou zobrazovat i nalezené překážky ve scéně. Nebo již plně automatické parkovací asistenty, které dokážou automobil zaparkovat zcela samostatně.

Dalším systémem je kontrola jízdních pruhů, kdy se detekuje, jestli se vozidlo nezačalo vychylovat z jízdního pruhu a případně se upozorní řidič. Nebo také detekce hrozící kolize, vyhledávání chodců na vozovce apod. Tyto systémy mají za úkol zvýšit

bezpečnost na silnicích, odhalit případný mikrospánek a také pomoci při špatné viditelnosti. Příkladem zde může být systém od BMW pro noční vidění, kde na obrazovce uvnitř vozidla výrazně zvýší viditelnost chodců (viz Obrázek 2.2).

V poslední době se zvyšuje popularita detekce dopravního značení. Aktuální systémy dodávané automobilkami se zaměřují zejména na detekci rychlostních značek a kromě obrazových údajů často využívají i údaje z GPS a mapových podkladů (například Opel Eye viz [1]).

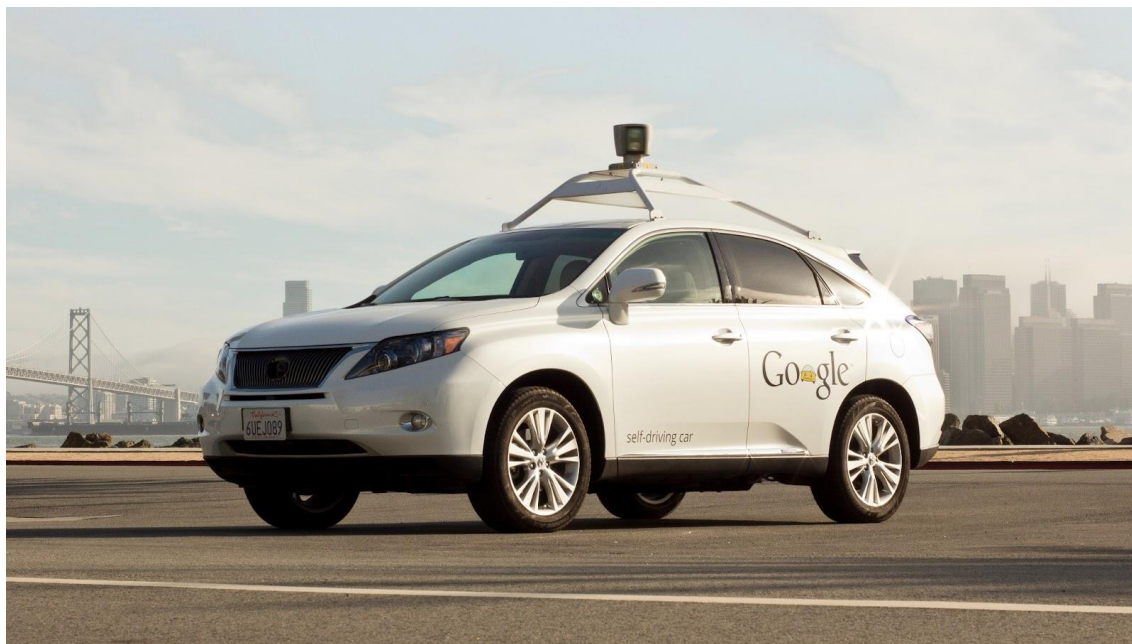


Obrázek 2.2: BMW Night Vision[8]

2.3 Autonomní vozidlo

Pro návrh autonomního vozidla je potřeba nejprve porozumět způsobu řízení vozidla. V současné době již existuje spousta systémů pomáhajících řidiči s řízením vozidla a jsou takovým prvním krokem k možnosti autonomního řízení. Přímými autonomními vozidly se již zabývají některé univerzity a velké firmy. Asi nejznámějším příkladem v dnešní době je samořídící auto Google, které vyvíjí americká společnost Google (viz Obrázek 2.3). I přesto ale existuje ještě řada problémů, které je třeba vyřešit, než takové vozidlo bude moci jezdit na silnicích.

Dalším významným a v tuto chvíli aktuálním příkladem je Audi. Tato automobilka představila na výstavě CES 2015 svůj koncept autonomního vozidla. Zajímavé na tomto konceptu je, že vozidlo samostatně urazilo asi 900 kilometrů ze Silicon Valley na samotnou výstavu v Las Vegas. [26]



Obrázek 2.3: Google self-driving car[10]

2.3.1 Řízení automobilu

Mezi nejdůležitější části řízení automobilu patří změna směru (zatačení) a akcelerace s brzděním automobilu.

Změna směru se u dnešních automobilů řeší vychylováním kol do požadovaného směru. Výchylka kola od přímého směru se nazývá rejď. Pokud mluvíme o celkovém rejdu, je to úhel od jedné krajní polohy kola do druhé krajní polohy. V případě manuálního řízení hraje významnou roli také převod řízení, který určuje poměr mezi úhlem otočení volantu a úhlem otočení řízených kol. Řízení také podstatně určuje nedotáčivost a přetáčivost automobilu (vyžadováno větší nebo menší zatočení kol než vyplývá z poloměru zatáčky). [6]

Většina vozidel je řízena pomocí přední nápravy, a to takovým způsobem, že se každé kolo natáčí samostatně. Tento systém se nazývá systém řízení s rejdovými čepy. Podle konstrukce převodovky řízení můžeme rozlišovat následující typy:

- 1) Řízení maticové
- 2) Řízení šnekové
- 3) Řízení hřebenové

Řízení maticové nebo hřebenové můžeme dovybavit posilovačem řízení (servořízení). Jedná se o hydraulický nebo elektronický systém. Posilovací účinek je

třeba v průběhu jízdy měnit. Například v případě stojícího vozidla je potřeba vyššího posilovacího účinku a při vyšší rychlosti nižšího nebo žádného.[6]

Další významnou částí pro řízení automobilu je změna rychlosti vozidla, a to buď akcelerováním (zrychlováním), nebo bržděním (snižováním rychlosti).

Pro zrychlování a celkové uvedení vozidla do pohybu hraje významnou roli převodovka. V dnešní době jsou nejběžnější osobní vozidla s pěti-stupňovou převodovkou, případně šesti-stupňovou. Převodovka hraje také významnou roli pro couvání vozidla, kde zařazení zpátečky je vlastně speciálním rychlostním stupněm s otočeným směrem otáček. Převodovky se již v dnešní době dodávají běžně v automatickém provedení, kde vozidlo samo volí rychlostní stupeň podle otáček motoru.[6]

U automobilů se používají mechanické (třecí) brzdy ovládané hydraulicky nebo stlačeným vzduchem. Hydraulické ovládání se využívá u osobních automobilů a stlačený vzduch u nákladních automobilů.[6]

Třecí brzdy:

- 1) bubnová brzda s vnitřními čelistmi
- 2) kotoučová brzda

Kotoučové brzdy jsou převážně montovány na přední kola, na zadních kolech mohou být buď kotoučové nebo bubnové brzdy. Hydraulické brzdy využívají podtlakového posilovače pro snazší ovládání.[6]

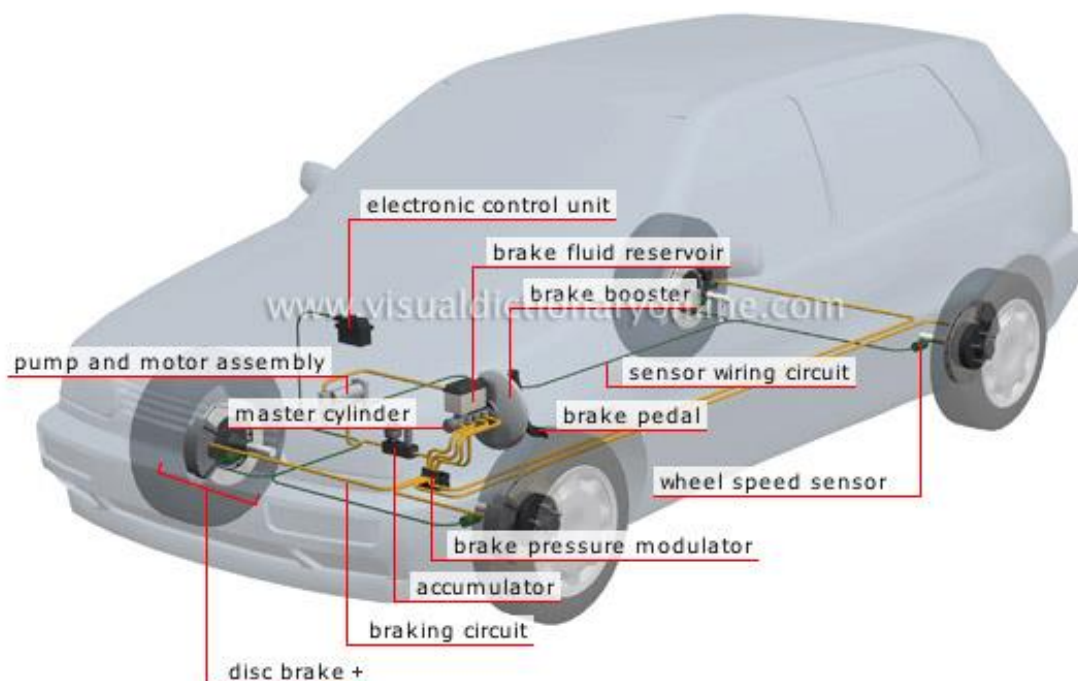
2.3.2 Podpůrné systémy pro řízení

Nejčastějšími systémy pro podporu řízení jsou brzdné systémy, systémy pro kontrolu trakce a navigační systémy.

Nejrozšířenějším systémem je ABS (Anti-lock brake system), který zabraňuje zablokování kol při brždění a tím zvyšuje ovladatelnost vozidla v kritických situacích (ukázka implementace ABS viz Obrázek 2.4). Od tohoto systému se dále odvíjejí jiné jako jsou například (více viz[6]):

- 1) ASR - regulace prokluzu kol
- 2) EDS - elektronická uzávěrka diferenciálu - umožnění rozjezdu při různém prokluzu kol
- 3) EPS - elektronický stabilizační program - zabraňuje smyku přibrzdováním některého z kol podle potřeby
- 4) EBV - elektronické rozdělení brzdné síly
- 5) MSR - regulace točivého momentu - zabraňuje zablokování kol při brždění motorem

Významnou roli v podpoře řidiče hrají navigační systémy využívající technologii GPS (Global positioning system). Systém je založený na výpočtu polohy pomocí družic. Tyto družice vysílají časový signál, a jelikož by z každého místa na Zemi měly být vidět alespoň 4 družice, je možné pomocí doby letu signálu z různých družic dopočítat polohu s vysokou přesností.



Obrázek 2.4: Implementace systému ABS[7]

2.3.3 Problémy k vyřešení pro autonomní řízení

K tomu, abychom mohli vytvořit autonomní vozidlo, je potřeba vyřešit ještě množství problémů. Jedná se zejména o problémy spojené s bezpečností provozu. Částečná řešení již existují, nejsou ovšem dostatečně robustní, aby mohly sloužit pro autonomní řešení a ne pouze pro podporu řidiče.

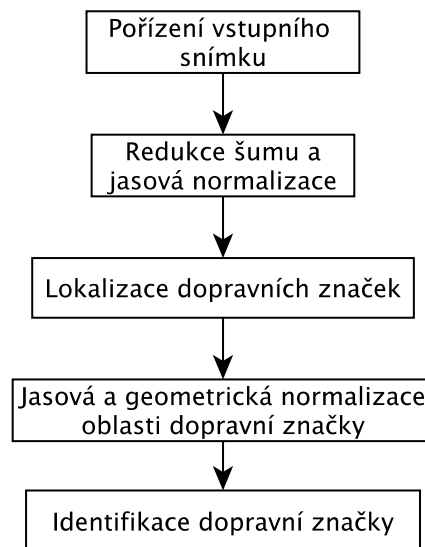
První problematická část je detekce a reakce na překážky. Zde spadají nepohybující se objekty, pohybující se automobily a detekce chodců. Aktuálně má spousta projektů již velmi zajímavé výsledky (např. Google auto) a k detekci používá velké množství senzorů a 3D scannerů. Ovšem algoritmy musí být precizní a velmi robustní, protože chyba může mít fatální následky na životech.

Detekce vozovky je dalším problémem. Ne všechny silnice mají zpevněné krajnice avyznačené pruhy. Autonomní vozidlo si však musí poradit i s těmito místy a nesmí sjet mimo vozovku.

Detekce a rozpoznání dopravního značení. Dopravní značení již umějí rozpoznávat některé systémy větších automobilek. Mnohdy se jedná pouze o rozpoznávání rychlostního značení s úspěšností okolo 90% (viz [25]). Systémy jsou také doplňovány informacemi získanými z GPS a mapových podkladů. Pro autonomní řízení musí být detekováno všechno dopravní značení se srovnatelnou úspěšností, jakou má člověk.

2.4 Rozpoznávání dopravního značení

Při rozpoznávání dopravního značení je třeba vzít v úvahu několik problému, které mohou nastat. Jelikož strojové vidění probíhá ve vnějších podmínkách, je snímáný obraz těmito podmínkami ovlivněn. Jedná se zejména o proměnlivé osvětlení scény, na které může mít vliv jak denní doba, tak i počasí. Dalším problémem je různé natočení značky a perspektivní zkreslení. Při uvážení natočení je třeba zvážit, o jak velký úhel se značka může ve snímku vyskytovat natočená, jak v ose kolmo na snímač, tak i v ose kolmo k vozovce (v prvním případě je asi zbytečné uvažovat značku umístěnou na ležato a v druhém je třeba určit, jestli je stále značka určená pro náš směr jízdy nebo je již určená pro jiný směr). Perspektivní zkreslení se projevuje zejména ve větší blízkosti a při kraji snímané oblasti. V této oblasti se také může projevat zakřivení způsobené zvolenou čočkou (například širokouhlá čočka).



Obrázek 2.5: Obecné schéma pro lokalizaci a identifikaci dopravních značek

Ukázka možného zobrazení systému pro rozpoznávání dopravního značení je znázorněna na Obrázek 2.5. Vstupní obraz je nejprve předzpracován. V této části se jedná zejména o odstranění šumu a jasovou normalizaci. Poté je výsledný obraz předán algoritmu na lokalizaci oblastí, který určí oblasti podezřelé z výskytu dopravních značek. Následně jsou tyto oblasti upraveny a normovány. Například se odstraňuje natočení a normalizuje se jas. Takto upravené oblasti jsou předány dále k identifikaci, která určí o kterou značku se jedná. Tímto se získají nalezené dopravní značky.

2.4.2 Lokalizace oblastí s dopravním značením

Lokalizace oblastí, kde se může nalézat dopravní značení v obraze, se může dělit na:

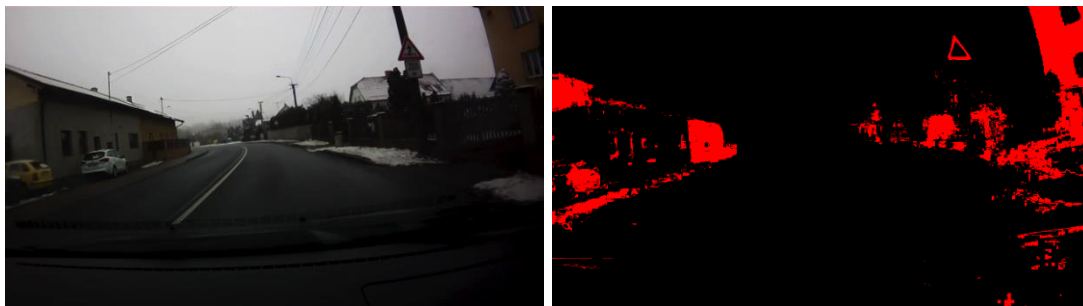
- 1) Jasové metody
- 2) Metody na základě tvaru
- 3) Spojení obou předchozích

Jasové metody

Jsou to metody založené na různé jasové úrovni v obraze. Pokud jsou v obraze tři samostatné barevné složky (např. červená, zelená a modrá), jedná se o metody na základě barevných informací. Díky tomu, že svislé dopravní značení má zákonem definované barevné schéma, jsou tyto metody vhodné na výběr oblastí odpovídajících určité skupině značení (například modré, červené apod.).

Tyto metody už ze své podstaty jsou velmi závislé na kvalitě osvětlení. V případě zhoršování světelných podmínek (například stmívání) může docházet ke snížení kvality lokalizace. Také je třeba počítat s tím, že se ve scéně bude vyskytovat více objektů v příslušném barevném schématu a ne pouze dopravní značení (jiný automobil, budova, chodec apod.). Mezi těmito podmínkami je třeba hledat kompromis, aby nebylo za určité situace vybráno příliš mnoho oblastí v obraze a při snížení kvality osvětlení zase vůbec žádné oblasti.

Díky možnosti převodu do jiné barevné reprezentace než RGB (red-green-blue) je možné dosáhnout například omezení velikosti závislosti na osvětlení (jasu). Dá se tedy předpokládat, že v různých barevných reprezentacích budou také různé kvalitní výsledky lokalizace. Ukázka barevné lokalizace viz Obrázek 2.6. Více o barevné lokalizaci v kapitole 4.2.



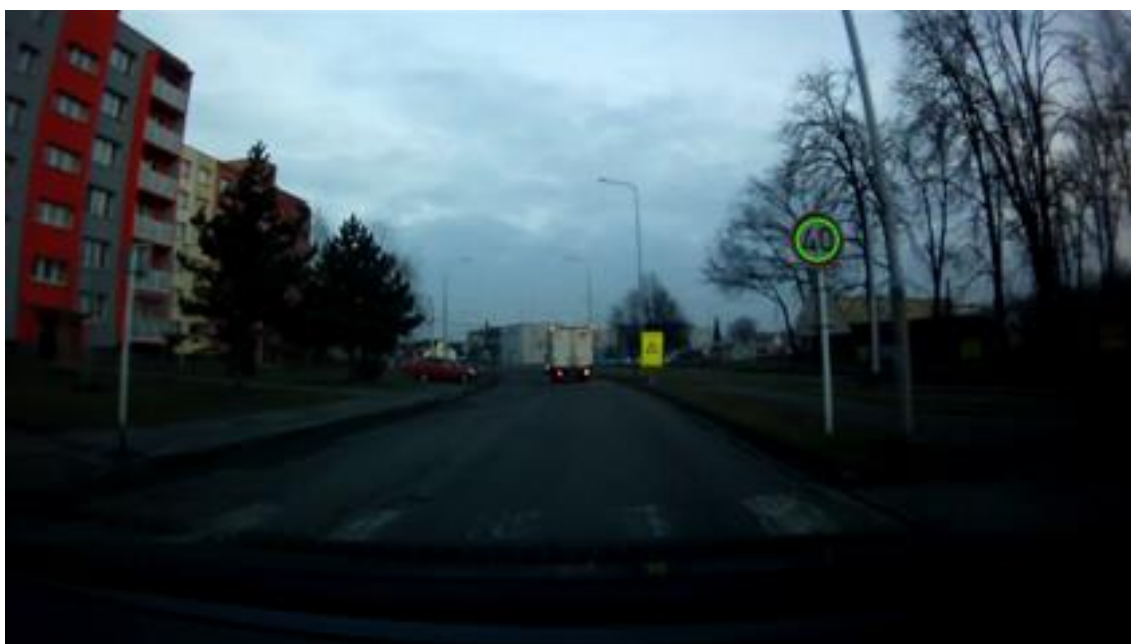
Obrázek 2.6: Ukázka lokalizace červené barvy v obrázku (v HSV)

Metody na základě tvaru

Metody vyhledávající tvary v obraze jsou založeny oproti jasovým metodám na kontextu v obraze. Nezáleží již pouze na hodnotě jednotlivých pixelů, ale také na jejich okolí. Tyto metody mohou například využívat Houghovu transformaci (viz Obrázek 2.7). Dále mohou vyhledávat různé příznaky popisující tvar oblasti (Haarovy

příznaky) nebo využívat rohové operátory. Také se zde dají zařadit metody využívající porovnávání se vzorem.

Na rozdíl od jasových metod je zde nižší závislost na nasvětlení scény. Ovšem také v tomto případě je třeba uvážit, že ve scéně mohou být i jiné tvarově vyhovující objekty než dopravní značení. Dá se zde očekávat zvýšená citlivost na rozmazání, které může změnit tvar objektu.

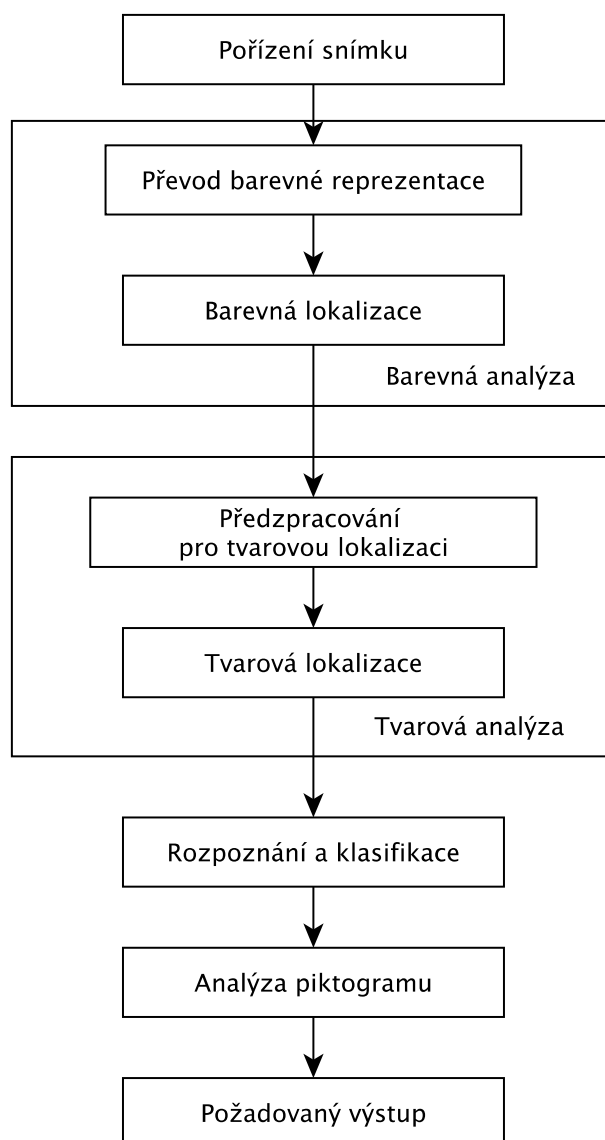


Obrázek 2.7: Ukázka lokalizace kružnice v obraze pomocí Houghovy transformace

Spojení jasové a tvarové lokalizace

Tento druh lokalizace využívá spojení obou přechozích přístupů. Jak už bylo v jasové lokalizaci zmíněno, z jasové informace je pro detekci značky důležitá nejvíce barva, proto zde bude řešeno spojení pouze s barevnou lokalizací. Přístupy, jak spojit lokalizaci barev s lokalizací tvaru, jsou v základu dva.

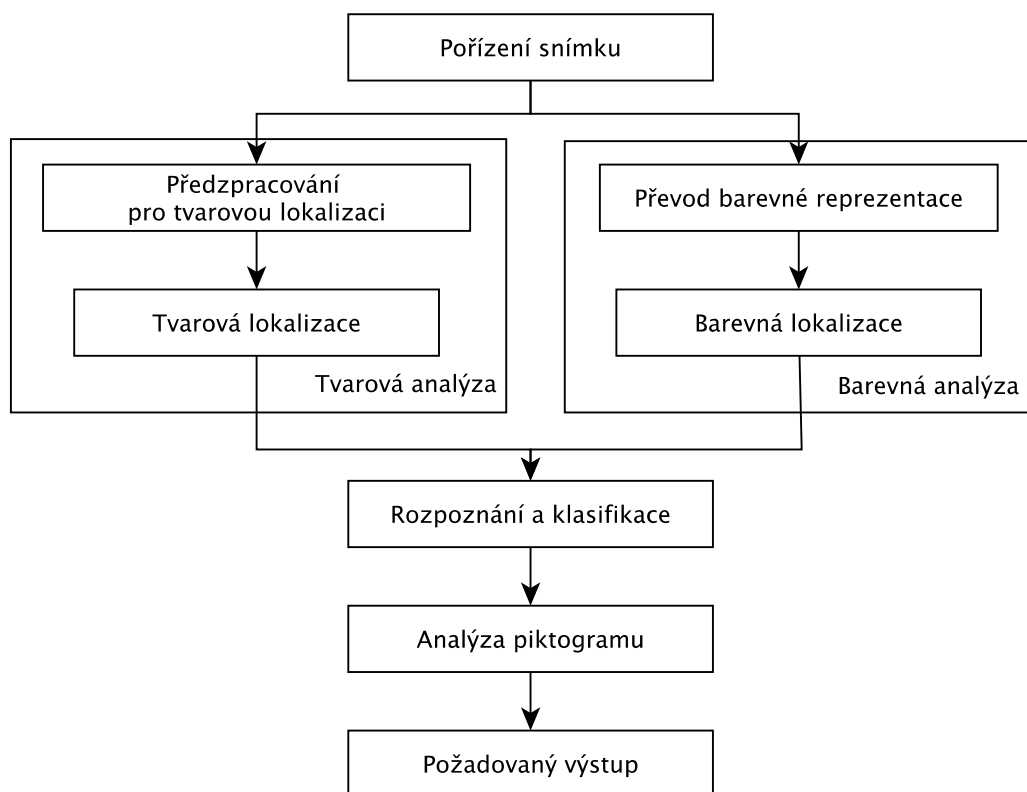
Prvním z nich je sériové spojení (viz Obrázek 2.8), kdy se nejprve provede barevná lokalizace a poté se na výsledku provede lokalizace tvarů. K barevné lokalizaci se v tomto případě dá přistupovat jako k segmentaci oblastí a dá se rozšířit kromě základních výrazných barev značek (červená, modrá a žlutá) také na bílou a černou barvu, které ve většině případů vyplňují vnitřní část značky. Po segmentaci se vyloučí oblasti, které nesplňují tvarové požadavky pomocí popisu tvaru. Díky této kombinaci se může snížit přísnost požadavků na barevnou přesnost, a tím docílit nižší závislosti na světle než u jasových metod. Oproti čisté tvarové detekci je výhoda, že se předem odstraní oblasti, které neodpovídají barvou, a tím se zrychlí její výpočet a sníží počet nesprávně určených oblastí. Nevýhodou je, že pokud barevná lokalizace neurčí dostatečně některou dopravní značku, tak se tato chyba šíří i na tvarovou lokalizaci.



Obrázek 2.8: Ukázka sériového spojení barevné a tvarové lokalizace

Druhým přístupem je paralelní kombinace (viz Obrázek 2.9). Tady je výhoda vůči prvnímu přístupu zejména zřejmá v rychlosti v případě ,že je k dispozici možnost efektivně paralelizovat výpočty. Výhoda proti samostatné barevné a tvarové detekci je stejná jako v předchozím případě. Kombinací zůžeme počet přijatelných oblastí pro následující identifikaci.

Spojení metod by tedy mělo mít vyšší robustnost za různých podmínek než jasové metody a zároveň by mělo omezit výběr nesprávných oblastí oproti oběma předchozím metodám, což umožní rychlejší identifikaci.



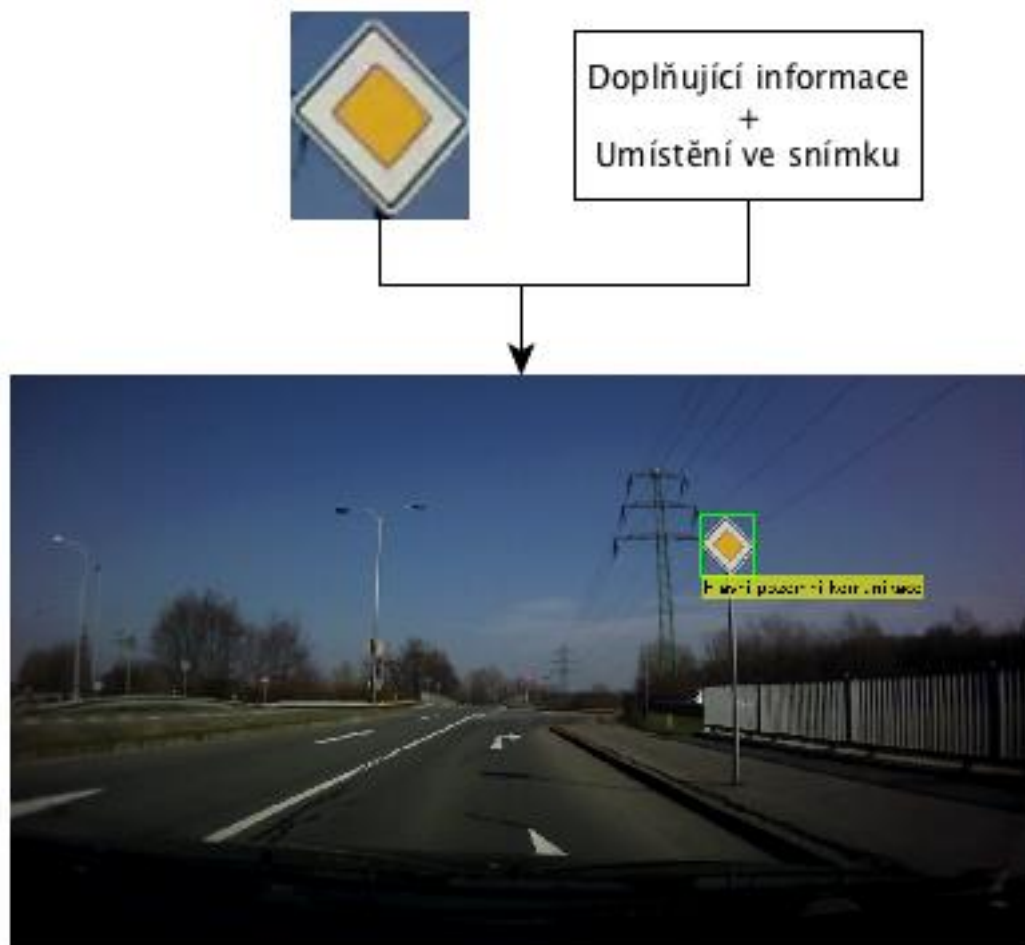
Obrázek 2.9: Ukázka paralelního spojení barevné a tvarové lokalizace (volně přeloženo z [29])

2.4.3 Identifikace dopravního značení

Část identifikace má za úkol rozpoznat, jestli vybraná oblast detekcí je skutečně značka a o kterou značku se přesně jedná. Identifikace může využívat již předem zjištěné skutečnosti, například pokud lokalizace vyhledávala červené kruhové značky, tak tyto informace může využít a už jen vyhledávat vnitřní symboly značky odpovídající všem možnostem pro tuto konkrétní skupinu značek (viz Obrázek 2.10).

Základním přístupem k identifikaci dopravního značení mohou být například metody založené na porovnávání se vzorem. V jiných případech se může jednat o sběr a popis nejrůznějších příznaků a jejich porovnávání s naučeným vzorovým modelem.

U identifikace můžeme také rozlišit dva způsoby přístupu. Prvním je, že ve vyznačené oblasti hledáme značku jako celek (včetně barevného okraje). Druhý způsob je identifikace symbolu uvnitř značky (piktogramu).



Obrázek 2.10: Ukázka identifikace

3 GALERIE VSTUPNÍCH SNÍMKŮ

Galerie vstupních snímků pro algoritmy sestává z vlastní galerie a tří převzatých galerií. V této kapitole je uveden přehled všech použitých galerií a jsou popsány jejich vlastnosti.

3.1 Vlastní galerie

Jedním z úkolů diplomové práce bylo také vytvořit vlastní galerii. K tomuto úkolu byla poskytnuta kamera vedoucím práce (viz Obrázek 3.1). Jedná se o typ kamery CountourHD model 1200. Tento druh kamery má následující parametry:

- Nastavitelné rozlišení:
 - HD (1280x720) při 30 FPS
 - SD (848x480) při 60 FPS
- Širokoúhlá nevyměnitelná čočka 135°
- 5 megapixelový CMOS snímač
- Kodek: H.264/AAC
- Ukládání videa ve formátu .mov
- Velikost videa:
 - Pro HD rozlišení: 1GB na 30minut
 - Pro SD rozlišení: 1GB na 60 minut

Kromě změny rozlišení na kameře nejdou měnit žádné další parametry (jako jsou například: doba expozice, výměna objektivu apod.). Také nejsou k dispozici žádné jiné než uvedené informace.



Obrázek 3.1: Použitá kamera CountourHD model 1200

3.1.1 Popis vytvořené galerie

Galerie je vytvořena na českých silnicích. Videozáznamy byly pořízeny za různých světelných podmínek a různé viditelnosti. Videokamera byla vždy upevněna na čelním skle za zpětným zrcátkem.

Videozáznam byl pořizován za běžné jízdy osobním automobilem. Všechny snímky jsou v HD rozlišení a barevné. Ke galerii byl také vytvořen seznam s anotacemi dopravních značek ve snímcích. Kód značky použitý v anotaci je určen českými předpisy, všechny kódy viz [11]. Ukázka snímku z galerie viz Obrázek 3.2 a ukázka z anotace viz Obrázek 3.3. Označení snímku v galerii se skládá ze dvou částí. První tři číslice označují videozáznam, ze kterého snímek pochází, a zbylých šest číslic označuje pořadí snímku ve videozáznamu. Například snímek 007011214.png pochází z videozáznamu 007.mov a je to 11214 snímek v pořadí. Parametry galerie jsou:

- 1) Barevné obrázky
- 2) Celkem 1427 snímků
- 3) Snímky byly pořizovány kamerou za běžné jízdy. Výskyt pohybového rozmazání.
- 4) Snímky pořizovány za různého počasí a okolních světelných podmínek
- 5) Rozlišení 1280x720
- 6) Formát snímků PNG
- 7) Všechny snímky pocházejí z území České republiky
- 8) Anotace obsahuje následující údaje:
 - Jméno souboru
 - X-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - Y-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - X-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - Y-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - Překrytí (1 pro překrytou značku 0 pro nepřekrytou)
 - Kód značky

Podrobný popis výskytu značek v galerii je možno najít v příloze viz Tabulka A-I. Tabulka obsahuje tyto údaje: kód značky, celý název značky podle vyhlášky, počet výskytu značky napříč galerií, počet značek, které byly označeny jako překryté (occluded), počet značek, jejichž ohraničující obdélník měl šířku nebo výšku menší než 3% výšky obrazu (tedy menší než 22 pixelů). Ukázka takto malé značky viz Obrázek 3.4. Značky, které nejsou v tabulce uvedeny, nejsou ve vlastní galerii obsaženy.



Obrázek 3.2: Ukázka snímku z vlastní galerie

```
001001503.png;855.875;197.625;879.125;221.625;0;P02  
001001503.png;802.875;227.875;817.625;243.125;0;IP06  
001001533.png;919.75;145.75;952.75;179.25;0;IP06  
001001677.png;829.75;185.75;868.75;219.75;0;A12
```

Obrázek 3.3: Ukázka anotace z vlastní galerie

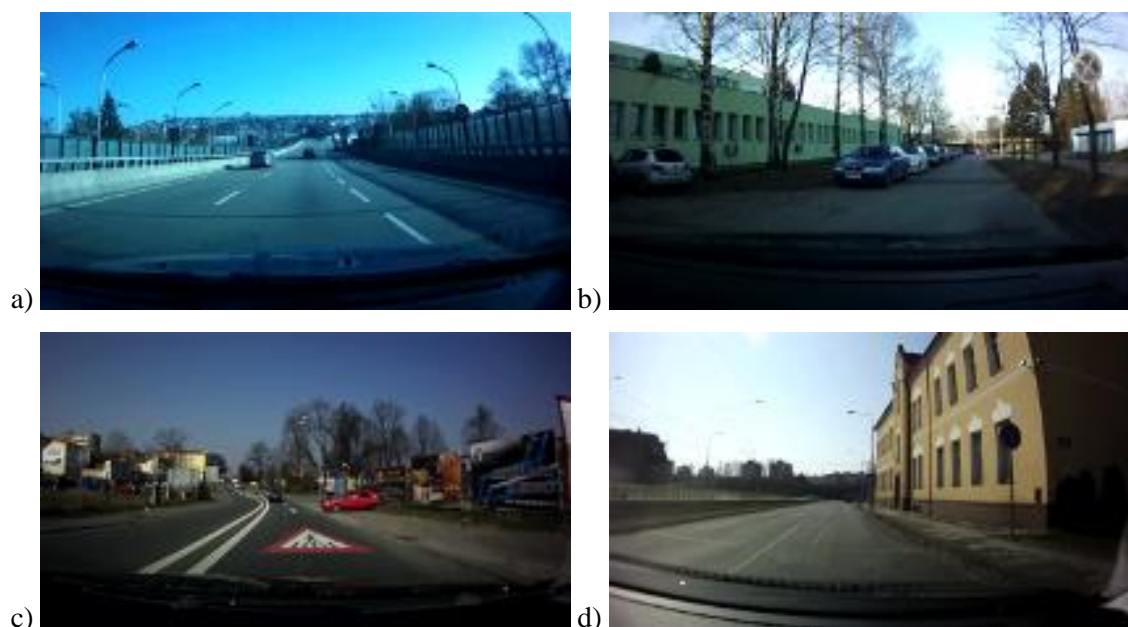


Obrázek 3.4: Ukázka značky, která má obě strany ohraničujícího obdélníku menší než 3% výšky snímku

3.1.2 Specifické snímky v galerii

V galerii se také nacházejí snímky, na nichž lze vidět některé jevy, které mohou při jízdě na běžné silnici nastat (Obrázek 3.5).

Na prvním snímku je ukázáno, jak se automatická expozice kamery přizpůsobuje po výjezdu z tunelu, celý snímek změnil barevné rozložení směrem k modré barvě (originální snímek: 007011214.png). Na dalším snímku je ukázka dopravní značky, která není udržovaná a již ztratila původní barvy (originální snímek: 009047800.png). V galerii se takovýchto značek vyskytuje více, ale i přesto by měl být tento jev spíše vzácností. Třetí snímek ukazuje možné dopravní značení umístěné vodorovně na silnici (originální snímek: 013002137.png). A poslední snímek ukazuje důsledek automatické expozice, kdy jedna část obrazu je přesvícená (část oblohy s výrazným slunečním svitem) a druhá část, kde se nachází dopravní značka, je výrazně tmavší (originální snímek: 014016006.png).



Obrázek 3.5: a) Ukázka změny barevného rozložení po výjezdu z tunelu, b) značka neodpovídající barevnému předpisu, c) vodorovné značení na silnici, d) přesvětlení části obrazu

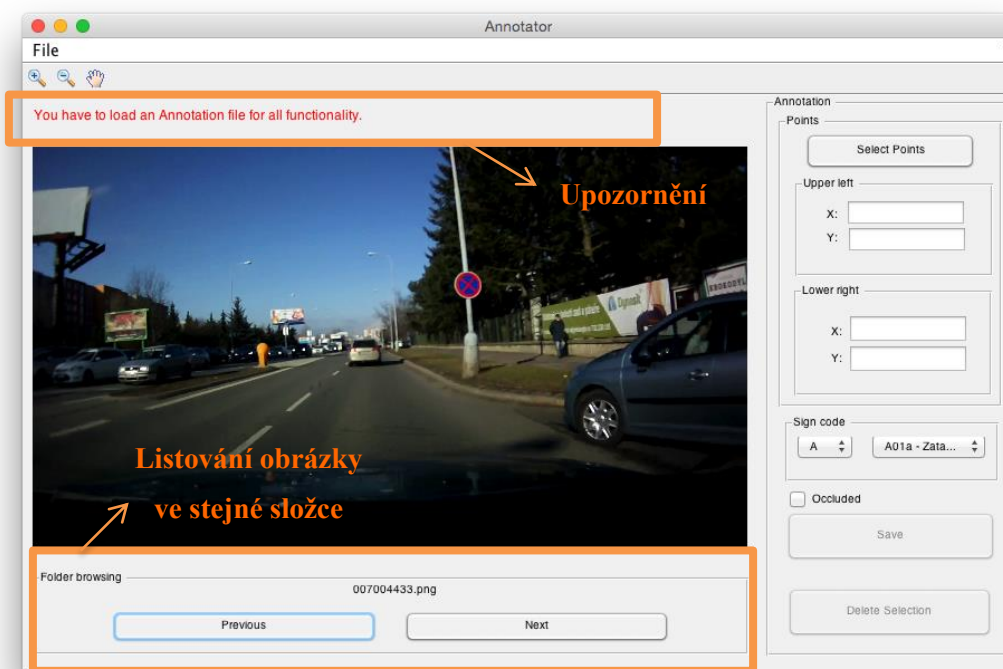
3.1.3 Tvorba a kontrola anotace

Pro tvorbu anotace ke galerii byl vytvořen pomocný nástroj. Tento nástroj je nazván Annotator a je možné ho spustit přes skript *annotator.m*. Mimo přidávání nové anotace je tento nástroj schopen také již vytvořenou anotaci zobrazovat, podmínkou ovšem ale je, že anotace musí být ve stejném formátu, jako je vytvořený formát pro tuto galerii (viz Obrázek 3.3.) Ukázka uživatelského rozhraní viz Obrázek 3.6..

Po zapnutí Annotatoru je třeba nejprve načíst potřebné soubory. To je možné udělat přes horní menu File:

- Open Image - otevře obrázek
- Open Annotation - otevře existující soubor s anotací
- Create Annotation - vytvoří nový soubor s anotací

Po otevření obrázku je uživatel dotázán na soubor s anotací (v případě, že anotace nebyla již dříve načtena). Pokud soubor s anotací nevybere, je možné pouze listovat obrázky ve složce a na toto omezení je upozorněn v části nad zobrazeným snímkem (viz Obrázek 3.6).



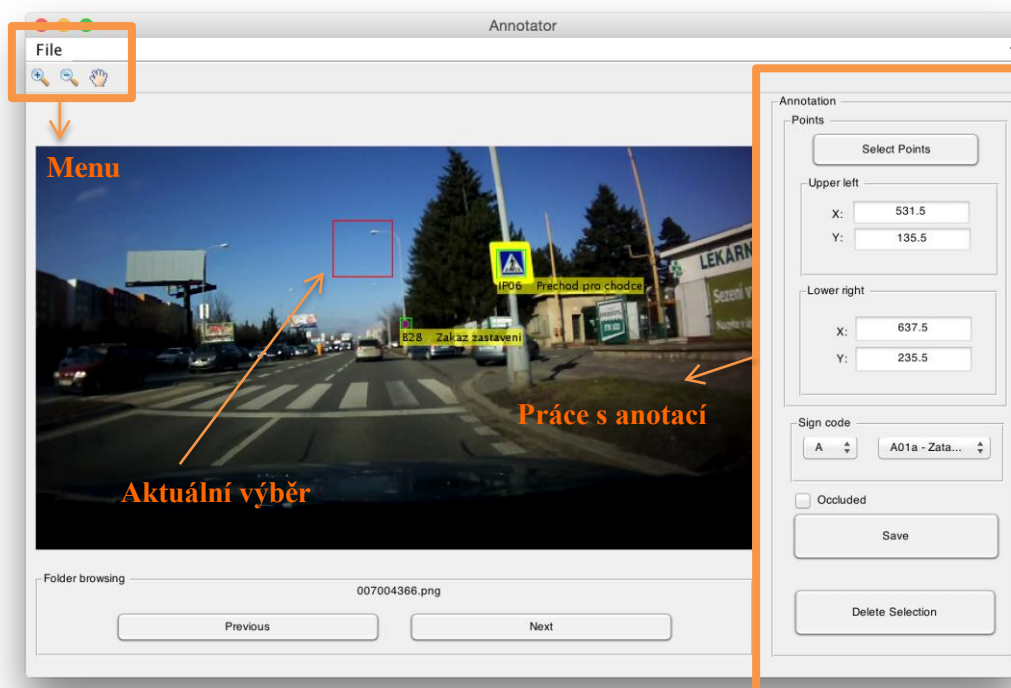
Obrázek 3.6: Annotator: ukázka upozornění a listování obrázky

Anotace ve snímku je zobrazena jako obdélník okolo značky. Pod ním je napsán kód značky a její název pro rychlou kontrolu. Obdélníky ve snímku mohou být dvou druhů: zelené a žluté. Zelený obdélník značí značku, která nebyla označena jako překrytá, a žlutý značí značku překrytou. Pro manipulaci se snímkem jsou taky k dispozici základní nástroje, jako je přiblížení, oddálení a posun v obraze, umístěné v levé horní části obrazovky.

Pro přidávání nových anotací slouží panel vpravo. Pro nový výběr je třeba kliknout na tlačítko *Select Points*, poté je uživatel vyzván k výběru levého horního bodu a pravého dolního rohu dopravní značky. Aktuální výběr je ve snímku zobrazen jako červený obdélník (viz Obrázek 3.7). Body, které se budou vkládat do anotace, jsou také zobrazeny v pravé části aplikačního okna. Pro kompletní anotaci je potřeba vybrat

o jakou značku se jedná. To se provede pomocí dvou rozbalovacích menu, kde první určuje skupinu značek a druhé již konkrétní značku. Pomocí zaškrtnutí tlačítka *Occluded* je možné určit, zda je značka překrytá či nikoli. Připravená anotace se uloží přímo do souboru pomocí tlačítka *Save*.

Vymazání již provedené anotace lze provést pomocí výběru oblasti. Stejně jako v předchozím bodě se vybere oblast pomocí tlačítka *Select Points*. Poté se klikne na tlačítko *Delete Selection* a všechny anotace, které jsou celou svojí plochou uvnitř výběru, se odstraní.



Obrázek 3.7: Annotator: popis ovládání

3.2 Převzaté galerie

Požadavky na převzaté galerie byly následující: samostatný soubor s anotacemi snímků (jméno snímku, lokace značky ve snímku apod.) a celá galerie musela mít možnost použití pro akademické účely. Požadavky na kvalitu snímku nejsou kladeny. Snímky by ovšem měly obsahovat celou značku, ne jenom její část.

Jelikož převzaté galerie obsahují různé formáty anotací, byl ke každé z nich vytvořen překladový skript. Tento skript vytvoří soubor se stejným formátem anotace, jako byl zvolen při tvorbě vlastní galerie.

3.2.1 Německé galerie dopravních značek

Galerie jsou součástí práce [2] a ve zdrojích je také uveden URL odkaz ke stažení. Jedná se o dvě samostatné galerie.

První galerií je GTSRB (German Traffic Sign Recognition Benchmarks) a obsahuje výřezy dopravních značek. Tato část je vhodná pro testování, případně na učení algoritmů identifikace. Tato část neobsahuje v anotaci informaci o typu zobrazené značky. Ukázka galerie viz Obrázek 3.8 a ukázka anotace viz Obrázek 3.9.



Obrázek 3.8: Ukázky z německé galerie GTSRB [2]

```
00002.ppm;48;52;6;6;43;47
00003.ppm;27;29;5;5;22;24
00004.ppm;60;57;5;5;55;52
00005.ppm;52;56;5;5;47;51
```

Obrázek 3.9: Ukázka anotace německé galerie GTSRB [2]

Druhá galerie je GTSDDB (German Traffic Sign Detection Benchmarks). Tato část již obsahuje reálné snímky z provozu a je vhodná zejména pro testování lokalizace. V této části se již v anotaci nachází informace o typu značky. Galerie obsahuje 43 různých dopravních značek, z nichž devět jsou různé rychlostní limity. Podrobný přehled výskytů značek viz Tabulka A-II. Ukázka galerie viz Obrázek 3.10 a ukázka anotace viz Obrázek 3.11.

Obě galerie jsou vytvořena v Německu a obsažené dopravní značení je velmi blízké tomu používanému v České republice. Ovšem jsou zde i odlišnosti. Například je zde odlišný tvar šipek v příkazaném směru a jiný piktogram ve výstražné značce

upozorňující na cyklisty (A19 - Cyklisté) apod. Charakteristické rysy galerie jsou následující:

- 1) Obsahuje celkem více než 50 000 obrázků
- 2) V každém snímku je jedna dopravní značka
- 3) Kolem značky ve snímku se nachází okraj alespoň 5 pixelů
- 4) Rozměry obrázků jsou od 15x15 do 250x250 pixelů
- 5) Formát anotace:
 - Jméno souboru
 - Šírka snímku (pouze v případě GTSRB)
 - Výška snímku (pouze v případě GTSRB)
 - X-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - Y-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - X-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - Y-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - ID značky (pouze v případě GTSDB)

Jelikož použitá anotace neobsahuje žádnou informaci o tom, jestli je značka překrytá, je pro překlad předpokládáno, že jsou všechny značky nepřekryté.



Obrázek 3.10: Ukázka z německé galerie GTSDB[2]

```
00003.ppm;742;466;764;489;9
00003.ppm;737;412;769;443;21
00004.ppm;898;342;967;409;21
00004.ppm;906;407;955;459;2
00005.ppm;1172;164;1284;278;9
00006.ppm;926;350;989;414;2
```

Obrázek 3.11: Ukázka anotace německé galerie GTSDB[2]

3.2.2 Švédská galerie dopravních značek

Galerie (Swedish Traffic Sign Dataset) je součástí práce [3] a ve zdroji je také URL adresa pro stažení. Snímky byly vytvořeny z nahrávky více než 350km švédských cest.

Švédské značky jsou již více odlišné od těch českých. Výrazný rozdíl lze zejména vidět v případě výstražných a zákazových značek, kdy již piktogram není na bílém pozadí, ale na žlutém. Dalším příkladem je značka pro jiné nebezpečí (A22), kdy jsou sice obě značky znázorněny červeným trojúhelníkem, ale mají jiný piktogram. Česká značka má podobu černého vykřičníku a švédská svislé. Přehled všech dopravních značek používaných ve Švédsku včetně vyobrazení viz [27].

Galerie obsahuje dva samostatné sety se snímky. V každém setu je anotována pouze první část (part0). Ostatní části nemají anotaci. Celkový počet snímků s anotací je 3777.

Ukázka snímku galerie viz Obrázek 3.12 a ukázka anotace viz Obrázek 3.13. Popis celé galerie:

- 1) Více než 20 000 obrázků - z toho 20% s označenou značkou
- 2) Obsahuje 3488 značek
- 3) Anotace obsahuje:
 - Jméno souboru
 - Pokud obsahuje soubor nějakou značku, je v anotaci uvedeno:
 - viditelnost (Rozmazaná - ostrá, překrytá - nepřekrytá)
 - X-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - Y-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - X-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - Y-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - obecná skupina značek (informační, příkazová atd.)
 - konkrétní typ značky (hlavní cesta, dej přednost atd.)

Galerie obsahuje 18 různých typů anotovaných dopravních značek, z toho devět značek omezující rychlost. Kromě těchto značek je v anotaci obsažena ještě skupina OTHER (jiné značky). Touto anotací jsou opatřeny dopravní značky, které neodpovídají žádnému z 18 typů. Jelikož je u těchto značek označena i skupina jako OTHER, nelze určit ani jejich barvu a tvar. Z těchto důvodů je takto označená položka v anotaci

přeložena do dříve stanoveného formátu (kapitola 3.1.1) jako kód značky X00. Přehled počtu výskytů všech anotovaných značek viz Tabulka A-III a Tabulka A-IV.

Další speciální položkou v anotaci jsou MISC_SIGNS. Pokud se taková položka vyskytne na řádku v anotačním souboru, znamená to, že snímek obsahuje směrové informativní značky. Tato položka neobsahuje informaci o přesném umístění a není při překladu brána v potaz.



Obrázek 3.12: Ukázka švédské galerie [3]

```
1277381671Image000012.jpg:MISC_SIGNS;BLURRED, 605.060347, 567.653050,  
586.692347, 547.973050, MANDATORY, PASS_EITHER_SIDE;  
1277381674Image000001.jpg:VISIBLE, 432.168746, 573.905720, 393.149818, 533.126540,  
MANDATORY, PASS_EITHER_SIDE;OCCLUDED, 436.049047, 589.307319, 414.015810,  
566.716278, MANDATORY, PASS_RIGHT_SIDE;SIDE_ROAD, 902.124657, 560.841548,  
886.173785, 533.580059, WARNING, GIVE_WAY;
```

Obrázek 3.13: Ukázka anotace švédské galerie[3]

3.2.3 Americká galerie dopravních značek

Galerie je (LISA Traffic Sign Dataset) součástí článku [4], součástí zdroje je také URL adresa ke stažení galerie. Na rozdíl od dvou předchozích galerie pochází tato mimo evropský kontinent (Spojené státy americké).

Značky obsažené v galerii jsou velice rozdílné oproti těm, na které jsme v České republice zvyklí. Jediné značky, které odpovídají našim zvyklostem, jsou: Dej přednost v jízdě (P04), Zákaz odbočování vpravo (B24a), Zákaz odbočování vlevo (B24b) a Stůj, dej přednost v jízdě (P06). Snímky s ostatním dopravním značením nebyly použity. Celkem bylo použito 986 snímků. Přehled počtu jednotlivých použitých značek z galerie viz Tabulka A-V.

Ukázka snímku z galerie viz Obrázek 3.15 a ukázka anotace viz Obrázek 3.14. Popis celé galerie:

- 1) 47 typů amerických značek
- 2) 7855 anotací na 6610 snímků
- 3) Velikost značky od 6x6 pixelů do 167x168 pixelů
- 4) Velikost obrázků od 640x480 do 1024x522 pixelů
- 5) Některé obrázky jsou barevné a některé černobílé
- 6) Anotace obsahuje:
 - Jméno souboru
 - Typ značky
 - X-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - Y-ová souřadnice levého vrchního rohu značky
 - X-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - Y-ová souřadnice pravého dolního rohu značky
 - Jestli je překrytá
 - Jestli je na vedlejší silnici
 - Jméno původního videozáznamu
 - Číslo snímku v původním videozáznamu
 - Jméno vystřižené části nahrávky se značkou
 - Číslo snímku ve vystřižené části

```
yield_1323802820.avi_image0.png;yield;651;38;684;66;0,0;vid0/vid_cmp2.avi;  
10965;yield_1323802820.avi;2  
yield_1323802820.avi_image1.png;yield;660;42;693;70;0,0;vid0/vid_cmp2.avi;  
10970;yield_1323802820.avi;7  
yield_1323802820.avi_image2.png;yield;668;36;701;65;0,0;vid0/vid_cmp2.avi;  
10975;yield_1323802820.avi;12
```

Obrázek 3.14: Ukázka z anotace americké galerie[4]



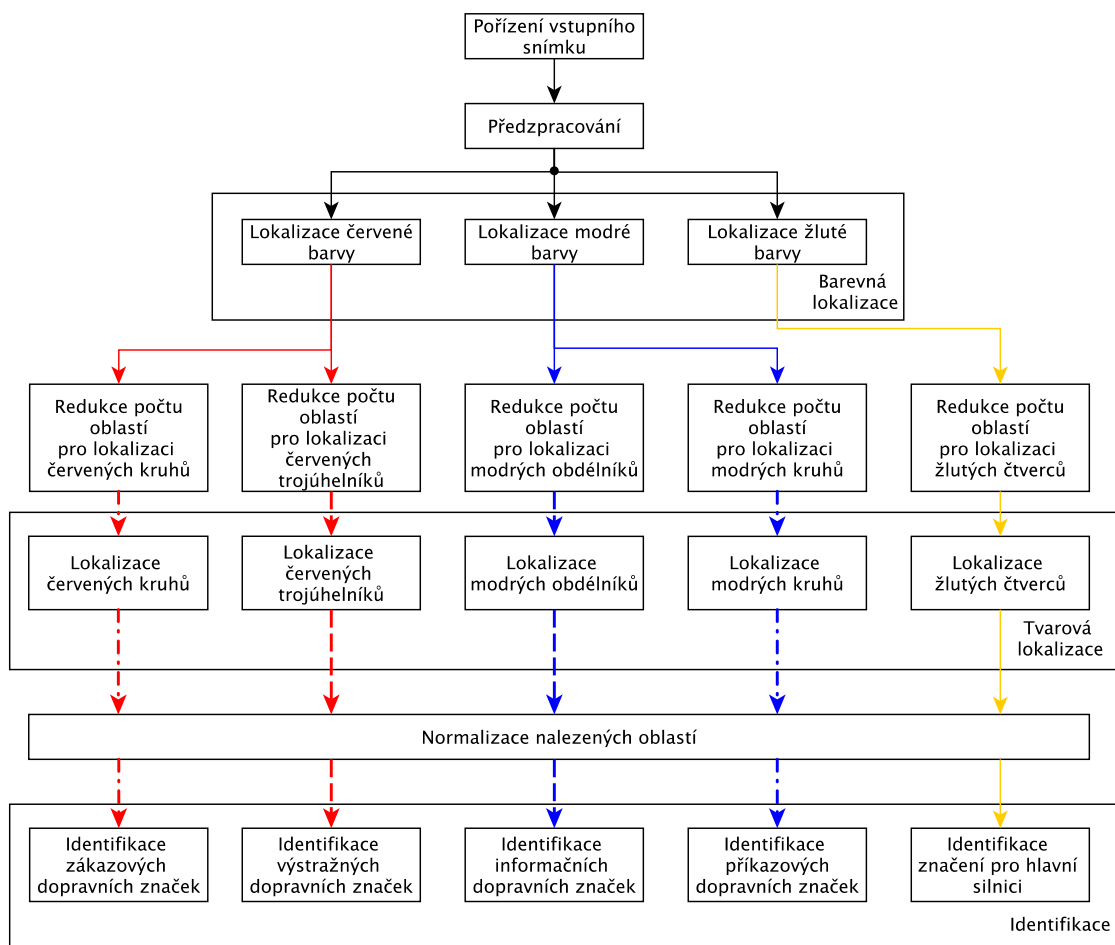
Obrázek 3.15: Ukázka z americké galerie[4]

4 IMPLEMENTACE METOD

Tato kapitola se zabývá implementací jednotlivých metod pro různé části systému rozpoznávání dopravního značení. Popis zobecněného systému pro rozpoznávání dopravních značek je uveden v kapitole 2.4.

Navržený systém v této kapitole se skládá ze sedmi základních částí (viz Obrázek 4.1). Jedná se o pořízení vstupního snímku, předzpracování, barevnou lokalizaci, redukci počtu nalezených oblastí, tvarovou lokalizaci, normalizaci nalezených oblastí a identifikaci. Část pořízení vstupního snímku není v této kapitole rozebírána a použitými vstupními snímky se zabývá samostatná kapitola č. 3 - Galerie vstupních snímků. Podkapitoly se věnují použitým algoritmům pro jednotlivé části systému. Celková lokalizace dopravních značek ve snímku je řešena pomocí kombinace barevné a tvarové lokalizace v sériovém zapojení.

Celý systém lze snadno v případě potřeby paralelizovat (viz Obrázek 4.1). Po pořízení vstupního snímku a jeho předzpracování dochází k rozdělení procesu zpracování do tří paralelních větví. Pro každou základní barvu značky jedna větev. Dále se tyto části větví hned za barevnou lokalizací na celkem pět samostatných částí.



Obrázek 4.1: Navržený systém pro rozpoznávání dopravních značek

Všechny metody jsou dále podrobeny experimentům v kapitole 5, kde jsou také vyhodnoceny jejich úspěšnosti. Pro navrhování algoritmů je předpokládáno, že se kamera nachází upevněna na předním skle s výhledem dopředu na vozovku. Je ale zároveň předpokládáno, že umístění kamery nebude vždy přesné a také nebude vždy na stejném vozidle.

4.1 Předzpracování

Předzpracování pro všechny druhy barevné lokalizace bylo zvoleno stejně. Pro některé druhy rozpoznávání barev je jedním z problémů změna osvětlení scény. Bylo tedy třeba zamyslet se nad tím, jak je možné alespoň jas ve scéně upravit, a to zejména v zájmových oblastech.

Použitý algoritmus funguje na principu ekvalizace histogramu. Snímek se nejprve jako celek převede z RGB barev na šedotónový, ve kterém se provede extrakce histogramu. Poté se použije samotná metoda ekvalizace histogramu. Původní návrh zahrnoval použití této metody na všechny složky RGB (red-green-blue) modelu samostatně. Ovšem v takovém případě dojde k narušení poměru mezi jednotlivými složkami a s tím se pozmění i barevný odstín.

Finální verze algoritmu vypočte ekvalizaci pouze na šedotónovém obraze a určí poměr změny pro každý pixel. Hodnoty pixelů pro oba obrazy jsou navýšeny o jedničku, aby nedošlo k dělení nulou. Toto řešení zpřesní hodnotu poměru, ale toto zpřesnění je významné pouze pro velmi nízké hodnoty v obraze. Výpočet poměru:

$$k(x, y) = \frac{ImageGrayNew(x, y) + 1}{OmageGrayOld(x, y) + 1} \quad (1)$$

kde $ImageGrayNew(x, y)$ je hodnota pixelu o souřadnicích (x, y) v obraze po ekvalizaci a $ImageGrayOld(x, y)$ v obraze před ekvalizací.

Dále se hodnota poměru využije pro převod jednotlivých barevných složek RGB modelu. Zde může u vysokých hodnot dojít k překročení maximální hodnoty (standardně 255). Toto je řešeno pouze saturací jednotlivých složek na maximální možnou hodnotu. Ukázka pro výpočet na červené složce:

$$R_{new}(x, y) = R_{old}(x, y) \cdot k(x, y) \quad (2)$$

kde $R_{old}(x, y)$ je původní hodnota červené složky pixelu o souřadnicích (x, y) a $R_{new}(x, y)$ je nově získaná hodnota.

Tímto se dosáhne pouze zvýraznění jasových rozdílů v obraze, nedojde však ke změně barevného odstínu (kromě možného přesaturování některé ze složek), což by bylo pro některé dále použité metody nepraktické.

Podstatnou změnu v algoritmu dále způsobila úvaha nad zájmovou oblastí. Ve snímcích zpravidla bývá ve spodní části kapota vozidla, což znamená, že v této oblasti

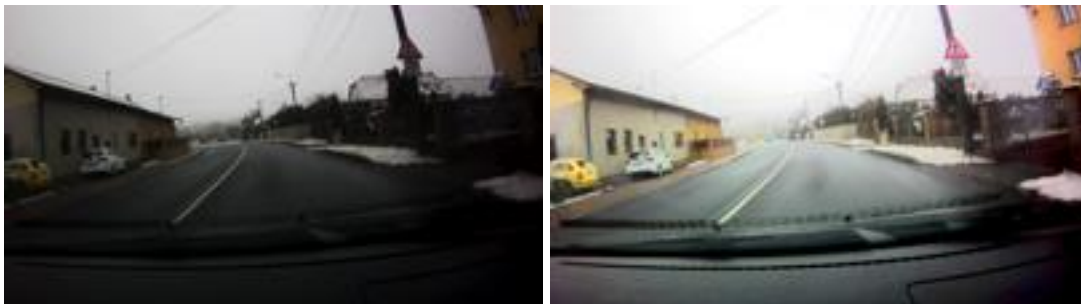
se nemůže vyskytovat dopravní značení. Na druhou stranu umístění kamery není předpokládáno se stabilním a neměnným výhledem a také není určeno pouze pro jeden druh vozu. Z tohoto důvodu není možné uvažovat vystřížení části s kapotou ze snímku.

Další problém může způsobovat přesevětlená obloha. Sice se v této části mohou značky vyskytovat, ale pro ekvalizaci histogramu je nevhodné s ní počítat, protože je zpravidla velmi světlá a mohla by celý zbytek snímku (a tím i zájmovou oblast) stlačit do tmavších jasových hodnot, a tím i snížit kvalitu výsledné lokalizace.

Po zvážení dvou předešlých důvodů byla pro tvorbu histogramu využita pouze část snímku. Konkrétně nebyla uvažována vrchní pětina a spodní pětina snímku. Tento histogram byl pak již využit pro ekvalizaci celého snímku. Ukázka aplikace uvedeného předzpracování viz Obrázek 4.2.

Implementovaná metoda v Matlabu se nazývá *brightnessCorrection*. Má dva povinné parametry: obrázek pro jasovou úpravu a obrázek pro tvorbu histogramu. Na výstupu vrací obraz s upravenými jasovými hodnotami. Příklad volání pro popsanou ekvalizaci při výšce obrázku 720 pixelů:

```
Out = brightnessCorrection (Image, Image(144:576,:,:));
```



Obrázek 4.2: Ukázka použité jasové ekvalizace: vlevo originální obrázek, vpravo po jasové úpravě

4.2 Barevná lokalizace

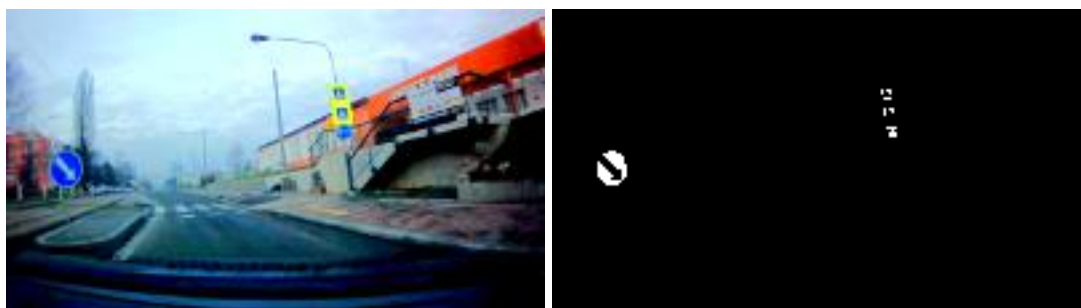
Tento druh lokalizace se zabývá nalezením odpovídající barvy v obraze. Barvy pro vyhledávání dopravního značení byly rozdělené do tří skupin podle hlavních barev základního dopravního značení. Tyto barvy jsou: červená (zákazové a výstražné značení), modrá (informační a příkazové značení) a žlutá (značka hlavní silnice a konce hlavní silnice - P02 a P03).

Pro správné nastavení byla nejprve provedena analýza barev na 100 náhodně vybraných snímcích galerie. Tyto snímky byly nejprve upraveny pomocí stejného předzpracování, jako je popsáno v kapitole 4.1. Pro každý snímek byly vytvořeny tři druhy logických masek: pro červenou, modrou a žlutou barvu (ukázka viz Obrázek 4.3). Pokud některá z masek nebyla vytvořena, znamená to, že ve snímku značka s touto barvou nebyla obsažena. Ke tvorbě masek byl využit editovací program GIMP [28].

Analýza byla provedena pro 200 pixelů náhodně vybraných z celé takto vytvořené množiny a pro všechny dále použité barevné reprezentace. Výsledky analýzy byly graficky znázorněny (viz A.I.i.1.1.B). V případě znázornění analýzy pro poměrovou metodu (kapitola 4.2.3) je zobrazen graf hodnoty poměru v závislosti na číslu vzorku. Jelikož tento poměr může nabývat vysokých hodnot, je zobrazena pouze zájmová část grafu.

Pro nastavení všech metod využívající prahy (kapitoly 4.2.2 až 4.2.5) bylo postupováno následovně. V každé složce jednotlivých barevných reprezentací byly prahy nejprve určeny takovým způsobem, aby ohraničily alespoň 90% všech takto získaných vzorků v dané složce. Tyto prahy byly pak ručně doladovány pomocí původně vybraných snímků pro analýzu.

Pro naučení neuronové sítě popsané v kapitole 4.2.6 bylo využito stejné množiny 200 barevných pixelů pro každou barvu jako pro uvedenou analýzu.



Obrázek 4.3: Ukázka masky pro odběr modré barvy: vlevo obrázek po předzpracování, vpravo maska pro modrou barvu

4.2.1 Prahové metody

Tato skupina metod využívá předem nastavené prahové hodnoty k určení, jestli se jedná o hledanou barvu či nikoli. Výsledná kvalita barevné lokalizace je kromě správně nastaveného prahu také vysoce závislá na použitém barevném prostoru.

Pro testování této části byla v Matlabu vytvořena funkce *colorLocalization*. Tato funkce má tři povinné parametry: vstupní snímek, barevnou reprezentaci a hledanou barvu. A na výstupu vrací obraz stejného rozměru jako vstupní v logické reprezentaci, kde 1 znamená - pixel odpovídá hledané barvě a 0 - pixel neodpovídá hledané barvě. Všechny implementované metody v rámci této funkce jsou popsány v následujících kapitolách (4.2.2 až 4.2.5).

Implementované barevné lokalizace reprezentace:

- 1) Dominantní kanál v RGB (a CMY) - parametr ve tvaru 'RGB_dominant'
- 2) Poměry v RGB (a CMY) - parametr ve tvaru 'RGB_ratio'
- 3) HSV - parametr ve tvaru 'HSV'
- 4) HSL - parametr ve tvaru 'HSL'

Implementované hledané barvy:

- 1) Červená - parametr ve tvaru 'R'
- 2) Modrá - parametr ve tvaru 'B'
- 3) Žlutá - parametr ve tvaru 'Y'

Příklad volání:

Out = colorLocalization (Image, 'HSV', 'R')

4.2.2 Lokalizace pomocí dominantního kanálu v RGB a CMY

RGB je základní barevnou reprezentací užívanou v informačních technologiích. Jedná se o aditivní barevný model, tedy model, kde se přidáváním jednotlivých barevných složek získá barva nová. V tomto případě se jedná o tři barvy - červená (R - red), zelená (G - green) a modrá (B - blue). V tomto modelu nelze nijak ovlivnit závislost na okolním osvětlení scény pouze pomocí jednoho kanálu. Pro změnu jasu musí být upravovány všechny tři kanály současně. Více o tomto barevném modelu je možné nalézt v publikaci [12].

Protože reprezentace RGB neobsahuje žlutý kanál, byla tato metoda doplněna ještě o detekci v reprezentaci CMY. CMY je, na rozdíl od RGB, subtraktivním barevným modelem (tj. jednotlivé barevné složky se odčítají od bílé). CMY obsahuje také tři barevné složky - azurovou (C - Cyan), purpurovou (M - Magenta) a žlutou (Y - Yellow). Díky tomuto převodu získáme už samostatný žlutý kanál. Převod mezi RGB a CMY, pokud jsou hodnoty v RGB od 0 do 255, je následující:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 255 \\ 255 \\ 255 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

Samotná metoda funguje na způsobu porovnávání. Jako první se získá poměr kanálu s dominantní barvou, která popisuje hledanou barvu (v případě hledání červené je to červený kanál), se součtem hodnoty všech tří kanálů v barevném modelu. Tento poměr se dále porovná s předem nastaveným prahem. Rovnice pro určení hledané barvy tímto způsobem poté vypadají následovně:

$$\log_R(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } \frac{R(x,y)}{R(x,y) + G(x,y) + B(x,y)} > R_{lim} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (4)$$

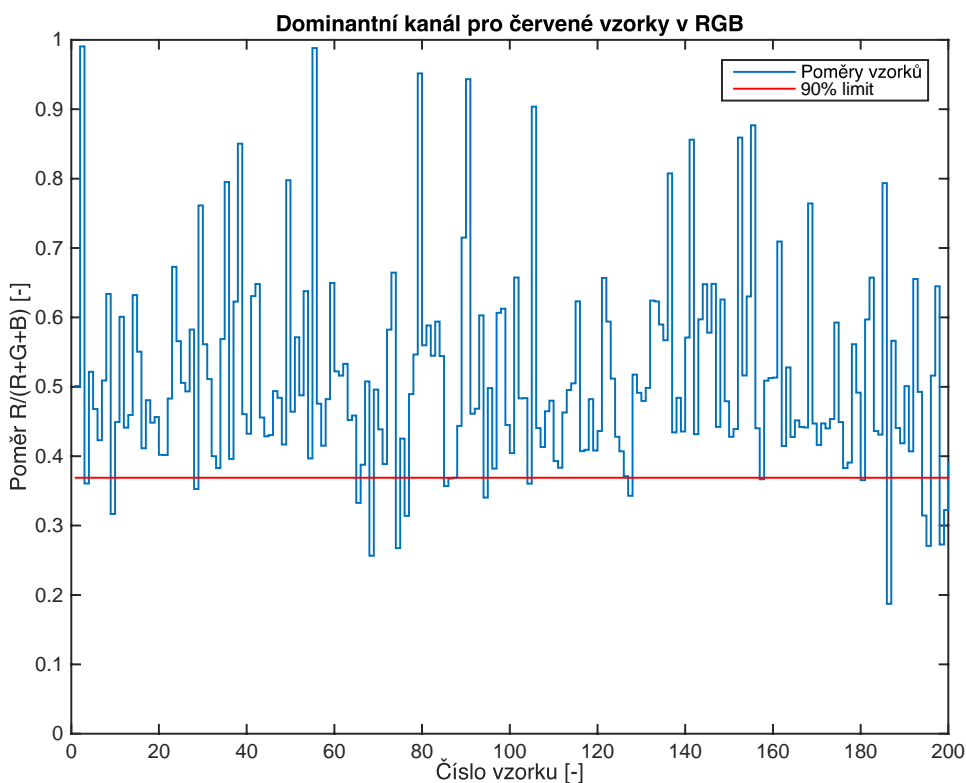
$$\log_B(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } \frac{B(x,y)}{R(x,y) + G(x,y) + B(x,y)} > B_{lim} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (5)$$

$$\log_Y(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } \frac{Y(x,y)}{C(x,y) + M(x,y) + Y(x,y)} > Y_{lim} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (6)$$

Výsledné nastavení prahů:

- 1) $R_{\text{lim}} = 0,369$
- 2) $B_{\text{lim}} = 0,338$
- 3) $Y_{\text{lim}} = 0,365$

Jelikož při nízkých hodnotách v obraze je tento poměr velice ovlivněn šumem, jsou tyto místa z lokalizace předem vyloučeny. Toho je dosaženo tak, že je přidán požadavek na hodnotu v hlavním kanálu pro určitou barvu. Tato složka u všech tří barev musí mít hodnotu vyšší než 30 (rozmezí 0-255).



Obrázek 4.4: Ukázka analýzy dominantního kanálu pro červené vzorky



Obrázek 4.5: Ukázka barevné lokalizace pro dominantní kanál. Vlevo obrázek po předzpracování, vpravo binární obraz lokalit určených jako červená

Ukázka provedené analýzy pro červené vzorky viz Obrázek 4.4, celá analýza viz Obrázek B.1 až Obrázek B.3 v přílohách. Ukázka lokalizace červené barvy po provedeném předzpracování viz Obrázek 4.5, ukázky pro ostatní barvy viz Obrázek C.4 až Obrázek C.6 v přílohách.

4.2.3 Poměrová lokalizace v RGB a CMY

Na rozdíl od předchozí metody, tato využívá poměru mezi jednotlivými kanály R,G a B (příp. C,M a Y), takže pro detekci jedné barvy je potřeba spočítat tři poměry a porovnat je se třemi limitními hodnotami.

Tato metoda byla uvedena v práci [5]. Proti původní metodě je zde upraveno vyhledávání žluté. K vyhledání žluté bylo použito stejné úvahy jako v předchozí metodě, a to převedení do reprezentace CMY. Použité vzorce mají ve výsledku tvar:

$$\log_R(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } RG_R \leq \frac{R(x,y)}{G(x,y)} \ \& \ RB_R \leq \frac{R(x,y)}{B(x,y)} \ \& \ BG_R \leq \frac{B(x,y)}{G(x,y)} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (7)$$

$$\log_B(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } BG_B \leq \frac{B(x,y)}{G(x,y)} \ \& \ BR_B \leq \frac{B(x,y)}{R(x,y)} \ \& \ GR_B \leq \frac{G(x,y)}{R(x,y)} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (8)$$

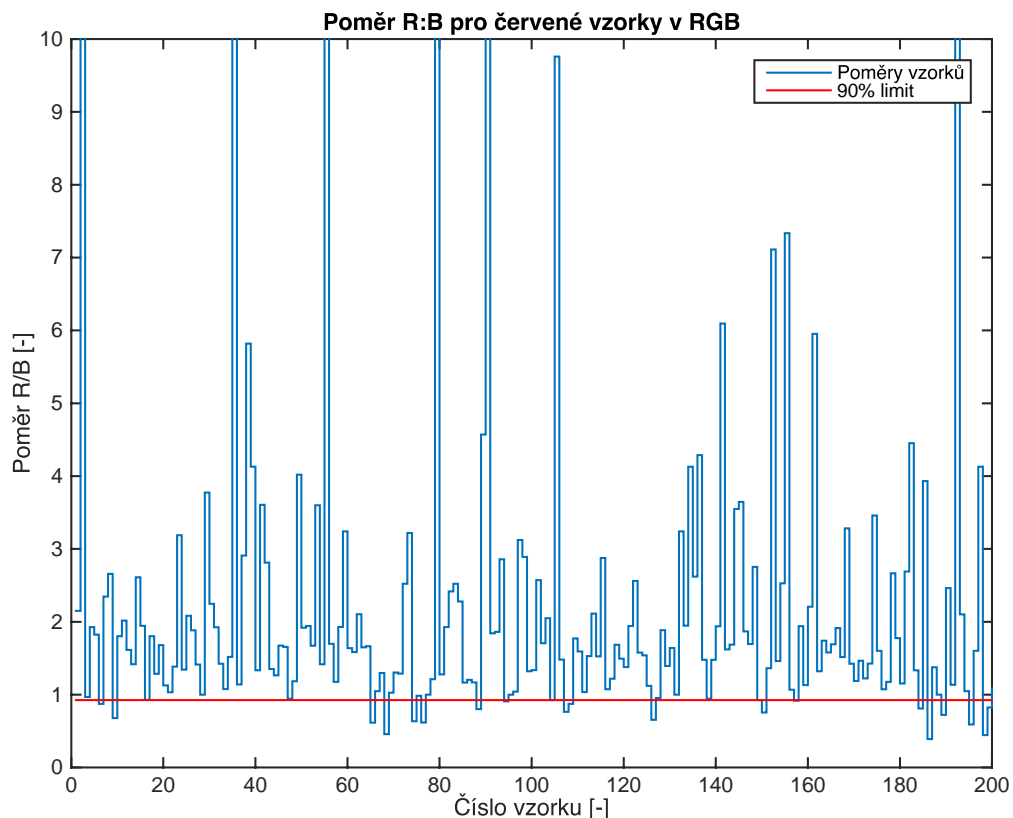
$$\log_Y(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } YM_Y \leq \frac{Y(x,y)}{M(x,y)} \ \& \ YC_Y \leq \frac{Y(x,y)}{C(x,y)} \ \& \ MC_Y \leq \frac{M(x,y)}{C(x,y)} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (9)$$

Výsledné nastavení prahů:

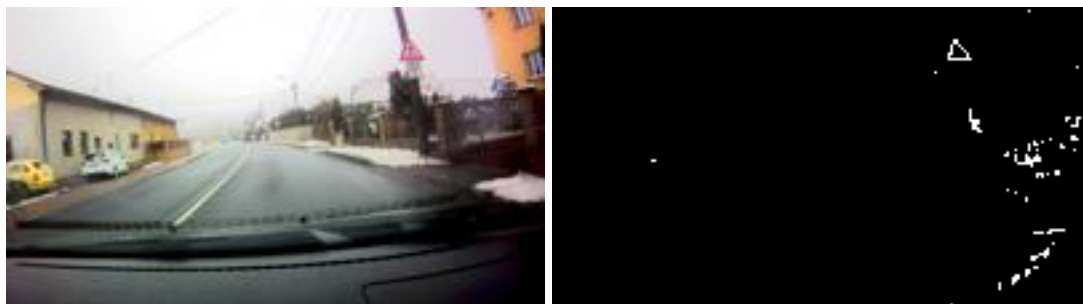
- | | | |
|------------------|---------------|---------------|
| 1) $RG_R = 1,4$ | $RB_R = 0,75$ | $BG_R = 1,11$ |
| 2) $BG_B = 1,03$ | $BR_B = 1,48$ | $GR_B = 0,99$ |
| 3) $YM_Y = 1,1$ | $YC_Y = 1,21$ | $MC_Y = 1,05$ |

Stejně jako v přechodí metodě může být poměr u nízkých hodnot výrazně ovlivněn šumem. Proto je zde provedena stejná operace s požadavkem na hodnotu v hlavním kanálu barvy, kde je limit nastaven také na hodnotu 30.

Ukázka analýzy poměrové metody červené barvy pro poměr R:B viz Obrázek 4.6, graf je zobrazen jenom pro zájmovou oblast možných prahů. Ukázky celé analýzy viz přílohy Obrázek B.4 až Obrázek B.12. Ukázka barevné lokalizace viz Obrázek 4.7. Další ukázky lokalizace viz Obrázek C.7 až Obrázek C.9 v přílohách.



Obrázek 4.6: Ukázka analýzy poměrové metody pro červené vzorky



Obrázek 4.7: Ukázka barevné lokalizace pro poměrovou metodu. Vlevo obrázek po předzpracování, vpravo binární obraz lokalit určených jako červené

4.2.4 Prahová lokalizace v HSV

Barevná reprezentace HSV obsahuje také tři nezávislé složky, které určují výslednou barvu. Ovšem v tomto případě se jedná o barevný tón (H - hue), sytost (S - saturation) a jas (V - value). Tento barevný model se obvykle zobrazuje ve formě kužele, kde úhel na hlavní ose určuje barevný tón, vzdálenost od osy sytost a výška kužele jas. Více o této barevné reprezentaci je možné najít v [12].

Jelikož se v základu snímek nachází v RGB reprezentaci, je nutné nejprve provést převod do HSV. Tento převod je již v programu Matlab naimplementován a je možné použít jeho knihovní funkci *rgb2hsv* (viz [22]).

Zobecnění rovnic pro lokalizaci barev v HSV barevné reprezentaci:

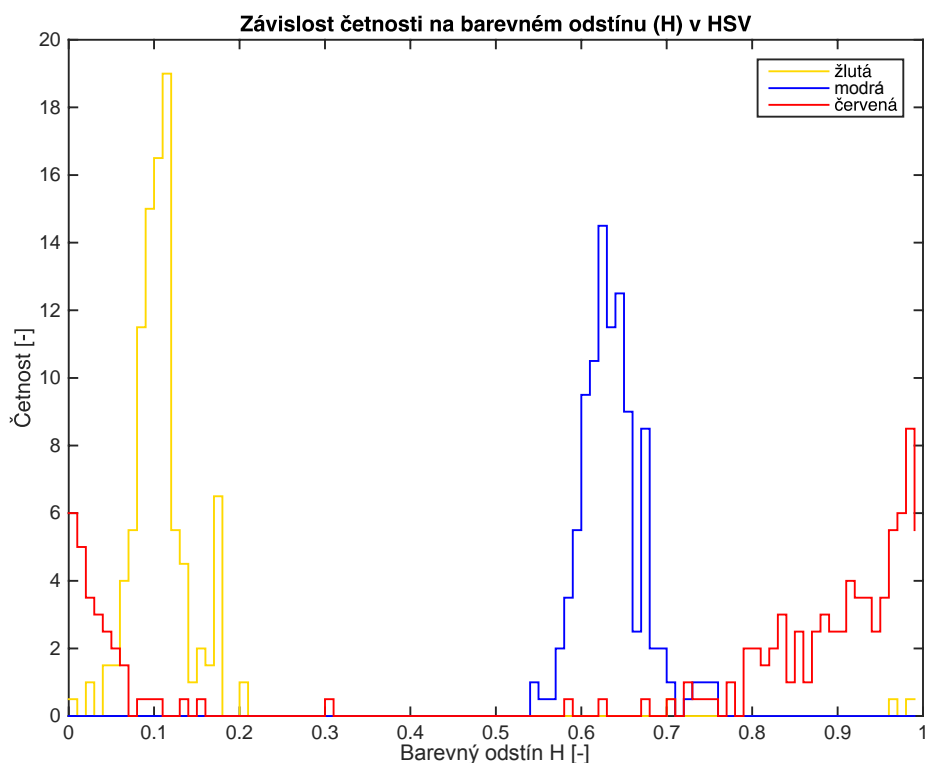
$$\log H(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } H_{min} \leq H(x, y) \text{ \& } H(x, y) \leq H_{max} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (10)$$

$$\log S(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } S_{min} \leq S(x, y) \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (11)$$

$$\log V(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } V_{min} \leq V(x, y) \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (12)$$

$$\log_Color(x, y) = \log H(x, y) \text{ \& } \log S(x, y) \text{ \& } \log V(x, y) \quad (13)$$

Nejdůležitější pro lokalizaci barvy v HSV je barevný tón. Je třeba vědět, ve které výšce jehlanu se barva nachází. Omezení sytosti je důležité z důvodu, aby se lokalizace neprováděla v blízkosti šedých odstínů (čím nižší sytost, tím je barva více šedá), kde jsou rozdíly mezi jednotlivými barevnými tóny minimální. Omezení jasu je zde z podobného důvodu jako u sytosti. V případě nízkého jasu se lokalizace nachází v téměř černých barvách a barevný tón je již velmi ovlivněn případným šumem.



Obrázek 4.8: Ukázka analýza barevného odstínu (Hue) v barevné reprezentaci HSV

Nastavení prahů:

- 1) Pro červenou: $H_{\min} = 0,76$ $H_{\max} = 0,11$ $S_{\min} = 0,25$ $V_{\min} = 0,2$
- 2) Pro žlutou: $H_{\min} = 0,53$ $H_{\max} = 0,76$ $S_{\min} = 0,24$ $V_{\min} = 0,18$
- 3) Pro modrou: $H_{\min} = 0,06$ $H_{\max} = 0,2$ $S_{\min} = 0,2$ $V_{\min} = 0,19$

Lze si všimnout, že pro vyhledávání červené barvy je maximální barevný odstín menší než minimální. Je to díky vlastnosti HSV modelu, kde se červená barva vyskytuje na přelomu začátku a konce plného úhlu. Díky tomu, že je maximální hodnota odstínu 1 (případně 360°) a minimální 0, nemůžou být oba limity splněny současně. V tomto případě se nahradí logická spojka AND v rovnici č.10 za spojku OR.

Ukázka analýzy barevného odstínu v HSV prostoru viz Obrázek 4.8. Celá analýza viz Obrázek B.13 až Obrázek B.15 v přílohách. Ukázka barevné lokalizace pomocí prahování v HSV viz Obrázek 4.9. Další ukázky lokalizace viz Obrázek C.10 až Obrázek C.12 v přílohách.



Obrázek 4.9: Ukázka barevné lokalizace pomocí prahování v HSV. Vlevo obrázek po předzpracování, vpravo binární obraz lokalit určených jako červené

4.2.5 Prahová lokalizace v HSL

Tato barevná reprezentace je podobná reprezentaci HSV. První dvě složky (H a S) zůstávají stejné jak do jména, tak i do významu. Hlavní odlišnost nastává ve složce třetí, která se zde nazývá světlost (L - Lightness). Tato složka je chápána trochu jiným způsobem než u předchozí reprezentace, a to má za následek, že plně syté barvy (maximální saturace) se nacházejí v hodnotě $L = 0.5$ (u HSV to bylo při $V = 1$). Tato vlastnost způsobuje i jiné znázornění barevné reprezentace, která už není kužel, ale dvojice kuželů spojená základnami. Více o HSL reprezentaci v [12].

Odlišnost způsobená jasovou složkou má výhodu při oddělování bílé, která lze tentokrát oddělit nastavením druhého prahu pro L složku. Díky tomuto lze v reprezentaci HSL očekávat jiné výsledky.

Převod do reprezentace HSL není v programu Matlab naimplementován, bylo tedy potřeba vytvořit si vlastní převodní funkci. Rovnice vycházejí z algoritmu popsáného v knize [30]:

$$M = \max(R, G, B) \quad (14)$$

$$m = \min(R, G, B) \quad (15)$$

$$H = \begin{cases} \text{nedefinováno} & \text{pro } R = G = B \\ \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{G - B}{M - m} \right) & \text{pro } M = R \text{ a } G \geq B \\ \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{G - B}{M - m} \right) + 1 & \text{pro } M = R \text{ pro } G < B \\ \frac{1}{6} \cdot \left(2 + \frac{B - R}{M - m} \right) & \text{pro } M = G \\ \frac{1}{6} \cdot \left(4 + \frac{R - G}{M - m} \right) & \text{pro } M = B \end{cases} \quad (16)$$

$$L = \frac{1}{2}(M + m) \quad (17)$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{pro } R = G = B \\ \frac{M - m}{M + m} & \text{pro } L \leq 0,5 \\ \frac{M - m}{2 - M + m} & \text{pro } L > 0,5 \end{cases} \quad (18)$$

Rovnice pro prahování ve složkách H a S jsou shodné s rovnicemi č. (10) a (11) z předchozí metody a zde již nebudou uvedeny. Pro určení binárního obrazu pro H složku při detekci červené platí stejná záměna logické spojky jako v přechozí metodě. Změna je pouze pro rovnici s jasovou složku L:

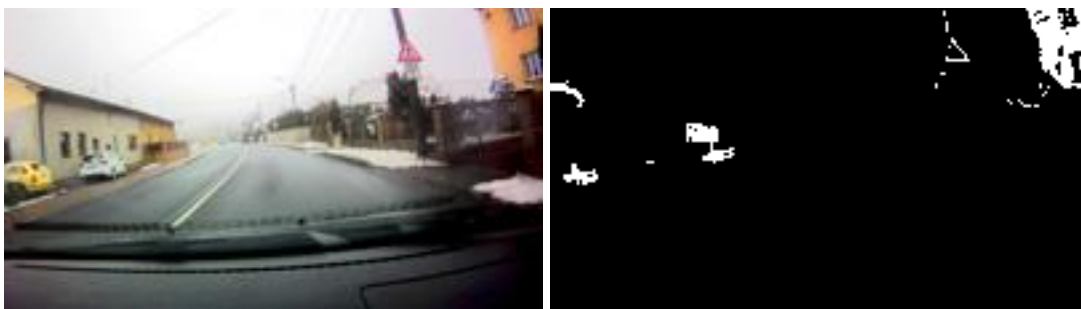
$$\log L(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{pro } L_{\min} \leq L(x, y) \leq L_{\max} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (19)$$

$$\log_Color(x, y) = \log H(x, y) \& \log S(x, y) \& \log L(x, y) \quad (20)$$

Nastavení prahů:

- 1) Pro červenou: $H_{\min} = 0,76$ $H_{\max} = 0,11$ $S_{\min} = 0,15$
 $L_{\min} = 0,11$ $L_{\max} = 0,87$
- 2) Pro žlutou: $H_{\min} = 0,52$ $H_{\max} = 0,75$ $S_{\min} = 0,14$
 $L_{\min} = 0,15$ $L_{\max} = 0,72$
- 3) Pro modrou: $H_{\min} = 0,06$ $H_{\max} = 0,2$ $S_{\min} = 0,2$
 $L_{\min} = 0,15$ $L_{\max} = 0,95$

Analýza barevného odstínu pro HSL je díky vlastnostem této reprezentace shodná s analýzou pro HSV (viz Obrázek 4.8). Pro úplnost je uvedena společně s analýzou ostatních složek v příloze, viz Obrázek B.16 až Obrázek B.18. Ukázka barevné lokalizace pomocí prahování v reprezentaci HSL viz Obrázek 4.10. Ukázky pro ostatní barvy viz Obrázek C.13 až Obrázek C.15 v přílohách.



Obrázek 4.10: Ukázka barevné lokalizace pomocí prahování v HSL, Vlevo obrázek po předzpracování, vpravo binární obraz lokalit určených jako červené

4.2.6 Neuronová síť typu RCE

Tato neuronová síť byla použita v mé bakalářské práci [14] a vychází z algoritmu prezentovaném v článku [15]. RCE (Restricted Coulomb Energy) neuronové sítě se všeobecně používají zejména ke klasifikaci v hyperprostoru. Pokud uvážíme, že barevná reprezentace je vlastně trojrozměrný prostor, může se tento druh klasifikátoru využít. Neuronová síť prezentovaná v této kapitole bude využita jako barevný klasifikátor v prostorech RGB, HSV a HSL.

RCE neuronové sítě se skládají ze tří vrstev: vstupní, skryté a výstupní vrstvy. Vstupní vrstva má na starosti pouze distribuci barevných složek do skryté vrstvy, a tedy se v některých zdrojích neuvažuje ani jako samostatná vrstva. Nejdůležitější částí neuronové sítě je vrstva skrytá (neboli také prototypová vrstva). V této vrstvě každý neuron uchovává informace o přesné pozici v hyperprostoru a vzdálenosti od této pozice (poloměru). Díky těmto informacím síť rozděluje hyperprostor pomocí předem naučených hyperkoulí. Vždy, když zkoumaný vzorek patří do hyperkoule reprezentované neuronem ve skryté vrstvě, tento neuron zaktivuje svůj výstup.

Pro zjištění, jestli vstupní data patří do hyperkoule, se používá tzv. vnitřní potenciál neuronu, v tomto případě se jedná o klasickou euklidovskou vzdálenost:

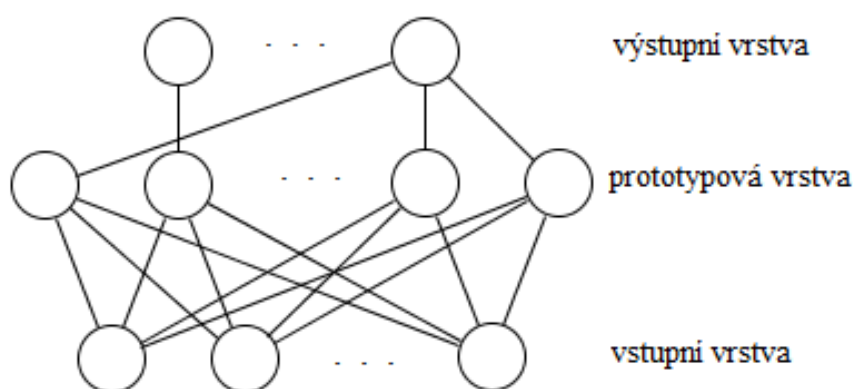
$$\xi = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i - x_i)^2} \quad (21)$$

kde n je rozměr hyperprostoru, w_i je naučená pozice v hyperprostoru a x_i jsou hodnoty vstupu. Vnitřní potenciál neuronu se dále porovnává s naučenou hodnotou poloměru (také se mu říká prahová hodnota) a určí se výstupní hodnota prototypového neuronu:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{pro } \xi \geq h \\ 0 & \text{pro } \xi < h \end{cases} \quad (22)$$

kde ξ je vnitřní potenciál neuronu a h je poloměr (prahová hodnota).

Výstupy ze skryté vrstvy jsou přímo zapojené do neuronu ve výstupní vrstvě, který reprezentuje danou klasifikační skupinu. Zde platí, že každý neuron ze skryté vrstvy může být zapojený pouze do jednoho neuronu výstupní vrstvy. Neuron výstupní vrstvy je aktivní ve chvíli, kdy alespoň jeden jeho vstupní je aktivní. Znárodnění RCE neuronové sítě viz Obrázek 4.11.



Obrázek 4.11: RCE neuronová síť

Učení

Učení nebo také adaptivní dynamika je u této neuronové sítě závislé na množství nastavitelných parametrů:

- maximální poloměr - určuje jak velký může být maximálně poloměr hyperkoule
- minimální poloměr - určuje jak velký může být minimálně poloměr hyperkoule
- prahová hustota - určuje minimální poměr mezi učícími vzorky uvnitř hyperkoule a jejím poloměrem

- učící koeficient – určuje jak rychle se bude měnit poloměr hyperkoule v průběhu učení (čím menší, tím rychleji se mění)

Mezi parametry se vyskytuje pojem hustota. Tato hodnota je pro celé učení velmi důležitá a pro trojrozměrný prostor se vypočítá jako:

$$D_p = \frac{3N}{4\pi r^3} \quad (23)$$

kde N je hodnota vnitřního počítadla neuronu a r je poloměr naučené hyperkoule.

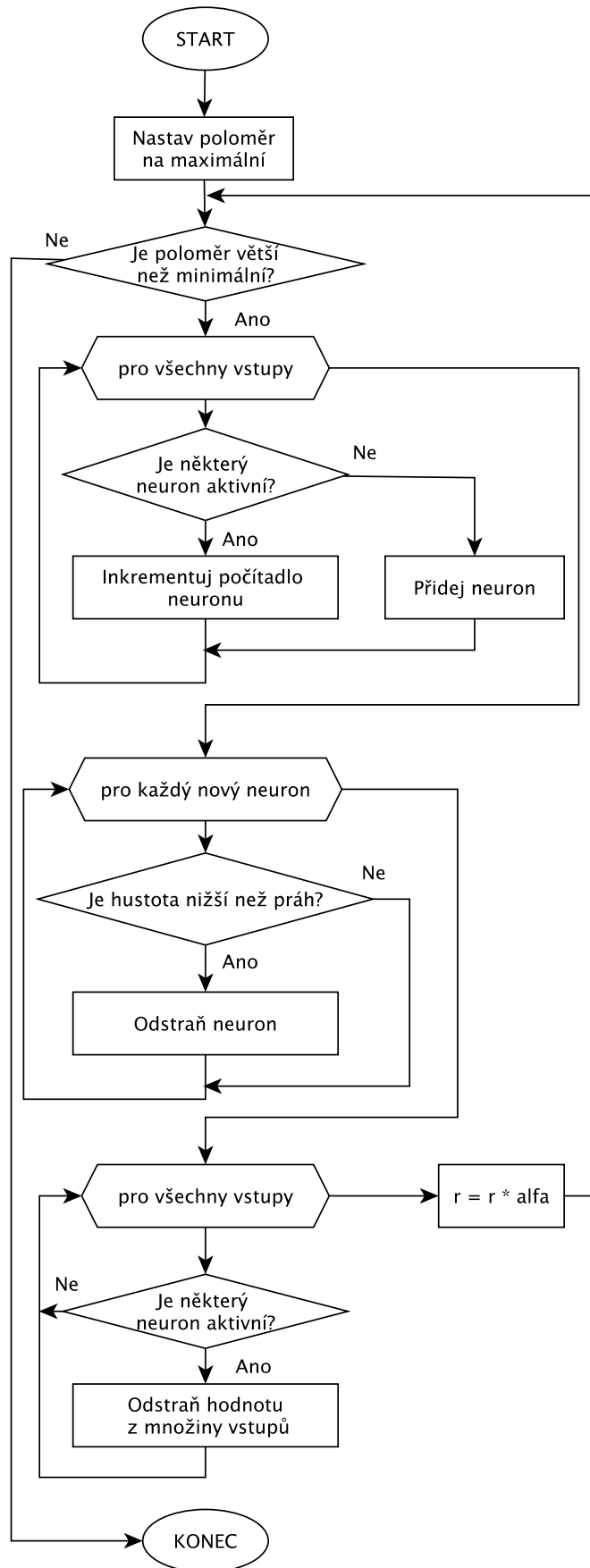
Průběh učení byl proti původnímu algoritmu pozmeněn, aby se dosáhlo rychlejšího průběhu učení. Implementovaný algoritmus funguje následovně:

- 1) Jako aktuální poloměr se nastaví maximální poloměr
- 2) Prochází se všechny vstupy v tréninkové množině
 - a) Pokud vzorek aktivuje libovolný vytvořený neuron, tento neuron navýší o jedničku svoje vnitřní počítadlo
 - b) Pokud vzorek neaktivuje žádný neuron, vytvoří se nový neuron skryté vrstvy se souřadnicemi stejnými, jako jsou hodnoty vzorku, a jako poloměr se vezme aktuální poloměr
- 3) Prochází se všechny nově vytvořené neurony a vypočte se jejich hustota
 - a) Pokud je vypočítaná hustota vyšší než prahová hustota, nic se neděje
 - b) Pokud je vypočítaná hustota nižší než prahová hustota, neuron se odstraní
- 4) Znova se projdou všechny vstupy
 - a) Pokud aktivují některý z nových neuronů, tak se odstraní z množiny
 - b) Pokud žádný neuron neaktivují, tak zůstávají v množině vstupů
- 5) Pomocí učícího koeficientu se sníží aktuální poloměr a pokračuje krokem 2) dokud není dosaženo minimálního poloměru

Výpočet nového poloměru vypadá následovně:

$$r_k = r_{k-1} \cdot \alpha \quad (24)$$

kde r_k je nový poloměr, r_{k-1} je předchozí poloměr a α je učící koeficient. Znázornění učícího algoritmu viz Obrázek 4.12.



Obrázek 4.12: Diagram učícího algoritmu neuronové sítě typu RCE

Před samotným učením je potřeba množinu tréninkových vzorů převést do potřebné barevné reprezentace. Tady ovšem nastává jistý problém u reprezentací s barevným odstínem - Hue (HSV a HSL). Jelikož je barevný odstín vlastně kružnice, nelze k němu přistupovat úplně stejným způsobem jako například k RGB. Je potřeba uvážit možný přesah hyperkoucí z konce rozměru zase na začátek a naopak. Tento problém je v algoritmu vyřešen takovým způsobem, že při učení se pro každý vstupní vzor vyzkouší i příslušnost k neuronu v případě navýšení a snížení barevného odstínu o plný úhel (pokud je H reprezentováno hodnotou 0-1, tak se vytvoří dva nové vzorky s přičtenou a odečtenou hodnotou 1). Tímto způsobem se provede naučení celé sítě. Aby ale nedošlo ke zbytečnému zpomalení aktivačního průběhu (následující část), je po naučení provedena dodatečná úprava neuronů. V této úpravě dojde k nalezení těch neuronů, které mají přesah přes začátek nebo konec (určí se z pozice středu a poloměru hyperkoule), a vytvoří se k nim identický neuron s posunutím barevného odstínu o plný úhel příslušným směrem.

Při učení v barevných prostorech se samostatnou jasovou složkou (HSV a HSL) lze vliv těchto složek potlačit. Toho je dosaženo pomocí zmenšení velikosti tohoto rozměru v příslušném prostoru. Poloměr klasifikační hyperkoule se ale nezmění. Změna rozměru prostoru pro případ HSV:

$$V_{new} = V_{old} \cdot l \quad (25)$$

kde V_{old} jsou původní hodnota složky V , V_{new} jsou nové hodnoty složky V a l je koeficient závislosti na světle (0 až 1). V případě redukce jasové složky je třeba stejnou operaci provádět i před aktivací.

Pro naučení v tomto případě byly využity vzorky získané pomocí masek z galerie, stejně jako pro prahové metody (viz úvod kapitoly 4.1). Celkový počet vzorků (pixelů) pro každou barvu byl 200.

Nastavené hodnoty pro učení byly zvoleny experimentálně pomocí vzorku snímků z galerie (ze stejných 100 snímků, které byly použity pro analýzu v předchozích metodách). Výsledné hodnoty jsou následovné:

- 1) Pro všechny prostory a barvy:
 - a) učicí koeficient $\alpha = 0.9$
 - b) maximální poloměr 1
 - c) minimální poloměr 0.1
- 2) Pro RGB:
 - a) Červená: prahová hustota: 900
 - b) Modrá: prahová hustota: 900
 - c) Žlutá: prahová hustota: 1000

- 3) Pro HSV:
- a) Červená: prahová hustota: 800 koeficient $l = 0.7$
 - b) Modrá prahová hustota: 1000 koeficient $l = 0.7$
 - c) Žlutá prahová hustota: 4000 koeficient $l = 0.5$
- 4) Pro HSL:
- a) Červená: prahová hustota: 1400 koeficient $l = 0.9$
 - b) Modrá prahová hustota: 900 koeficient $l = 1$
 - c) Žlutá prahová hustota: 5000 koeficient $l = 0.7$

Implementovaná funkce pro učení se nazývá *learnRCE* a má dva povinné parametry: tréninkovou množinu a prahovou hustotu. Vrací strukturu s naučenou neuronovou sítí. Další volitelné parametry jsou:

- 'Representation' - výchozí hodnota je 'RGB', další varianty: 'HSV' a 'HSL'
- 'LightDepend' - závislost na jasové složce od 0 do 1, výchozí hodnota 1
- 'Alfa' - učící koeficient, hodnoty od 0 do 1, výchozí hodnota 0.9
- 'R_Max' - maximální poloměr, výchozí hodnota 1
- 'R_min' - minimální poloměr, výchozí hodnota 0.1

Příklad volání:

```
network = learnRCE(trainset,1000, 'Representation','HSV');
```

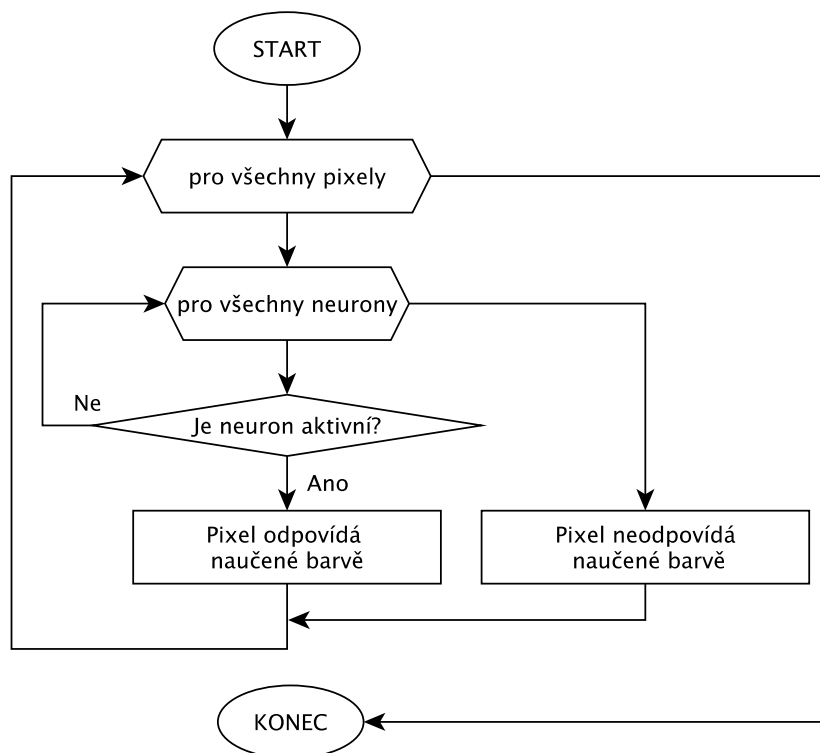
Aktivace

Aktivace neboli také aktivní dynamika je již proti učení jednoduchá a rychlá. Postupně se naučené síti předkládají barevné hodnoty jednotlivých pixelů vstupního obrazu. Je-li výstup sítě aktivní, znamená to, že barva odpovídá naučené barevné skupině. Před samotnou aktivací se ještě provede převod obrazu do barevné reprezentace, ve které byla síť naučena.

Průběh aktivace:

- 1) Procházejí se všechny pixely snímku
 - a) Je-li aktivní některý z neuronů, pixel odpovídá naučené barvě
 - b) Není-li aktivní žádný z neuronu, pixel naučené barvě neodpovídá

Znázornění aktivačního algoritmu viz .Obrázek 4.13.



Obrázek 4.13: Diagram aktivačního algoritmu neuronové sítě typu RCE

Implementovaná funkce pro aktivaci se nazývá *activateRCE* a má dva povinné parametry: vstupní obrázek a naučenou neuronovou síť. Vrací binární obraz reprezentující umístění hledané barvy v původním snímku.

Příklad volání:

```
out = activateRCE (image,network);
```

Tuto síť lze použít buď samostatně pro každou třídu barevné klasifikace (tento případ, viz Obrázek 4.1), a tím se získá logická mapa vstupního obrazu, a nebo ji lze zkombinovat do jedné (v tomto případě by měla tři výstupní neurony). V případě kombinace sítě do jedné je potřeba uvážit situaci, kdy by se jednotlivé hyperkoule z různých tříd mohly protínat (více aktivních výstupních neuronu). Tento problém jde řešit například různou prioritou výstupů. Jelikož se při vyhledávání značky dá využít informace o tom, jaká barva byla vyhledávaná pro další zpracování, byl zvolen první přístup (samostatné mapy pro každou hledanou barvu).

Ukázky výsledné barevné lokalizace červené pomocí RCE sítě ve všech třech barevných prostorech (RGB, HSV a HSL) viz Obrázek 4.14. Ukázky pro ostatní hledané barvy viz Obrázek C.16 až Obrázek C.24 v přílohách.



Obrázek 4.14: Ukázka barevné lokalizace pomocí RCE neuronové sítě. Vlevo nahoře obrázek po předzpracování, vpravo nahoře binární obraz lokalit určených jako červené v RGB prostoru, vlevo dole v HSV prostoru a vpravo dole v HSL prostoru

4.3 Redukce počtu nalezených oblastí

Po všech uvedených barevných detekcích je získána logická (binární) mapa obrazu, která vyjadřuje, ve kterých částech se hledaná barva nachází a ve kterých nikoli. Na tuto mapu se dá také pohlížet jako na určení jednotlivých objektů pomocí shluků jedniček. Těchto objektů je ovšem po barevné lokalizaci vygenerováno zpravidla velké množství.

Před samotnou redukcí nalezených oblastí je možné provést morfologickou operaci uzavření. Ta je provedena následujícím způsobem:

- 1) Operace dilatace (strukturní element: čtverec rozměrů 3x3 pixelů)
- 2) Vyplnění objektů
- 3) Operace eroze (strukturní element: čtverec rozměrů 5x5 pixelů)

Aby se omezilo množství nalezených objektů, je třeba si určit, které jsou relevantní a které nikoli. Je možné uvažovat například maximální a minimální možnou velikost objektu. K odhadu velikosti objektu byla použita metoda na uzavření oblasti do obdélníku (bounding box) pomocí knihovni metody *RegionProps* (více o metodě viz [22]). Objekt je určen za příliš malý, pokud je některá ze stran tohoto opisného obdélníku menší než 2% menší strany vstupního snímku (zpravidla výšky). V případě žlutých značek (v ČR pouze značka hlavní silnice) byl tento limit snižen na 1%. Je to z důvodu, že hlavní silnice obsahuje významný bílý okraj a byla by tedy rozeznána později než ostatní značky. A naopak objekt je považován za příliš velký, pokud rozměr některé ze stran přesáhne 100% menšího rozměru vstupního snímku (může se jednat například o oblohu).

Další možností je redukce protáhlých objektů. K tomuto byl vytvořen nový příznak, který vyjadřuje protáhlost objektu. Jedná se o poměr majoritní a minoritní osy. V tomto případě byl určen jeho limit na hodnotu 3.

Implementovaná funkce se nazývá *regionsFiltr*. Povinný vstup je pouze binární obraz. Výstupem je binární obraz po redukci oblastí. Další volitelné parametry jsou:

- 'Oblong' – určení, jestli se mají filtrovat protáhle objekty, výchozí hodnota je false
- 'Enclosing' – určení, jestli se má provádět operace uzavření, výchozí hodnota je false
- 'MaxSize' - maximální velikost objektu v procentech menší strany vstupního snímku, výchozí hodnota je 100
- 'MinSize' - minimální velikost objektu v procentech menší strany vstupního snímku, výchozí hodnota je 2
- 'DilatationSize' - velikost morfologického jádra pro dilataci, výchozí hodnota je 5
- 'ErodeSize' - velikost morfologického jádra pro erozi, výchozí hodnota je 3

Příklad volání funkce:

```
out = regionsFiltr (image, 'Enclosing', true);
```

Ukázka redukce počtu nalezených oblastí s použitým uzavíráním a redukcí protáhlých objektů viz Obrázek 4.15.



Obrázek 4.15: Ukázka redukce počtu nalezených oblastí. Vlevo binární obraz po barevné lokalizaci v HSV prostoru, vpravo obraz po redukci se zapnutým filtrováním protáhlých objektů a uzavíráním. Minimální velikost 2% výšky snímku a maximální velikost 100% výšky snímku.

4.4 Tvarová lokalizace

Dalším krokem je lokalizace na základě tvarů. Jejím úkolem je ještě více omezit množství oblastí, které byly vytvořeny barevnou lokalizací. V této kapitole jsou prezentovány dva naimplementované přístupy. A to popis tvarů pomocí Houghovy transformace a popis oblastí na základě vlastností regionů.

4.4.1 Lokalizace pomocí Houghovy transformace

Pro Houghovu transformaci je třeba v obrázku najít hrany. K tomuto účelu se dá použít například Sobelův hranový filtr. V rámci implementace této metody byla využita knihovní funkce Matlabu *edge* [22], právě s nastavením využívajícím Sobelovu metodu.

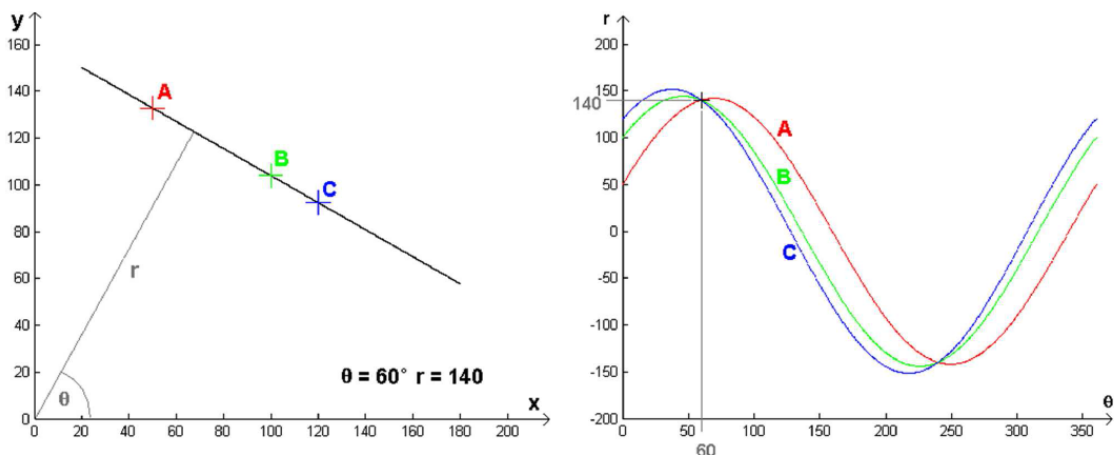
Pomocí Houghovy transformace lze vyhledávat jednoduché objekty pomocí analytického popisu (například kružnice, čtverec a trojúhelník). Také lze určit úhel natočení objektu (v případě, že je objekt popsán přímkami). Mezi její největší výhody patří malá citlivost na šum a použitelnost i při částečném zakrytí objektu. Naopak její největší nevýhodou je výpočetní náročnost.[13]

Lokalizace přímek[13]

Uvažujme rovnici přímky ve tvaru:

$$y = k \cdot x + q \quad (26)$$

Transformace probíhá z prostoru xy na prostor kq . Přímka z xy prostoru se transformuje na bod v kq prostoru a naopak. Abychom našli přímku z xy prostoru v kq , hledáme průsečík všech přímek (maximum). Zde je problém, že směrnice k může být libovolné reálné číslo v intervalu $(-\infty, \infty)$, což je nepraktické pro porovnávání úhlů.



Obrázek 4.16: Mapování přímky v Houghově transformaci [13]

Další možností je uvažovat rovnici přímky ve tvaru:

$$r = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad (27)$$

Zde se přímka mapuje na bod a bod na křivku (viz Obrázek 4.16). Kde r je délka normály od počátku a θ je úhel mezi normálou a osou x v intervalu $(-90^\circ, 90^\circ)$.

Lokalizace obdélníků

Do této skupiny spadají čtvercové a obdélníkové značky. Samostatnou skupinu pro čtvercové značky nemá smysl tvořit, protože díky natočení v trojrozměrném prostoru a perspektivní deformaci je významná vlastnost čtverce, shodnost všech čtyř stran, narušena. Lokalizace obdélníkového tvaru vychází z lokalizace přímk. Je třeba najít takové čtyři přímky, které splňují následující podmínky:

- Vždy dvě přímky jsou k sobě rovnoběžné, tzn. je třeba najít dva páry přímek, které mají úhel θ (viz lokalizace přímk) stejný.
- Nalezené páry přímek jsou na sebe kolmé. Úhel svíraný těmito dvojicemi přímek je 90° .

Jelikož v reálném snímku nelze dosáhnout úplné přesnosti těchto parametrů a obdélníky jsou ve skutečnosti obecnými čtyřúhelníky, jsou ve skriptu nastavené tolerance:

- Úhly se mohou lišit maximálně o 20° . Jak v případě rovnoběžek, tak v případě pravých úhlů.

V rámci hledání obdélníku se pro další zpracování osvědčilo rozlišovat natočení. Skript rozlišuje hledání obdélníku ležícího na hraně (např. modré informativní značky) a obdélníku natočeného z této polohy o 45° (např. značka hlavní silnice). Tohoto je dosaženo požadovaným parametrem na úhel θ pro libovolnou přímku v nalezeném obdélníku:

- 1) Vodorovně ležící obdélník - úhel θ v rozmezí $\langle -25^\circ, 25^\circ \rangle$
- 2) Natočený obdélník - úhel θ v rozmezí $\langle 15^\circ, 75^\circ \rangle$

Lokalizace rovnostranných trojúhelníků

Také lokalizace rovnostranného trojúhelníku vychází z lokalizace přímk a vztahů mezi nimi. V tomto případě hledáme tři přímky:

- Přímky svírají úhly 60° .

I v tomto případě bylo nezbytné kvůli deformaci nastavit tolerance do vyhledávacího algoritmu:

- Úhly mezi přímkami se mohou lišit maximálně o 15° .

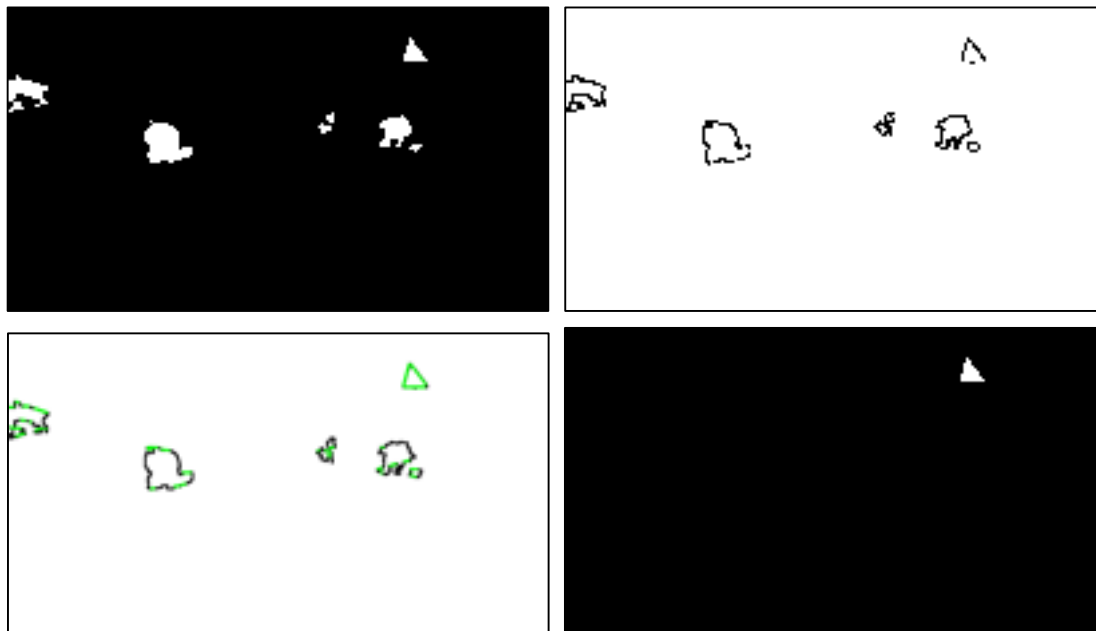
Lokalizace kružnic[13]

Obecná rovnice kružnice může být napsána ve tvaru:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (28)$$

Hledanými parametry tedy jsou a , b (určují střed kružnice) a r (poloměr). Jelikož hledáme tři parametry, Houghův prostor je trojrozměrný, a proto vzroste i výpočetní náročnost.

Experimentálně bylo ověřeno, že současně s lokalizací kružnice je detekován také osmiúhelník (značka P06 - Stůj, dej přednost v jízdě!). Je to z důvodu, že osmiúhelník je svým tvarem již kružnici dostatečně blízký.



Obrázek 4.17: Ukázka lokalizace trojúhelníku pomocí Houghovy transformace. Vlevo nahoře vstupní binární obraz po předzpracování, vpravo nahoře obraz po detekci hran, vlevo dole obraz s nalezenými přímkami, vpravo dole výsledný binární obraz

Implementovaná funkce se nazývá *locateShapesHough*. Má dva povinné parametry: vstupní binární obraz a hledaný tvar. Tvar může mít následující hodnoty:

- 'circle' - lokalizace kružnice
- 'rectangle' - lokalizace obdélníku
- 'triangle' - lokalizace trojúhelníku
- 'diamond' - lokalizace obdélníku postaveného na roh

Příklad volání funkce:

```
out = locateShapesHough (image, 'circle');
```

Jak už bylo zmíněno, lokalizace objektu je pomocí Houghovy transformace velice výpočetně náročná. Tato náročnost se navíc zvyšuje s každou detekovanou přímkou v obraze exponenciálně. Z toho důvodu je v případě detekce přímek detekováno pouze 10 nejvýznamnějších ve vstupním snímku. Ukázka tvarové lokalizace pomocí Houghovy transformace viz Obrázek 4.17.

4.4.2 Lokalizace pomocí vlastností regionů

Tento druh lokalizace využívá popisů vlastností již nalezených spojitých oblastí (regionů) získaných z barevné lokalizace. Tyto vlastnosti mohou být například: konvexnost, kompaktnost, rozměry ohraničujícího obdélníku apod.

Tyto vlastnosti se dají z regionu snadno extrahovat měřením. Skript pro rozlišení tvarů v této práci využívá již naimplementované funkce *regionprops* z Matlabu. Tato funkce získá již množství vlastností popisující region, ze kterých je možno vycházet k určení dalších (například kompaktnost).

Limitní hodnoty použity v jednotlivých lokalizacích byly určeny experimentálně, na vzorku ručně vytvořených masek dopravního značení (ruční segmentace) z reálných snímků.

Lokalizace kružnic

Lokalizace kružnice je založena na výpočtu kompaktnosti (viz [31]):

$$\text{kompaktnost} = \text{obvod}^2 / \text{plocha} \quad (29)$$

Čím víc je tato hodnota blízká 4π , tím je popisovaná oblast bližší ideálnímu kruhu. V ostatních případech je tato hodnota vyšší. Jelikož chceme v obraze lokalizovat kružnice, je potřeba nejprve vyplnit nalezené oblasti, abychom mohli využít kompaktnost pro lokalizování kruhů.

Samotný algoritmus funguje ve dvou krocích:

- 1) Vypočítá se kompaktnost z vyplněné oblasti a určí se, jestli je nižší než 6π - tento krok zajistí, že se odeberou oblasti nejvíce vzdálené kruhu, ale neodeberou se oblasti, které z důvodu nepřesnosti barevné lokalizace nejsou ideálně segmentovány (například nemají dostatečně vysokou konvexnost, kvůli nerovnoměrnému průběhu okraje - jsou tzv. "zubaté")
- 2) Vypočítá se kompaktnost z konvexní plochy oblasti a určí se, jestli je nižší než $4,04\pi$ (1% tolerance) - tento krok zajistí, že se odeberou oblasti, jejichž konvexní schránka není kruhová (například obdélníky)

V případě použití pouze prvního bodu s takto zvoleným prahem by se ve výsledku objevilo množství oblastí s vyšší konvexností (obdélníky apod.) a při sníženém prahu by naopak ve výsledku chyběly kružnice s nerovnoměrným okrajem a díky tomu zvýšeným obvodem. Naopak v případě použití pouze druhého bodu by se ve výsledku objevily oblasti podobné hvězdicím (konvexní obal má kružnicový charakter, ale základní tvar je tomuto vzhladu vzdálený).

I v tomto algoritmu jsou osmiúhelníky natolik blízké kruhu, že spadají do této lokalizace.

Lokalizace obdélníků ležících na hraně

Tento druh tvaru je typický zejména pro modré informační značení. Do obdélníku jsou taktéž započítány i čtverce, protože díky vlivům zkreslení je pravidelnost čtverce v mnoha případech porušena. Jelikož je pro další zpracování vhodné odlišovat vodorovné obdélníky od obdélníků natočených o 45° (stojící na rohu), jsou zde použity dva samostatné vyhledávací algoritmy.

Významnou vlastností, které vyhledávací algoritmus využívá, je pravoúhlost [31]:

$$\text{Pravoúhlost} = \max(\text{plocha oblasti} / \text{plocha opsaného obdelníku}) \quad (30)$$

Jedná se o maximální poměr, který se určí postupným natáčením objektu. Čím vyšší je uvedený maximální poměr, tím vyšší je také pravoúhlost. Nejvyšší možná hodnota pravoúhlosti je 1.

U některých modrých informačních značek se můžeme setkat s jevem, kdy vnitřní část oblasti značky (bílá oblast s piktogramem) rozdělí vnější obdélník na dvě části. Tento jev lze dobře pozorovat například na značce "IP06 - přechod pro chodce". Z tohoto důvodu je v algoritmu pracováno s konvexní obálkou oblasti i přesto, že tento přístup může způsobit nepravdivou pozitivní detekci u jiných oblastí.

Popis lokalizace:

- 1) Získá se orientace konvexní oblasti (orientace majoritní osy objektu). Ta musí být v rozsahu $\langle 15^\circ, 75^\circ \rangle$.
- 2) Určí se maximální pravoúhlost konvexní oblasti pro rozsah úhlů $\langle -30^\circ, 30^\circ \rangle$
- 3) Ze správně natočeného objektu se určí maximální pravoúhlost pro svislou a vodorovnou transformaci naklopení objektu (tímto se kompenzuje výskyt perspektivního zkreslení)
- 4) Pokud je takto získaná pravoúhlost vyšší než 0,9, je objekt považován za obdélník.

Lokalizace obdélníků stojících na rohu

Protože v České republice značky tohoto typu nemají vnitřní piktogram, lze k vyhledávání přistupovat odlišným způsobem než v předchozí části. Lze očekávat vysokou konvexnost oblasti a vysokou pravoúhlost při natočení o 45°.

- 1) Oblast musí mít konvexnost vyšší než 0,8 a zároveň je poměr mezi plochou oblasti a plochou vyplněné oblasti vyšší než 0,95.
- 2) Určí se maximální pravoúhlost konvexní oblasti pro rozsah úhlů $\langle 20^\circ, 70^\circ \rangle$ (natočení o 45° současně s rozsahem změny od -25° do 25°).
- 3) Ze správně natočeného objektu se určí maximální pravoúhlost pro svislou a vodorovnou transformaci naklopení objektu (stejně jako v přechozí části)
- 4) Je-li získaná pravoúhlost vyšší než 0,8, je tento objekt považován za natočený obdélník.

Lokalizace trojúhelníků

Vyhledávání trojúhelníků je založeno na dvou údajích. Trojúhelníky by měly mít vysokou konvexnost a jejich pravoúhlost by měla být za všech okolností 0,5. Nelze ovšem tímto způsobem určit, jestli je trojúhelník rovnostranný nebo nikoli. Výsledný algoritmus je tedy jednoduchý:

- 1) Konvexnost musí být vyšší než 0,9.
- 2) Pravoúhlost oblasti je v rozsahu od 0,4 do 0,6.
- 3) Maximální pravoúhlost pro natáčení v rozsahu $\langle -30^\circ, 30^\circ \rangle$ a změnu naklonění v obou osách nepřekročí hodnotu 0,6.



Obrázek 4.18: Ukázka lokalizace trojúhelníku pomocí vlastností regionů

Naimplementovaná metoda se nazývá *locateShapeRegProps*. Má dva povinné vstupní parametry, stejné jako předchozí metoda: vstupní binární obraz a hledaný tvar. Tvar má stejné hodnoty jako v předchozím případě (viz kapitola 4.4.1).

Příklad volání funkce:

```
out = locateShapeRegProps (image, rectangle);
```

Ukázka lokalizace trojúhelníku pomocí vlastností regionů viz Obrázek 4.18.

4.5 Normalizace nalezených oblastí

Objekty získané v předchozím kroku by již měly odpovídat tvarem i barvou hledanému dopravnímu značení. Pro snazší identifikaci byla vytvořena normalizační funkce, která funguje jako předzpracování pro poslední část algoritmu.

Normalizace probíhá tak, že se nalezené objekty projektivně transformují na předem nastavenou velikost 100x100px. Tato operace by měla potlačit perspektivní zkreslení a natočení v obraze. Také sníží požadavky na měřítkovou robustnost následné identifikace. K transformaci se využívají znalosti o tvaru objektu.

V případě kruhu nelze stanovit jeho natočení a tak se transformace skládá pouze ze změny velikosti. Pro změnu velikosti se určí ohraničující obdélník, který se roztáhne a nebo se zmenší na čtverec velikosti 100x100px, takže kruhová značka vyplní maximální plochu.

Pro projektivní transformaci obdélníku je třeba určit polohu jeho originálních rohů. K tomu byl využit rohový operátor 5x5 (viz Obrázek 4.19). Tento operátor byl čtyřikrát rotován o 90°, aby se našly všechny čtyři rohy. Roh byl následně určen jako místo největší odezvy křížové korelace mezi operátorem a binární oblasti.

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	1	1	1
-1	-1	1	1	1
-1	-1	1	1	1

Obrázek 4.19: Rohový detektor 5x5

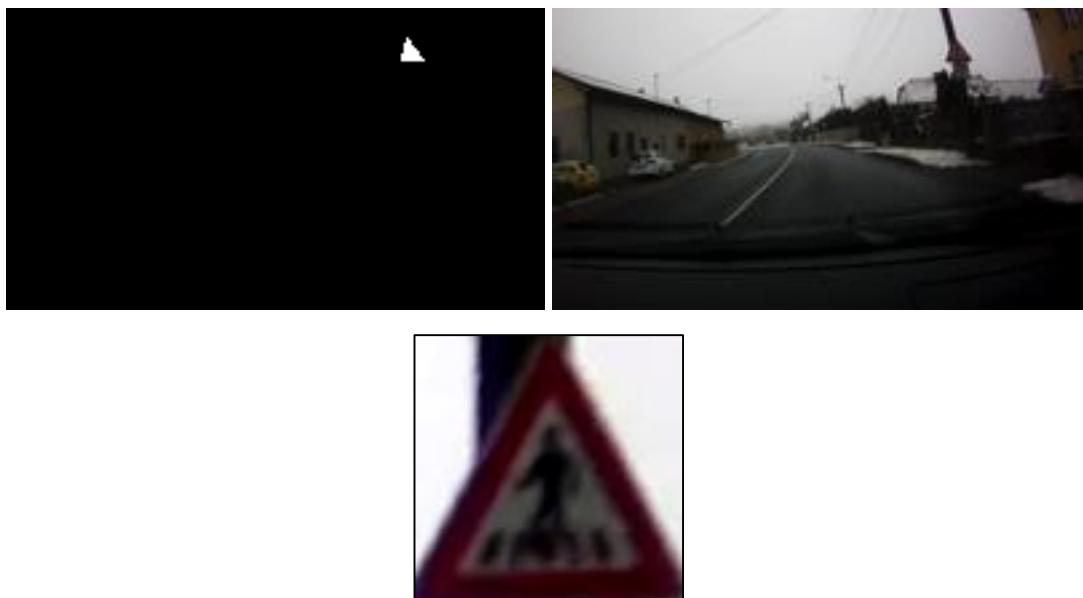
U obdélníku otočeného o 45° (diamond) byly rohy určeny pomocí funkce *regionprops* a vlastnosti *Extrema* [22]. Tato vlastnost určí osm krajních bodů objektu (horní-levý, horní-pravý, pravý-horní atd. - viz Obrázek 4.20). I přesto, že je obdélník perspektivně zkreslený, v tomto případě tyto body stále určují polohu reálných rohů objektu. Z důvodu zvýšení kvality projekce se v algoritmu zjišťuje, jestli je obdélník natočený doleva nebo doprava. To se provede pomocí určení průměru obou nejhornějších bodů. Pokud je tento bod více napravo, je obdélník natočený doprava a rohové body potom jsou: horní-pravý, pravý-dolní, dolní-levý a levý-horní. V případě, že je obdélník natočený nalevo, je výběr bodů symetricky otočený.



Obrázek 4.20: Extrémní body objektu [22]

U trojúhelníku se také využívá funkce *regionprops* a její vlastnost *Extrema*. Nejprve se určí, jestli má trojúhelník základnu nahoře nebo dole. K tomuto se použijí v prvním kroku následující krajní body: pravý-horní a levý-horní. V případě, že oba body jsou v dolní polovině ohraničujícího obdélníku, má trojúhelník základnu dole. V druhém kroku se vezmou body: pravý-dolní a levý-dolní. Pokud jsou v horní polovině, má trojúhelník základnu nahoře. V případě, že není splněna ani jedna podmínka, je trojúhelník určen jako chybný a není předán dále. Informace o pozici základny se předává dále i s normovaným trojúhelníkem. Pro normalizaci trojúhelníku se jeho rohy určí také z krajních bodů (podobně jako u natočeného obdélníku). Jako čtvrtý bod se vezme těžiště. To lze získat zase pomocí funkce *regionprops* a vlastnosti

centroid (viz [22]). Těžiště je potom namapováno do 2/3 (příp. 1/3) výšky a středu šířky výsledného obrazu 100x100px. Je evidentní, že zde dojde ke zkreslení tvaru rovnostranného trojúhelníku a proto s tímto faktem musí počítat i následná identifikace.



Obrázek 4.21: Ukázka normalizace

Kromě tvarové normalizace je v tomto kroku také provedena jasová normalizace. A to pomocí roztažení histogramu. Histogram se získá podobně jako při předzpracování (viz kapitola 4.1) z šedotónového obrazu. Roztažení je poté aplikováno na všechny složky RGB obrazu samostatně. Ukázka normalizace viz Obrázek 4.21.

Implementovaná funkce se nazývá *stretchRegions*. Její vstupní parametry jsou: původní obraz (před předzpracováním), binární mapa objektů a tvar. Hodnoty tvaru jsou shodné jako v případě jejich vyhledávání (viz kapitola 4.4). Funkce vrací pole struktur. Přičemž každá struktura obsahuje samotný normovaný obraz a informaci o původní pozici okrajového obdélníku v obraze. V případě trojúhelníka tato struktura navíc obsahuje informaci o pozici základny ('up' nebo 'down').

Příklad volání funkce:

```
outArray = stretchRegions(image, binMap, 'circle');
```

4.6 Identifikace

Další částí je identifikace dopravní značky. Tento algoritmus by měl být schopný říct, jestli oblast vybraná v předchozích kapitolách skutečně odpovídá dopravní značce a případně které.

Do toho úseku vstupují již normalizované oblasti ve formě barevného obrazu ve velikosti 100x100px. Což by mělo mít za následek nižší požadavky na robustnost vůči rotaci a perspektivnímu zkreslení. Kromě nich může algoritmus ještě využít informace o tvaru a barvě značky.

4.6.1 Popis významných oblastí

Pro popis oblasti se značkou se mohou použít algoritmy vyhledávající významné oblasti v obraze (například změna intenzity, rohy, skvrny apod.). Ovšem samotné vyhledání těchto oblastí nestačí a je třeba je dále popsat. Takovéto algoritmy se nazývají detektory a deskriptory příznaků. Některé deskriptory jsou uváděny společně se svým vlastním typem deskriptoru a jiné jsou naopak samostatné. Tato část je věnována vybraným druhům detektorů a deskriptorů.

Jedním ze základních typů detektorů jsou detektory rohů. Mezi ně patří například algoritmus FAST[16], MinEigen[17] nebo Harris-Stephens[18]. Všechny uvedené algoritmy mají podobné vlastnosti. Vyhledávají významné body rohového typu a lokalizace probíhá pouze v jednom měřítku. Jejich využití je zejména pro aplikace: sledování bodu v obraze, rozpoznávání objektů s minimální nebo žádnou změnou v měřítku, lokalizace rohů ve scéně apod. Jejich nevýhodou je, že v základu neurčují údaj o úhlu natočení nalezené oblasti a její velikosti (kvůli detekci pouze s jednou velikostíobrazu).

Dalším o něco pokročilejším detekčním algoritmem je BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints) [19]. Stále se jedná o algoritmus vyhledávající rohy v obraze, ovšem v tomto případě už je lokalizace prováděna pro více měřítek obrazu (změna velikosti). Použití algoritmu BRISK je velmi podobné aplikacím zmíněným v předchozím odstavci. Jeho výhoda spočívá zejména v odolnosti vůči změně měřítka a natočení. Detektor je také schopen určit velikost a natočení nalezeného zájmového bodu, takže se tyto údaje mohou využít pro popis objektu. BRISK není pouze detekční algoritmus, ale obsahuje také algoritmus pro deskriptor založený na spojení srovnávacích jasových testů oblasti (viz [19]).

Detekční algoritmus SURF (Speeded-up robust features)[21] vychází z algoritmu SIFT (Scale Invariant Feature Transform)[20] a je jeho upravenou a zrychlenou verzí. Na rozdíl od předchozích detektorů SURF už nevyhledává v obraze pouze rohy, ale také skvrny. Vyhledávání je založeno na Hessově matici (viz [21]). SURF využívá lokalizace napříč různými měřítky, díky tomu jsou detekované oblasti měřítkově nezávislé. Také je schopen určit úhel natočení celé oblasti, takže je nezávislý i na otočení. Kromě detektoru má algoritmus SURF i vlastní deskriptor. Tento deskriptor využívá k popisu oblasti Haarovy wavelety v x-ovém a y-ovém směru natočené oblasti. Přidáním dalších vlastností se může velikost výsledného popisu oblasti zvyšovat, a tím se zvýší i její přesnost. Z tohoto důvodu se můžeme setkat s různými nastaveními pro SURF deskriptor (SURF-64 a SURF-128). Více o deskriptoru viz [21].

Posledním uvedeným algoritmem je MSER (Maximally stable extremal regions) [23]. Detekční algoritmus vyhledává oblasti se shodnou intenzitou. Významnými vlastnostmi algoritmu MSER jsou: nezávislost na afinních transformacích v obraze, lokalizace napříč různými měřítky, nezávislost na natočení a velikosti nalezené oblasti.

Všechny uvedené algoritmy jsou v programu Matlab již naimplementovány (viz [22]).

4.6.2 Metoda vizuálních slov

Algoritmus pochází ze článku [24]. Je založen na porovnávání popisu naučeného vzoru s reálným objektem ve scéně pomocí nalezených příznaků. Článek popisuje metodu rozpoznávání značky v rámci celé pořizené scény. K detekci a popisu příznaků využívá metodu SURF. V rámci implementace byl ještě použit detektor MSER. Algoritmus se skládá ze tří fází: tvorba slovníku vizuálních slov, tvorba modelu značky a lokalizace značky ve scéně.

Tvorba slovníku

Pro vytvoření slovníku vizuálních slov je potřeba nashromáždit velké množství příznaků napříč modelovými snímky. Modelové snímky jsou fotografie jednotlivých značek, kde značka vyplňuje maximální plochu snímku. V uvedeném článku používají vzorové snímky o velikosti přibližně 100x100 pixelů.

Na nalezené příznaky se použije algoritmus shlukování, například k-means. Vzdálenost mezi jednotlivými příznaky je vypočítána jako Euklidovská vzdálenost. Ve výsledku jsou získány shluky příznaků, kde každý shluk může být označen například písmenem. Když se zkombinují označení pro shluky s jejich reprezentanty, získáme tzv. slovník vizuálních slov. Znázornění tvorby příznaků viz Obrázek 4.22 a) až c).

Naimplementovaná funkce se nazývá *createVocabulary*. Má jeden povinný parametr, a tím je cesta ke galerii, ze které se mají získávat příznaky. Na výstupu poté vrací vytvořený slovník a použité nastavení pro SURF deskriptor, které musí být stejné i pro další fáze. Volitelné parametry jsou:

- 'DetectorMethod' - vychází hodnota je 'SURF', je možné vybrat ještě 'MSER'
- 'Clusters' - počet výsledných shluků, výchozí hodnota je 30.

Příklad volání funkce:

```
[vocabulary, settings] = createVocabulary(galleryFolder);
```

Tvorba modelu

Získají se všechny příznaky z modelového snímku a ty se zařadí do jednotlivých skupin podle vytvořeného slovníku. Pro všechny takto nalezené a zařazené příznaky se vytvoří položka v popisu modelu. Každý řádek obsahuje informaci o skupině nalezeného příznaku a relativní souřadnice v polárním zápisu k předem zvolenému místu ve vzoru (například středu). Jelikož nalezené body byly určeny pomocí SURF detektoru, obsahují informaci o měřítku a natočení. Těchto informací lze využít pro přepočítání nezávislých souřadnic na měřítku a natočení. Znázornění tvorby modelu viz Obrázek 4.22 c) až d).

Naimplementovaná funkce se nazývá *createModels*. Má tři povinné parametry a to jsou: cesta ke snímkům pro tvorbu modelů, slovník a nastavení (z předchozího kroku). Funkce poté vrací naučené modely ve formě struktury. Každá položka struktury je označena jménem původního souboru, ze kterého vznikla, a obsahuje popis modelu

Příklad volání funkce:

```
models = createVocabulary(galleryFolder,vocabulary,settings);
```

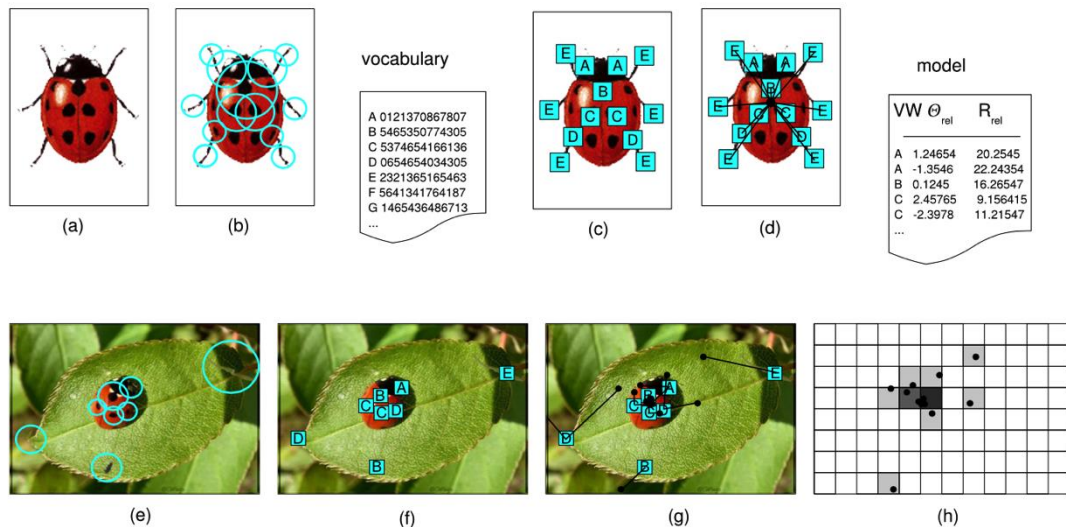
Určení značky

Ve vstupním snímku jsou nalezeny SURF příznaky. Tyto příznaky začlení do skupin vytvořeného slovníku. Poté probíhá volba umístění významného bodu (středu) z každého nalezeného příznaku. Tato volba probíhá za pomoci vytvořeného modelu a jeho relativních souřadnic, jelikož každý nově nalezený bod obsahuje informaci o svém měřítku a natočení. V popisu modelu se najde záznam s příslušnou skupinou příznaků a vypočítá se v jaké pozici by střed měl být. V případě, že je záznamů v modelu se zkoumanou skupinou více, volí se všechny možnosti. Tímto způsobem získáme tzv. Houghův prostor, ve kterém vzniknou maxima na místě nalezené značky. Znárodnění určení značky viz Obrázek 4.22 e) až h).

Naimplementovaná funkce se nazývá *detectSign*. Vstupní parametry jsou: obrázek pro detekci, model hledané značky, slovník a nastavení. Na výstupu vrací Houghův prostor.

Příklad volání funkce:

```
houghSpace = detectSign(image,vocabulary,settings);
```

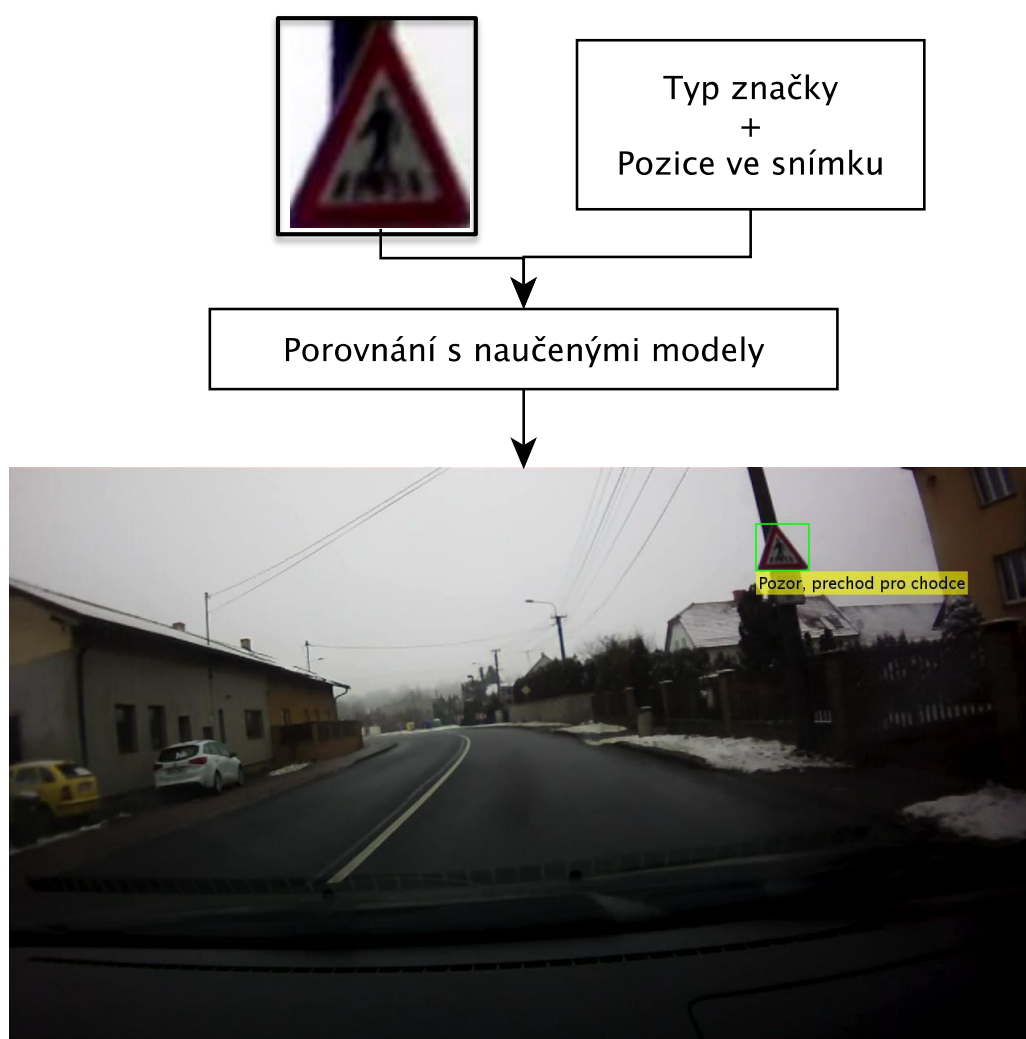


Obrázek 4.22: Popis algoritmu vizuálních slov: a) snímek s modelem, b) extrakce SURF příznaků, c) příznaky reprezentovány skupinami ze slovníku, d) extrakce souřadnic pro popis modelu, e) extrakce SURF příznaků ve vstupním snímku, f) reprezentace příznaku pomocí slovníku, g) hlasování o možném středu, h) výsledný Houghův prostor [24]

Ve formě, v jaké je algoritmus v článku prezentován, se na reálných snímcích neosvědčil. Bylo to zejména z důvodu, že na reálných snímcích dopravních značek jsou významné body pravidelného charakteru (například rohy) a i přesto, že SURF příznaky zjišťují měřítko, tak tyto body se s měřítkem příliš neměnily. To znamená, že pro stejný snímek, který byl zmenšen na polovinu, bylo pro některé významné body určené stejné

měřítka jako pro snímek v původní velikosti. Dále zde velmi nepříznivým způsobem působí perspektivní deformace a natočení značky v ose kolmé k vozovce. Tyto deformace se sice neprojeví ve správném nalezení bodu, jeho natočení a měřítka, ale v části s volbou středu je tato volba posunuta do jiného místa než v případě, že by značka byla otočena přímo na kameru. Díky tomu se volba středu výrazně zpřesní.

Z důvodu potlačení těchto jevů byl algoritmus použit pouze jako identifikační metoda. Jelikož je před touto metodou značka projektivně transformována na čtverec velikosti 100x100px, mělo by dojít ke zpřesnění volby významného bodu (v tomto případě středu). Také se pro vyhodnocení, jestli značka odpovídá, používá suma Houghova prostoru v okolí skutečného středu (kruh s poloměrem 10 pixelů). Tímto se sníží nároky na přesnost volby.



Obrázek 4.23: Znázornění identifikace

Pro výsledné určení, jestli je nalezený objekt skutečně značka, se vypočítá poměr mezi počtem hlasů v blízkosti středu a počtem všech popisných bodů značky. Pokud je poměr menší než 0,1 (méně jak 10% hlasů poblíž středu), je oblast vyhodnocena jako oblast bez značky. Rozhodování, o kterou konkrétní značku se jedná, probíhá na způsob soutěže. Vyhrává značka s nejvyšším poměrem.

Pro zvýšení úspěšnosti je možné algoritmu předat informaci o tvaru a barvě. V takovém případě zkouší jenom modely odpovídající těmto vlastnostem. Znázornění celé identifikace viz Obrázek 4.23.

Implementovaná metoda je *findMostSimilar*. Využívá již předem vytvořené modely (viz Tvorba modelů). Vstupní parametry jsou: obrázek k porovnání a metoda detektoru (SURF nebo MSER). Na výstupu je značka, která nejvíce odpovídá vstupu, a její vítězný poměr nalezených hlasů poblíž středu k celkovému počtu významných bodů. Volitelné parametry jsou:

- 'Type' - určuje jaký typ značek se bude zjišťovat, výchozí je "All" - zjišťují se všechny typy, dalšími možnostmi jsou: 'RC' - červená kružnice, 'BC' - modrá kružnice, 'BR' - modrý obdélník, 'YD' - žlutý obdélník (diamant), 'RTup' - červený trojúhelník se základnou nahoře, 'RTdown' - červený trojúhelník se základnou dole.
- 'DensTresh' - práh nutného poměru pro identifikaci značky, výchozí hodnota je 0,1.

Příklad volání funkce:

```
[sign, ratio] = findMostSimilar(image, 'SURF', 'Type', 'RC');
```

5 EXPERIMENTY

Tato kapitola se zabývá provedeními experimenty. Experimenty byly prováděny na vlastní galerii i na převzatých galeriích (viz kapitola č.3). Z důvodu univerzálnosti použitých skriptů pro všechny vstupní galerie byly anotační soubory k těmto galeriím přeloženy do formátu shodného s vlastní galerií.

Experimenty jsou rozděleny do tří samostatných částí: experimenty s barevnou lokalizací, s tvarovou lokalizací a s identifikací dopravního značení. U všech testů je počítáno s filtrací malých objektů (popsána v kapitole 4.3) v rámci zpracování. Z toho důvodu jsou značky s popisným obdélníkem v anotaci, který má některou stranu menší než 3% menšího rozměru snímku, vyloučeny z požadované detekce. Je-li tato značka přesto detekována, nezapočítává se ani do správně vybraných oblastí (true positive) ani do špatně vybraných oblastí (false positive).

5.1 Experimenty s lokalizací

Tyto experimenty jsou navrženy k porovnání kvality lokalizace a jejich částí. Pro všechny snímky bylo použito předzpracování popsané v kapitole 4.1. Všechny testované používané metody jsou popsány v kapitolách 4.2 až 4.4.

5.1.1 Existence objektů po barevné lokalizaci

Prvním experimentem je jednoduché zjištění, jestli po proběhnutí barevné lokalizace existuje libovolný objekt zasahující dovnitř anotované oblasti značky. Dále je v rámci tohoto experimentu zjišťováno, jak velkou plochu ve snímku v průměru metoda vybrala. Tento parametr je vyjádřen poměrem zaplnění snímku.

Tabulka 5.I: Porovnání barevné lokalizace pomocí RCE sítě v testu existence objektů

Barva	Oblastí celkem	Barevná reprezentace	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění [%]
Červená	912	RGB	864	48	5,42
		HSV	882	30	3,72
		HSL	871	41	3,95
Modrá	800	RGB	787	13	29,46
		HSV	780	20	7,75
		HSL	788	12	14,16
Žlutá	296	RGB	273	23	15,07
		HSV	240	56	0,58
		HSL	183	113	0,41

Tento test má určit, jestli barevná lokalizace najde alespoň nějakou část značky. Naproti tomu by poměr zaplněné oblasti měl být co nejmenší. To je z důvodu zajištění správné segmentace oblasti značky od pozadí. Tento test ovšem neurčí, jestli je značka segmentována opravdu správně a není segmentována pouze její část.

Výsledky testů pro prahové metody pro vlastní galerii viz Tabulka 5.II a výsledky pro RCE neuronovou síť viz Tabulka 5.I. Experiment byl proveden na všech vstupních galeriích popsanych v kapitole 3. Ukázky výsledků na dalších galeriích viz Tabulka D-I až Tabulka D-VI v přílohách.

Tabulka 5.II: Porovnání prahových metod barevné lokalizace v testu existence objektů

Barva	Oblastí celkem	Metoda	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění [%]
Červená	912	RGB/CMY dominantní kanál	878	34	8,29
		RGB/CMY poměrová metoda	820	92	0,59
		HSV	881	31	3,21
		HSL	887	25	3,47
Modrá	800	RGB/CMY dominantní kanál	800	0	51,84
		RGB/CMY poměrová metoda	793	7	18,86
		HSV	800	0	21,62
		HSL	799	1	15,07
Žlutá	296	RGB/CMY dominantní kanál	292	4	11,02
		RGB/CMY poměrová metoda	274	22	4,84
		HSV	292	4	6,04
		HSL	292	4	5,2

5.1.2 Vliv uzavírání objektů

Experiment je navržen k porovnání úspěšnosti lokalizace v případě použití morfologické operace uzavírání (součást redukce oblastí viz kapitola 4.3) a při jejím vynechání. V rámci redukce bylo použito také filtrování protáhlých objektů. Test byl proveden pro všechny prahové metody barevné lokalizace. Kvůli porovnatelného výsledku bylo za potřeby výsledek dále zpracovat tvarovou lokalizací. Pro tento účel byla zvolena detekce pomocí vlastností regionů (viz kapitola 4.4.2).

Tabulka 5.III: Výsledky lokalizace bez uzavírání objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace HSV

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	123	3	291	0,30	0,02
Červený kruh	141	141	357	0,28	0,50
Modrý obdélník	92	174	394	0,19	0,65
Modrý kruh	75	196	239	0,24	0,72
Žlutý natočený obdélník	92	807	204	0,31	0,90

Tabulka 5.IV: Výsledky lokalizace s uzavíráním objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace HSV

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	85	12	329	0,21	0,12
Červený kruh	168	333	330	0,34	0,66
Modrý obdélník	46	59	440	0,09	0,56
Modrý kruh	77	156	237	0,25	0,67
Žlutý natočený obdélník	9	353	287	0,03	0,98

Výsledky testu jsou vyhodnoceny ve třech kategoriích: True Positive (dále jen TP - vzorek je určen jako pozitivní a měl být pozitivní), False Positive (dále jen FP - vzorky nesprávně určeny jako pozitivní) a False Negative (dále jen FN - vzorky nesprávně určeny jako negativní). V rámci testu je určena senzitivita, která vyjadřuje úspěšnost určení vzorku jako pozitivního, když měl být pozitivní[32]:

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (31)$$

A tzv. FDR poměr (False Discovery Rate), který vyjadřuje počet nesprávně určených pozitivních výsledků k celkovému počtu určených pozitivních výsledků [32]:

$$FDR = \frac{FP}{TP + FP} \quad (32)$$

Výsledky testů s využitím barevné lokalizace prahováním v HSV barevném prostoru na vlastní galerii viz Tabulka 5.III a Tabulka 5.IV. Výsledky testů s využitím ostatních barevných lokalizací viz Tabulka D-VII až Tabulka D-XII v přílohách.

5.1.3 Porovnání tvarových lokalizací

Tento experiment má za úkol ukázat rozdíl v úspěšnosti mezi tvarovou lokalizací pomocí vlastností regionů a lokalizací pomocí Houghovy transformace. Jelikož je Houghova transformace výpočetně velmi náročná, byl test proveden pouze na vlastní galerii, a pro barevné lokalizace pomocí poměrové metody a metody dominantního kanálu. V obou variantách bylo aktivní morfologické uzavírání oblastí a filtrace protáhlých oblastí. Zde jsou uvedeny výsledky s využitím poměrové metody v barevné lokalizaci (viz Tabulka 5.V a Tabulka 5.VI).

Tabulka 5.V: Výsledky lokalizace pomocí Houghovy transformace po využití poměrové metody, s uzavíráním oblastí

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	145	126	269	0,35	0,46
Červený kruh	115	16	380	0,23	0,12
Modrý obdélník	70	1195	416	0,14	0,94
Modrý kruh	117	66	197	0,37	0,36
Žlutý natočený obdélník	0	136	296	0,00	1,00

Tabulka 5.VI: Výsledky lokalizace pomocí vlastností regionů po využití poměrové metody, s uzavíráním oblastí

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	88	1	326	0,21	0,01
Červený kruh	149	68	349	0,30	0,31
Modrý obdélník	63	78	423	0,13	0,55
Modrý kruh	98	232	216	0,31	0,70
Žlutý natočený obdélník	42	857	254	0,14	0,95

5.1.4 Vliv vstupních snímků

Tento test má za úkol porovnat závislost algoritmů na kvalitě vstupních snímků. Porovnání je provedeno mezi německou galerií vstupních snímků (viz kapitola 3.2.1) a vlastní galerií.

Německá galerie disponuje kvalitnějšími snímky, zejména z hlediska expozice a ostrosti. Výsledek německé galerie pro prahovou metodu v HSV reprezentaci, bez uzavírání oblastí a s tvarovou lokalizací pomocí vlastností regionu viz Tabulka 5.VII. Stejné nastavení pro vlastní galerii bylo použito v experimentu v kapitole 5.1.2, kde lze nalézt také výsledky při použití vlastní galerie (viz Tabulka 5.III).

Tabulka 5.VII: Výsledky lokalizace bez uzavírání objektů, německá galerie, barevná lokalizace HSV

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	68	64	214	0,24	0,48
Červený kruh	238	75	296	0,45	0,24
Modrý obdélník	0	124	0	-	-
Modrý kruh	58	40	68	0,46	0,41
Žlutý natočený obdélník	48	290	28	0,63	0,86

5.1.5 Shrnutí a hodnocení experimentů s lokalizací

Experimenty v kapitole Existence objektů po barevné lokalizaci ukázaly zejména na důležitost správného nastavení všech barevných lokalizačních metod. Lze si povšimnout, že RCE síť našla menší počet oblastí uvnitř anotovaných značek, ale ve většině případů měla nejnižší procento poměru zaplnění (kromě RGB prostoru). V rámci prahových metod lze vidět, že prahování v HSV a HSL má proti metodám RGB/CMY vyšší počet nálezů a zároveň výrazně nižší poměr zaplnění. Díky tomu lze od těchto metod očekávat lepší kvalitu segmentace.

Při experimentech s uzavíráním oblastí si lze povšimnout, že uzavírání oblastí mírně zvýšilo detekci typů kruhů. Ovšem výrazně snížilo úspěšnost detekce ostatních tvarů.

Při porovnávání výsledků testů obou implementovaných tvarových lokalizací má Houghova transformace vyšší senzitivitu při lokalizaci modrých kruhů, červených trojúhelníků a modrých obdélníků, naopak u zbylých tvarů zaostává. V případě žlutých značek nelokalizuje dokonce žádnou správně. Toto může být způsobeno zejména díky sníženému počtu vyhledaných přímek pouze na 10, kvůli její vysoké časové a výpočetní náročnosti (viz kapitola 4.4.1).

Při testování vlivu vstupních snímků lze vidět, že úspěšnost lokalizace u většiny tvarů se významně zvedá s kvalitou snímku (expozice, ostrost). Jediný pokles byl zaznamenán v případě červeného trojúhelníku. Jelikož se v německé galerii nevyskytují modré obdélníky, nelze u této skupiny výsledek určit. Nejvyšší rozdíl je ovšem zaznamenán v případě žlutých čtverců postavených na roh, kde se senzitivita dostala až na hodnotu 0.63.

Ve všech testech bylo dosaženo velmi nízkých úspěšností v senzitivitě. Také ve většině případů byl vysoký poměr FDR. Jak bylo ukázáno v kapitole 5.1.4, jedním z možných důvodů je kvalita vstupních snímků (horší expozice a ostrost). Další možností je nevhodná kombinace algoritmů. V tomto případě se z časových a kapacitních důvodů nedaly odzkoušet všechny možné kombinace a nastavení.

5.2 Experimenty s identifikací

Tyto experimenty jsou, kvůli nízké úspěšnosti lokalizace, navrženy k otestování výsledků samostatné identifikace bez předem provedené lokalizace. Toho je dosaženo za využití anotace ke galeriím, pomocí které se ze snímků získají pouze oblasti s dopravními značkami. Jelikož nebyl určen přesný tvar značky ve snímku, nelze použít celou normalizaci oblastí, ale pouze část s natažením histogramu (viz kapitola 4.5). Jedná se o dva samostatné experimenty. V jednom případě identifikace neví jaký typ značky má rozpoznávat a v druhém jí je tato informace poskytnuta. V rámci těchto testů byla vypočítána pouze senzitivita, která vyjadřuje úspěšnost určení správného výsledku. Jelikož je počet druhů dopravních značek značně velký, byly na testy naučeny pouze některé modely dopravních značek. Druhy naučených dopravních značek je možné vidět například v Tabulka 5.VIII. Jiné vzory dopravního značení nebyly použity.

5.2.1 Experiment identifikace bez známého typu značky

Tento experiment má ukázat úspěšnost identifikace v případě, že nezná dopředu typ (barvu a tvar) dopravního značení. Experiment byl proveden na všech vstupních galeriích. Detekce významných bodů je provedena pomocí SURF příznaků a MSER příznaků. Zde je uvedena ukázka experimentu na vlastní galerii pomocí obou typů (viz Tabulka 5.VIII a Tabulka 5.IX). Položka 'none' v tabulce určuje identifikaci značení jako neplatný vstup - není to dopravní značka. Ukázky experimentu na ostatních galeriích pomocí MSER detektoru viz Tabulka D-XIII až Tabulka D-XVI v přílohách.

Tabulka 5.VIII: Výsledek identifikace bez známého typu značky pomocí MSER detektoru

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	2	54	4	0.33
A10	2	29	31	0.06
A12	10	26	19	0.34
A15	0	2	14	0.00
A22	22	19	22	0.50
B04	17	119	23	0.42
B20a_030	4	32	16	0.20
B20a_050	9	34	18	0.33
B20a_100	6	14	14	0.30
B28	24	336	32	0.43
C01	20	83	29	0.41
C04a	20	6	107	0.16
C04c	24	45	46	0.34
IP02	1	28	16	0.06
IP06	16	5	295	0.05
IP10b	5	60	2	0.71
P02	16	20	312	0.05
P03	9	17	14	0.39
P04	69	143	151	0.31
P06	1	26	12	0.08
none	0	56	0	-

Tabulka 5.IX: Výsledek identifikace bez známého typu značky pomocí SURF detektoru

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	2	7	4	0.33
A10	5	9	28	0.15
A12	6	21	23	0.21
A15	1	5	13	0.07
A22	9	146	35	0.20
B04	23	22	17	0.57
B20a_030	4	6	16	0.20
B20a_050	9	5	18	0.33
B20a_100	3	11	17	0.15
B28	0	0	56	0.00
C01	18	46	31	0.37
C04a	67	23	60	0.53
C04c	30	9	40	0.43
IP02	3	28	14	0.18

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
IP06	21	3	290	0.07
IP10b	2	25	5	0.29
P02	23	47	305	0.07
P03	1	12	22	0.04
P04	77	42	143	0.35
P06	5	5	8	0.38
none	0	614	0	-

5.2.2 Experiment identifikace se známým typem značky

Proti předchozímu experimentu byly v tomto scénáři poskytnuty identifikaci informace o barvě a tvaru značky. Stejně jako v případě celého řetězce zpracování. Tento test byl proveden pouze pro vlastní galerii a oba typy detektorů. Výsledky testu viz Tabulka 5.X a Tabulka 5.XI.

Tabulka 5.X: Výsledek identifikace se známým typem značky pomocí MSER detektoru

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	5	9	1	0.83
A10	8	3	25	0.24
A12	15	20	14	0.52
A15	3	7	11	0.21
A22	31	13	13	0.70
B04	20	26	20	0.50
B20a_030	9	10	11	0.45
B20a_050	12	9	15	0.44
B20a_100	9	4	11	0.45
B28	29	36	27	0.52
C01	32	20	17	0.65
C04a	77	18	50	0.61
C04c	43	21	27	0.61
IP02	7	31	10	0.41
IP06	200	3	111	0.64
IP10b	6	48	1	0.86
P02	98	4	230	0.30
P03	14	51	9	0.61
P04	106	0	114	0.48
P06	2	7	11	0.15
none	0	388	0	-

Tabulka 5.XI: : Výsledek identifikace se známým typem značky pomocí SURF detektoru

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	2	2	4	0.33
A10	8	8	25	0.24
A12	9	2	20	0.31
A15	2	3	12	0.14
A22	15	17	29	0.34
B04	23	15	17	0.57
B20a_030	5	8	15	0.25
B20a_050	10	4	17	0.37
B20a_100	7	6	13	0.35
B28	0	0	56	0.00
C01	21	1	28	0.43
C04a	74	3	53	0.58
C04c	35	1	35	0.50
IP02	7	9	10	0.41
IP06	63	0	248	0.20
IP10b	2	15	5	0.29
P02	36	0	292	0.11
P03	4	2	19	0.17
P04	98	0	122	0.45
P06	6	1	7	0.46
none	0	930	0	-

5.2.3 Shrnutí a hodnocení experimentů s identifikací

Výsledky identifikace v experimentu bez známého typu značky jsou pro oba použité detektory velmi podobné. Významný rozdíl je až při vyhodnocení značky jako neplatné. V tomto místě SURF určil chybně téměř o řád více značek než v případě MSER.

V druhém scénáři, kdy už algoritmus znal tvar a barvu značky, je vidět vyšší senzitivita v případě detektoru MSER. Zejména u značky IP06, kde ji našel 3x více než v případě SURF detektoru.

Při porovnání napříč oběma kapitolami si lze všimnout, že informace o typu značky značně zvýší úspěšnost identifikace. Bohužel v obou případech byla senzitivita algoritmu velmi nízká, což může být způsobeno chybějící normalizací.

6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá problematikou strojového zpracování obrazu se zaměřením na detekci dopravního značení. Tato oblast je velmi podstatnou částí pro možnost tvorby autonomního vozidla. Cílem práce bylo vyzkoušet několik různých algoritmů pro detekci a provést srovnání.

V první části diplomové práce byly rozebrány dopravní aplikace z pohledu strojového vidění. Kapitola se věnovala rozdělení aplikací na aplikace se stacionární kamerou a aplikace s kamerou umístěnou na vozidle. Také je zde diskutováno možné autonomní vozidlo, a to z pohledu ovládání klasického automobilu a případných problémů k vyřešení. Poté je zde uvedena problematika detekce dopravního značení z obecného hlediska.

Další kapitola se věnuje galeriím vstupních snímků. V rámci této diplomové práce byla vytvořena vlastní galerie snímků s dopravním značením. Galerie byla vytvořena za pomoci kamery poskytnuté vedoucím práce. Celková velikost galerie je 1427 snímků a je k ní vytvořen samostatný soubor s anotacemi. Z důvodu anotování snímků byla vytvořena pomocná aplikace na snadnou tvorbu a kontrolu anotačního souboru. Kromě vlastní galerie jsou v diplomové práci využity převzaté galerie z jiných zahraničních zdrojů.

Hlavní část diplomové práce se věnuje implementaci různých algoritmů pro detekci dopravního značení. Detekce je rozdělena do jednotlivých částí: předzpracování, barevná lokalizace, redukce počtu nalezených oblastí, tvarová detekce, normalizace a identifikace. Většina navržených funkcí umožňuje měnit množství volitelných parametrů, a tím ovlivnit celkový výsledek detekce. Také je zde ukázán předpokládaný návrh fungování celého systému. Všechny algoritmy byly implementovány v programu Matlab verze 2014b.

V poslední části jsou provedeny experimenty nad navrženými algoritmy. Výsledná úspěšnost nalezení a identifikace dopravního značení je v porovnání s používanými systémy velmi nízká. Je to způsobeno více možnými faktory. Prvním z nich je nízká kvalita pořízených vstupních snímků, jelikož použitá kamera k tomuto účelu není vhodná. Další možností je nevhodná kombinace použitých algoritmů a jejich nastavení.

Literatura

- [1] Autolexicon.net, Opel Eye [online]. [cit. 15.12.2014]. Dostupné z URL: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/opel-eye/>
- [2] J. Stallkamp, M. Schlipsing, J. Salmen, and C. Igel. The German Traffic Sign Recognition Benchmark: A multi-class classification competition. In *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, pages 1453–1460. 2011. Dataset dostupný online z: <http://benchmark.ini.rub.de/index.php?section=gtsrb&subsection=dataset>
- [3] Fredrik Larsson and Michael Felsberg, *Using Fourier Descriptors and Spatial Models for Traffic Sign Recognition*, In Proceedings of the 17th Scandinavian Conference on Image Analysis, SCIA 2011, LNCS 6688, pp. 238-249. bib, doi:10.1007/978-3-642-21227-7_23, dataset dostupný online z: <https://www.cvl.isy.liu.se/research/datasets/traffic-signs-dataset/>
- [4] Andreas Møgelmoose, Mohan M. Trivedi, and Thomas B. Moeslund, "Vision based Traffic Sign Detection and Analysis for Intelligent Driver Assistance Systems: Perspectives and Survey," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2012. Dataset dostupný online z: <http://cvrr.ucsd.edu/LISA/lisa-traffic-sign-dataset.html>
- [5] ČÍP, P. Detekce a rozpoznávání dopravních značek. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 91 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Horák, Ph.D.
- [6] Automobily - řízení a brzdy [online]. [cit 2.1.2015] Dostupné z URL: <http://files.strojarna.webnode.cz/200000024-4990d4a8ab/Automobily-%20ř%ADzen%C3%AD%20a%20brzdy.pdf>
- [7] Antilock Braking System (ABS) [online]. [cit. 15.1.2015]. Dostupné z URL: [http://visual.merriam-webster.com/transport-machinery/road-transport/brakes/antilock-braking-system-\(abs\).php](http://visual.merriam-webster.com/transport-machinery/road-transport/brakes/antilock-braking-system-(abs).php)
- [8] BMW Night vision [online]. [cit. 15.1.2015]. Dostupné z URL: <http://www.funonthenet.in/articles/bmw-night-vision.html>
- [9] Petyovský P., Zpracování obrazu v dopravních aplikacích - přednáška kurzu MAPV - VUT Brno, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií [online], [cit. 15.1.2015]. Dostupné z URL: http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/APV/apv_cz.php
- [10] Smith J., Google self-driving cars log 300K miles accident free, adds Lexus SUV to fleet, 9to5Google web [online], Poslední revize 7.8.2012, [cit 18.1.2012]. Dostupné z URL: <http://9to5google.com/2012/08/07/google-self-driving-cars-log-300k-miles-accident-free-adds-lexus-suv-to-fleet/>
- [11] Dopravní-značení.eu [online]. [cit. 18.1.2015]. Dostupné z URL: <http://www.dopravni-znaceni.eu>
- [12] Žára J., Beneš B., Felkel P.: *Moderní počítačová grafika*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 1998. 448 s. ISBN 80-7226-049-9

- [13] Kalová I., Segmentace a detekce geometrických primitiv - přednáška kurzu MAPV - VUT Brno, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií [online], [cit. 18.1.2015]. Dostupné z URL: http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/APV/apv_cz.php
- [14] Zátopek, M. *Segmentace barevných snímků pomocí umělé neuronové sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 42s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Tomáš Hynčica
- [15] Guo D., Ming X.: *Color clustering and learning for image segmentation based on neural networks*, IEEE Transactions on neural network, svazek 16, číslo 4, stránky 925-936, ISSN: 1045-9227, 2005
- [16] Rosten, E., and T. Drummond, "Machine Learning for High-Speed Corner Detection." *9th European Conference on Computer Vision*. Vol. 1, 2006, pp. 430–443.
- [17] Shi, J., and C. Tomasi. "Good Features to Track." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. June 1994, pp. 593–600.
- [18] Harris, C., and M. J. Stephens. "A Combined Corner and Edge Detector." *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*. August 1988, pp. 147–152.
- [19] Leutenegger, S., M. Chli, and R. Siegwart. "BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints." *Proceedings of the IEEE International Conference*. ICCV, 2011.
- [20] Lowe, David G., *Object Recognition from Local Scale-Invariant Features*. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision 2*. pp. 1150–1157.
- [21] Bay, H., A. Ess, T. Tuytelaars, and L. Van Gool. "SURF:Speeded Up Robust Features." *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*.Vol. 110, No. 3, 2008, pp. 346–359.
- [22] Dokumentace softwaru Matlab [online]. [cit 30.4.2015] Dostupné z URL: <http://www.mathworks.com/help/>
- [23] Matas, J., O. Chum, M. Urba, and T. Pajdla. "Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions." *Proceedings of British Machine Vision Conference*. 2002, pp. 384–396.
- [24] Goedemé, T., *Traffic Sign Recognition with Constellations of Visual Words*. V 5th International Conference on Informatics in Control, 2008.
- [25] Autoweb.cz. Systémy rozlišující značky - který funguje nejlépe? [online]. [cit. 8.3.2015] . Dostupné z URL: <http://www.autoweb.cz/systemy-rozlisujici-znacky-ktery-funguje-nejlepe/>
- [26] Autosalon iPrima, Reálné auto, které se samo řídí [online]. [cit. 9.5.2015]. Dostupné z URL: <http://autosalon.iprima.cz/clanky/realne-auto-ktere-se-samo-ridi>

- [27] Wikipedia, Road signs in Sweden [online]. [cit. 9.5.2015]. Dostupné z URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Road_signs_in_Sweden
- [28] GIMP [online]. [cit. 9.5.2015]. Dostupné z URL: <http://www.gimp.org>
- [29] Fleyeh, H. and Dougherty, M., "Road and traffic sign detection and recognition" 10th EWGT Meeting and 16th Mini-EURO Conference, Poznan, Poland, 13-16 September, 2005.
- [30] SKALA, Václav. *Světlo, barvy a barevné systémy v počítačové grafice*. Praha: Academia, 1993. s. 60-61. ISBN 80-200-0463-7
- [31] HORÁK K., Popis objektů - přednáška kurzu MPOV - VUT Brno, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií [online], [cit. 10.5.2015]. Dostupné z URL: http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/APV/apv_cz.php
- [32] NEWBERG, Lee. Some useful statistics definitions. *Computer Science at RPI*. [online]. © 2005-2006 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: <http://www.cs.rpi.edu/~leen/misc-publications/SomeStatDefs.html>

SEZNAM PŘÍLOH

A. Tabulky s analýzou galerií vstupních snímků	81
B. Grafy s analýzou barev	88
C. Ukázky barevné lokalizace	97
D. Tabulky s výsledky experimentů	105
E. Obsah DVD	113

A. TABULKY S ANALÝZOU GALERIÍ VSTUPNÍCH SNÍMKŮ

Tabulka A-I: Přehled počtu značek ve vlastní galerii

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
A01b	Zatáčka vlevo	1	0	0
A03	Křižovatka	7	0	2
A05a	Nebezpečné klesání	4	0	0
A06a	Zúžená vozovka (z obou stran)	4	0	0
A06b	Zúžená vozovka (z jedné strany)	4	0	0
A07a	Nerovnost vozovky	6	1	0
A07b	Pozor, zpomalovací práh	6	0	0
A08	Nebezpečí smyku	8	0	0
A09	Provoz v obou směrech	1	0	0
A10	Světelné signály	33	0	0
A11	Pozor, přechod pro chodce	40	0	2
A12	Děti	29	0	2
A15	Práce	14	0	0
A19	Cyklisté	15	0	0
A21	Pozor, tunel	9	0	0
A22	Jiné nebezpečí	44	2	10
A24	Náledí	10	0	0
A29	Železniční přejezd se závorami	6	0	0
A30	Železniční přejezd bez závor	2	0	0
P01	Křižovatka s vedlejší pozemní komunikací	1	0	1
P02	Hlavní pozemní komunikace	328	4	52
P03	Konec hlavní pozemní komunikace	23	0	2
P04	Dej přednost v jízdě!	220	4	34
P06	Stůj, dej přednost v jízdě!	13	0	0
P08	Přednost před protijedoucími vozidly	4	0	1
B01	Zákaz vjezdu všech vozidel (v obou směrech)	26	1	7
B02	Zákaz vjezdu všech vozidel	35	1	16
B04	Zákaz vjezdu nákladních automobilů	40	0	7

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
B08	Zákaz vjezdu jízdních kol	6	0	0
B12	Zákaz vjezdu vyznačených vozidel	21	0	0
B13	Zákaz vjezdu vozidel, jejichž okamžitá hmotnost přesahuje vyznačenou mez	12	0	1
B15	Zákaz vjezdu vozidel, jejichž šířka přesahuje vyznačenou mez	2	0	0
B16	Zákaz vjezdu vozidel, jejichž výška přesahuje vyznačenou mez	18	0	0
B20a_020	Nejvyšší dovolená rychlost 20	4	0	2
B20a_030	Nejvyšší dovolená rychlost 30	20	0	2
B20a_040	Nejvyšší dovolená rychlost 40	22	0	3
B20a_050	Nejvyšší dovolená rychlost 50	27	0	2
B20a_060	Nejvyšší dovolená rychlost 60	43	0	1
B20a_070	Nejvyšší dovolená rychlost 70	14	0	2
B20a_080	Nejvyšší dovolená rychlost 80	45	0	1
B20a_100	Nejvyšší dovolená rychlost 100	20	0	1
B20a_120	Nejvyšší dovolená rychlost 120	3	0	0
B20b_100	Konec nejvyšší dovolené rychlosti 100	4	0	0
B21a	Zákaz předjíždění	23	1	3
B24a	Zákaz odbočování vpravo	18	0	1
B24b	Zákaz odbočování vlevo	22	0	1
B28	Zákaz zastavení	56	0	4
B29	Zákaz stání	61	1	4
B30	Zákaz vstupu chodců	2	0	0
C01	Kruhový objezd	49	1	12
C02a	Přikázaný směr jízdy přímo	10	0	1
C02b	Přikázaný směr jízdy vpravo	3	0	0
C02d	Přikázaný směr jízdy přímo a vpravo	6	0	2
C02f	Přikázaný směr jízdy vpravo a vlevo	6	0	0
C03a	Přikázaný směr jízdy zde vpravo	38	2	11
C03b	Přikázaný směr jízdy zde vlevo	4	1	1
C04a	Přikázaný směr objíždění vpravo	127	1	10
C04b	Přikázaný směr objíždění vlevo	14	0	2
C04c	Přikázaný směr objíždění vpravo a vlevo	70	1	3

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
C08a	Stezka pro cyklisty	4	0	0
C08b	Konec stezky pro cyklisty	1	0	0
C09a	Stezka pro chodce a cyklisty	8	0	1
C10a	Stezka pro chodce a cyklisty	6	0	1
C10b	Konec stezky pro chodce a cyklisty	5	0	2
C13a	Rozsviť světla	8	0	0
IP02	Zpomalovací práh	17	0	2
IP04b	Jednosměrný provoz	21	0	4
IP05	Doporučená rychlost	3	0	0
IP06	Přechod pro chodce	311	0	55
IP07	Přejezd pro cyklisty	16	0	2
IP10a	Slepá pozemní komunikace	11	0	4
IP10b	Návěst před slepou pozemní komunikací	7	0	3
IP11a	Parkoviště	48	2	11
IP11b	Parkoviště	17	0	4
IP11c	Parkoviště	9	0	2
IP11e	Parkoviště	7	0	2
IP12	Vyhrazené parkoviště	8	0	2
IP13a	Kryté parkoviště	8	0	0
IP13b	Parkoviště s parkovacím kotoučem	6	0	0
IP14b	Konec dálnice	3	0	0
IP15a	Silnice pro motorová vozidla	11	0	0
IP15b	Konec silnice pro motorová vozidla	4	0	0
IP16	Uspořádání jízdních pruhů	4	0	2
IP18b	Snížení počtu jízdních pruhů	29	1	6
IP18c	Jízdní pruh pro pomalá vozidla	5	0	0
IP19	Řadící pruhy	35	1	2
IP20a	Vyhrazený jízdní pruh	3	0	0
IP20b	Konec vyhrazeného jízdního pruhu	8	0	0
IP21	Omezení v jízdním pruhu	3	0	0
IJ07	Čerpací stanice	2	0	0
IJ08	Opravna	2	0	1
Celkem	-	2333	25	312

Tabulka A-II: Přehled počtu značek v německé galerii [2]

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
A01a	Zatáčka vpravo	9	0	0
A01b	Zatáčka vlevo	2	0	0
A02b	Dvojitá zatáčka, první vlevo	5	0	1
A06b	Zúžená vozovka (z jedné strany)	5	0	0
A07a	Nerovnost vozovky	13	0	3
A08	Nebezpečí smyku	20	0	0
A10	Světelné signály	18	0	4
A11	Pozor, přechod pro chodce	3	0	0
A12	Děti	14	0	1
A14	Zvěř	2	0	0
A15	Práce	31	0	0
A19	Cyklisté	5	0	0
A22	Jiné nebezpečí	38	0	4
A24	Náledí	16	0	0
P01	Křižovatka s vedlejší pozemní komunikací	38	0	1
P02	Hlavní pozemní komunikace	85	0	9
P04	Dej přednost v jízdě!	83	0	6
P06	Stůj, dej přednost v jízdě!	32	0	2
B01	Zákaz vjezdu všech vozidel (v obou směrech)	15	0	1
B02	Zákaz vjezdu všech vozidel	29	0	8
B04	Zákaz vjezdu nákladních automobilů	8	0	1
B20a_020	Nejvyšší dovolená rychlost 20	4	0	0
B20a_030	Nejvyšší dovolená rychlost 30	79	0	8
B20a_050	Nejvyšší dovolená rychlost 50	81	0	15
B20a_060	Nejvyšší dovolená rychlost 60	30	0	4
B20a_070	Nejvyšší dovolená rychlost 70	68	0	18
B20a_080	Nejvyšší dovolená rychlost 80	53	0	9
B20a_100	Nejvyšší dovolená rychlost 100	41	0	2
B20a_120	Nejvyšší dovolená rychlost 120	57	0	12
B20b_080	Konec nejvyšší dovolené rychlosti 80	19	0	0
B21a	Zákaz předjíždění	41	0	9
B21b	Konec zákazu předjíždění	7	0	2
B22a	Zákaz předjíždění pro nákladní automobily	80	0	14

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
B22b	Konec zákazu předjíždění pro nákladní automobily	11	0	1
B26	Konec všech zákazů	8	0	0
C01	Kruhový objezd	10	0	2
C02a	Přikázaný směr jízdy přímo	20	0	5
C02b	Přikázaný směr jízdy vpravo	16	0	2
C02c	Přikázaný směr jízdy vlevo	12	0	3
C02d	Přikázaný směr jízdy přímo a vpravo	9	0	3
C02e	Přikázaný směr jízdy přímo a vlevo	2	0	0
C04a	Přikázaný směr objíždění vpravo	88	0	20
C04b	Přikázaný směr objíždění vlevo	6	0	2
Celkem	-	1213	0	172

Tabulka A-III: Přehled počtu značek v první části švédské galerie [3]

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
P02	Hlavní pozemní komunikace	470	20	231
P04	Dej přednost v jízdě!	261	9	169
P06	Stůj, dej přednost v jízdě!	21	0	19
B20a_030	Nejvyšší dovolená rychlost 30	45	4	24
B20a_050	Nejvyšší dovolená rychlost 50	223	10	138
B20a_060	Nejvyšší dovolená rychlost 60	48	0	31
B20a_070	Nejvyšší dovolená rychlost 70	255	11	129
B20a_080	Nejvyšší dovolená rychlost 80	106	12	54
B20a_090	Nejvyšší dovolená rychlost 90	64	1	38
B20a_100	Nejvyšší dovolená rychlost 100	77	1	35
B20a_110	Nejvyšší dovolená rychlost 110	98	5	73
B20a_120	Nejvyšší dovolená rychlost 120	92	0	74
B28	Zákaz zastavení	77	4	21
B29	Zákaz stání	39	10	19
C04a	Přikázaný směr objíždění vpravo	351	25	210
C04b	Přikázaný směr objíždění vlevo	19	3	2
C04c	Přikázaný směr objíždění vpravo a vlevo	31	0	11
IP06	Přechod pro chodce	337	40	204
X00	Neznámá značka	543	36	264
Celkem	-	3157	191	1746

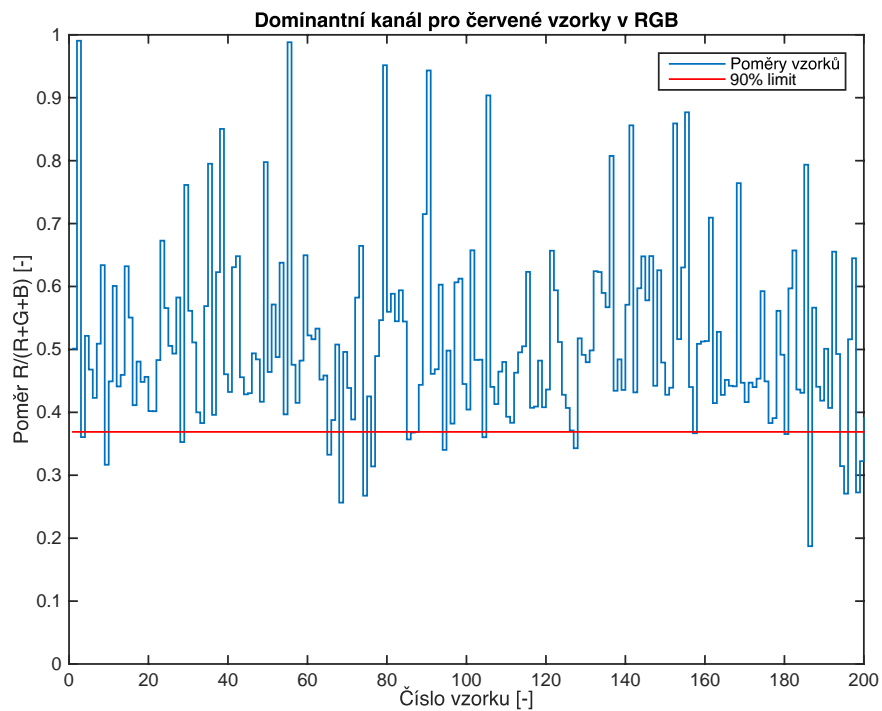
Tabulka A-IV: Přehled počtu značek v druhé části švédské galerie [3]

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
P02	Hlavní pozemní komunikace	652	33	444
P04	Dej přednost v jízdě!	121	14	57
P06	Stůj, dej přednost v jízdě!	57	4	49
B20a_030	Nejvyšší dovolená rychlost 30	9	5	4
B20a_050	Nejvyšší dovolená rychlost 50	193	11	129
B20a_070	Nejvyšší dovolená rychlost 70	215	2	141
B20a_080	Nejvyšší dovolená rychlost 80	193	3	142
B20a_100	Nejvyšší dovolená rychlost 100	108	1	69
B28	Zákaz zastavení	60	3	33
B29	Zákaz stání	158	6	81
C04a	Příkázaný směr objíždění vpravo	500	22	340
C04c	Příkázaný směr objíždění vpravo a vlevo	15	0	12
IP06	Přechod pro chodce	928	78	620
X00	Neznámá značka	273	15	172
Celkem	-	3482	197	2293

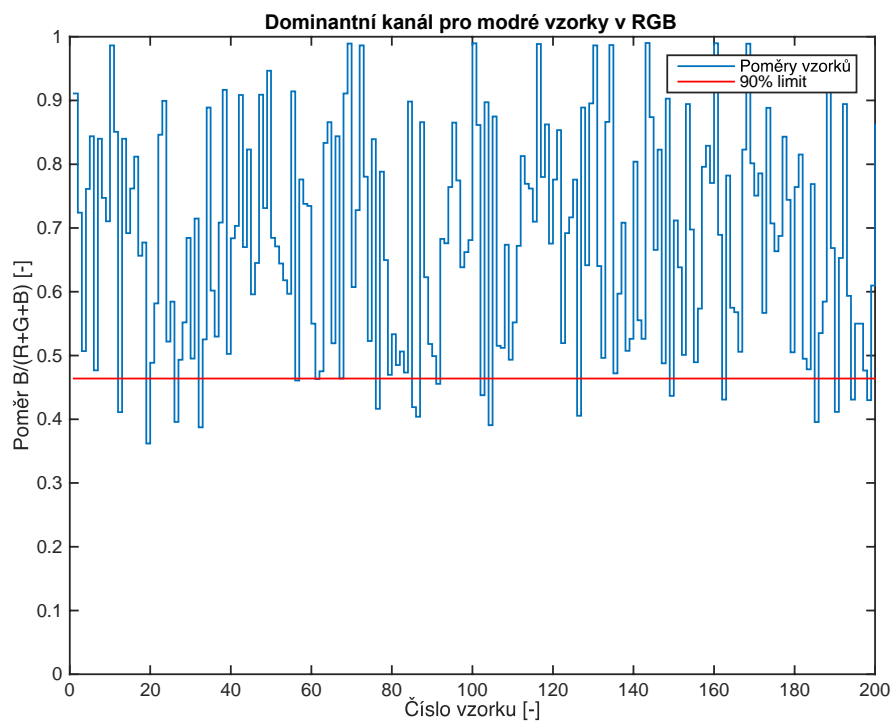
Tabulka A-V: Přehled počtu využitých značek v americké galerii [4]

Kód značky	Název značky	počet výskytů celkem	počet překrytých	Menší než 3% výšky snímku
P04	Dej přednost v jízdě!	46	0	2
P06	Stůj, dej přednost v jízdě!	1044	80	96
B24a	Zákaz odbočování vpravo	6	0	0
B24b	Zákaz odbočování vlevo	8	0	0
Celkem	-	1104	80	98

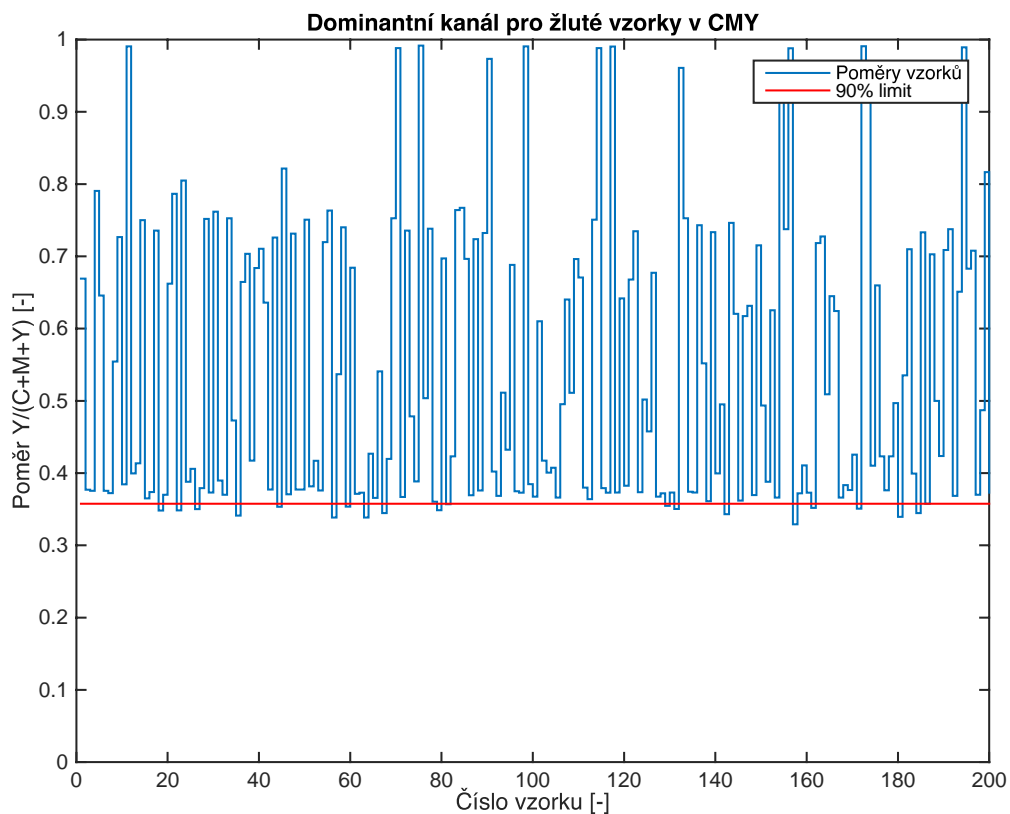
B. GRAFY S ANALÝZOU BAREV



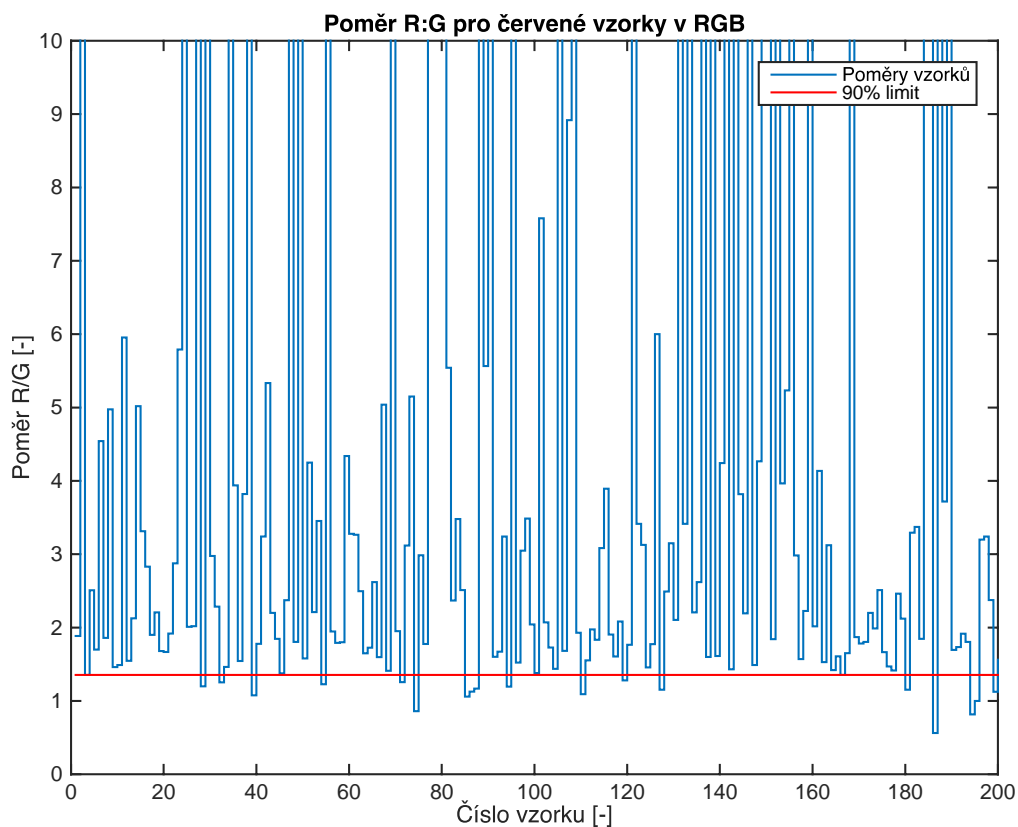
Obrázek B.1: Znáznornění analýzy metody dominantního kanálu pro červené vzorky



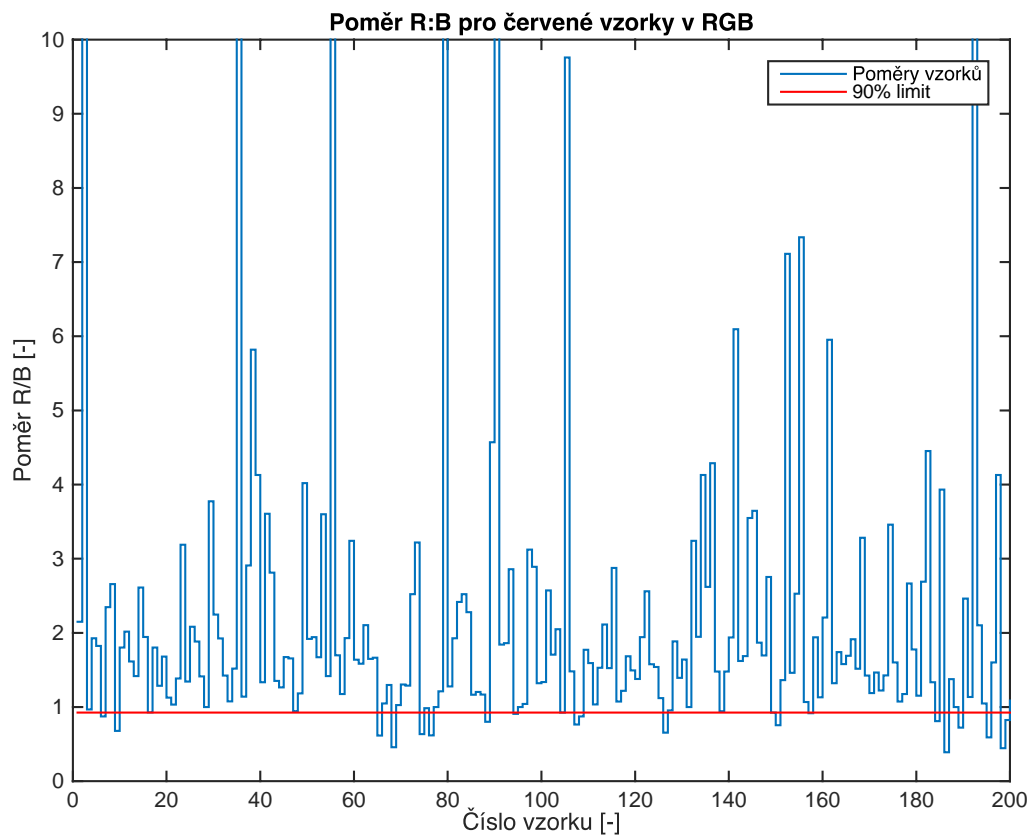
Obrázek B.2: Znáznornění analýzy metody dominantního kanálu pro modré vzorky



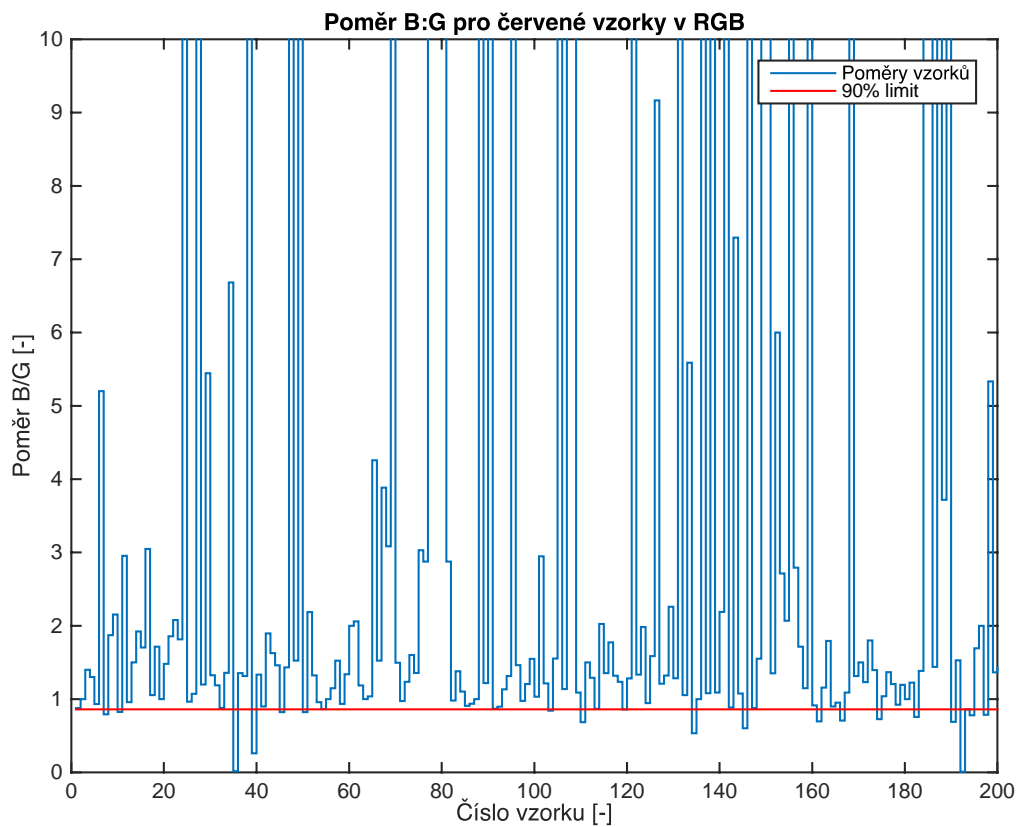
Obrázek B.3: Znárodnění analýzy metody dominantního kanálu pro žluté vzorky



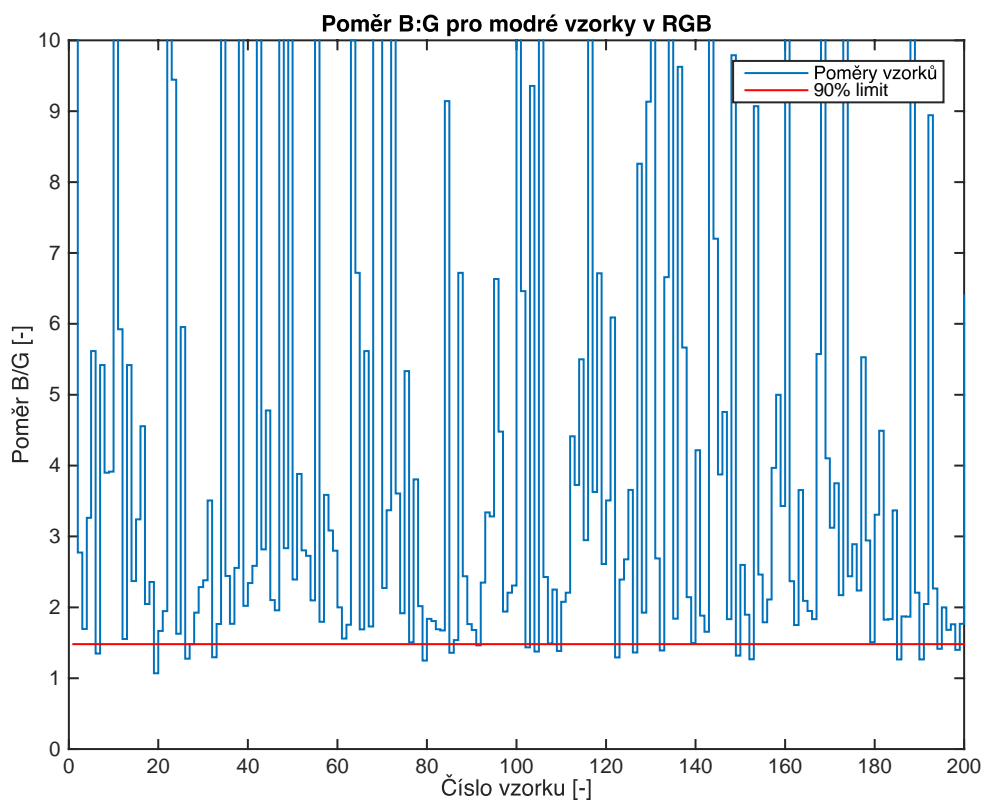
Obrázek B.4: Znárodnění analýzy poměru R/G v poměrové metodě pro červené vzorky



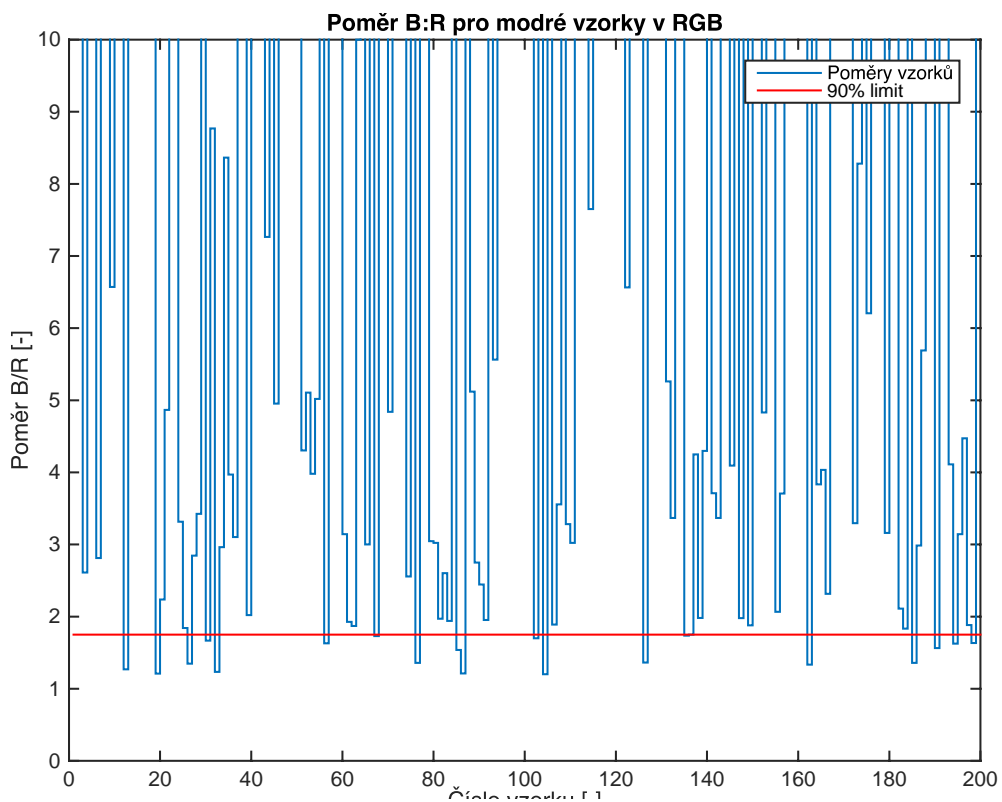
Obrázek B.5: Znáznornění analýzy poměru R/B v poměrové metodě pro červené vzorky



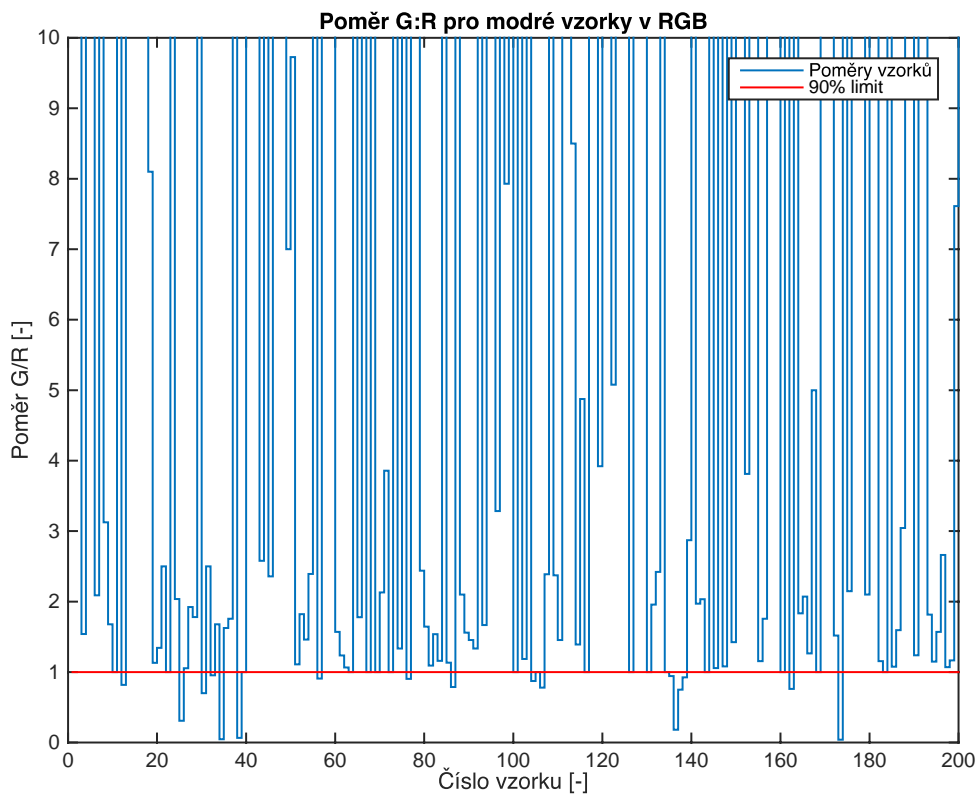
Obrázek B.6: Znáznornění analýzy poměru B/G v poměrové metodě pro červené vzorky



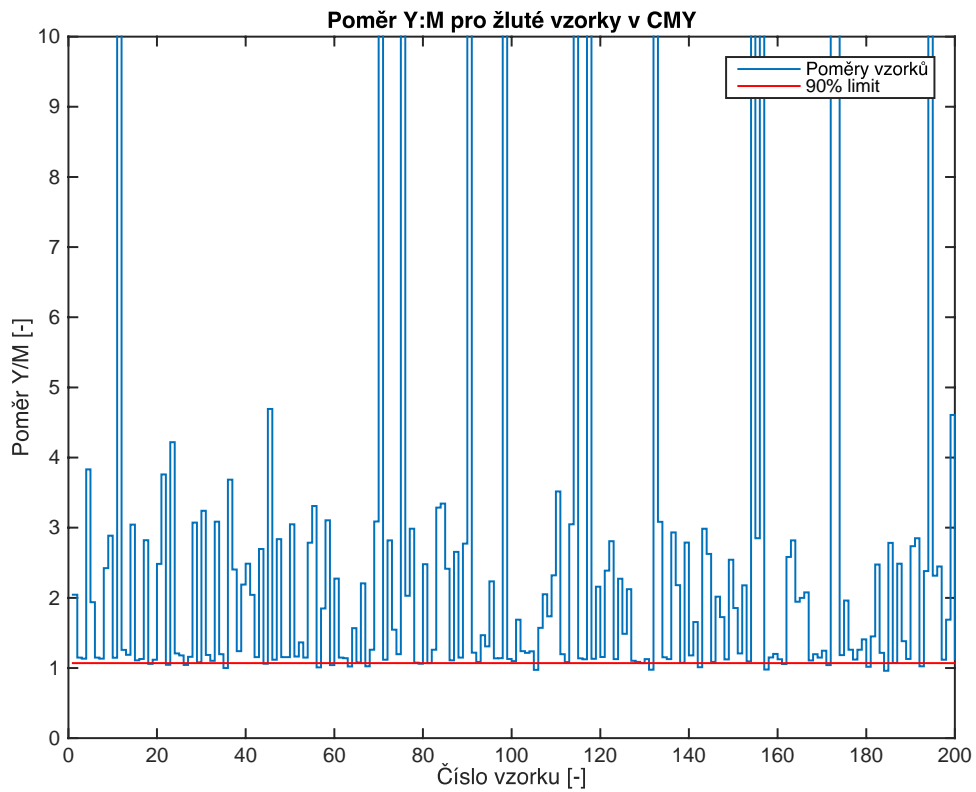
Obrázek B.7: Znáznornění analýzy poměru B/G v poměrové metodě pro modré vzorky



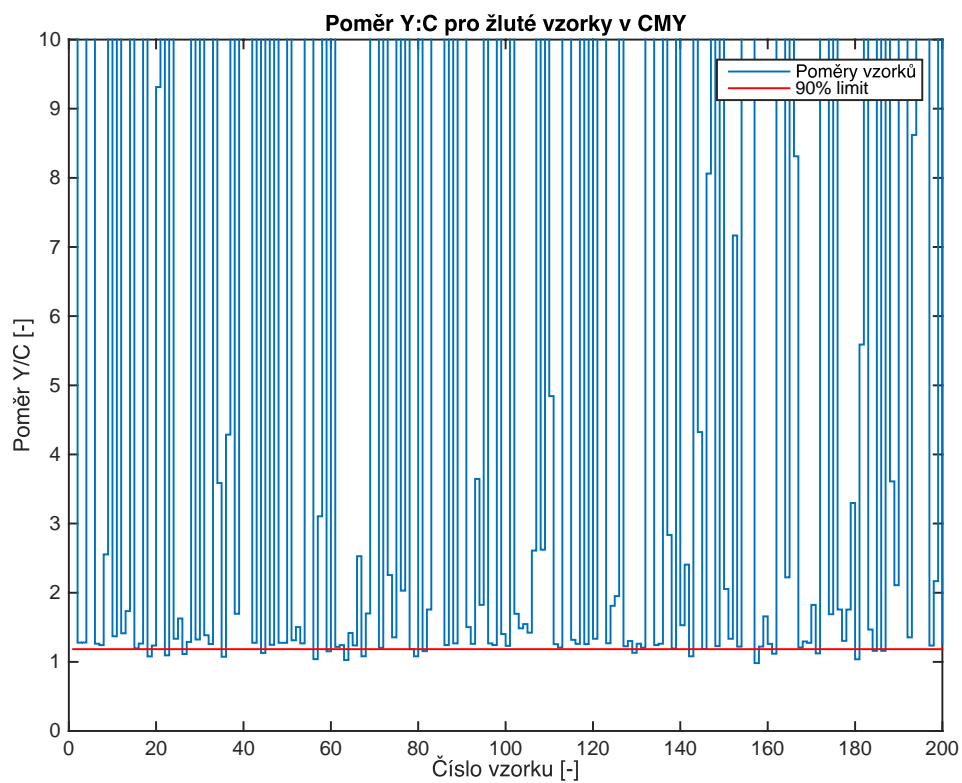
Obrázek B.8: Znáznornění analýzy poměru B/R v poměrové metodě pro modré vzorky



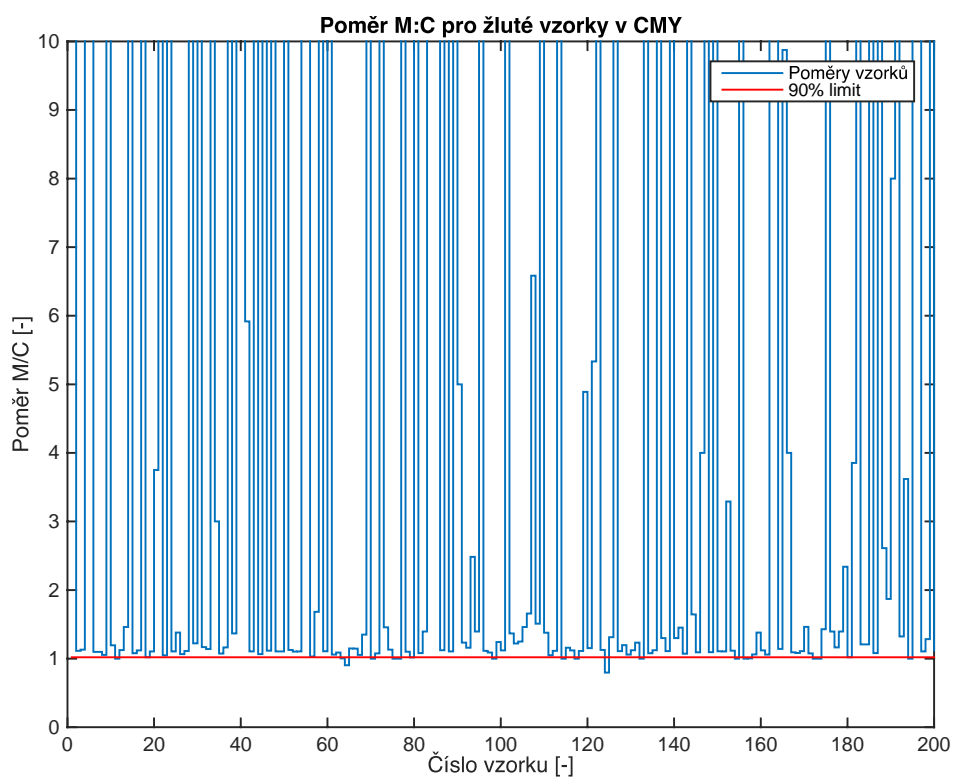
Obrázek B.9: Znáznornění analýzy poměru G/R v poměrové metodě pro modré vzorky



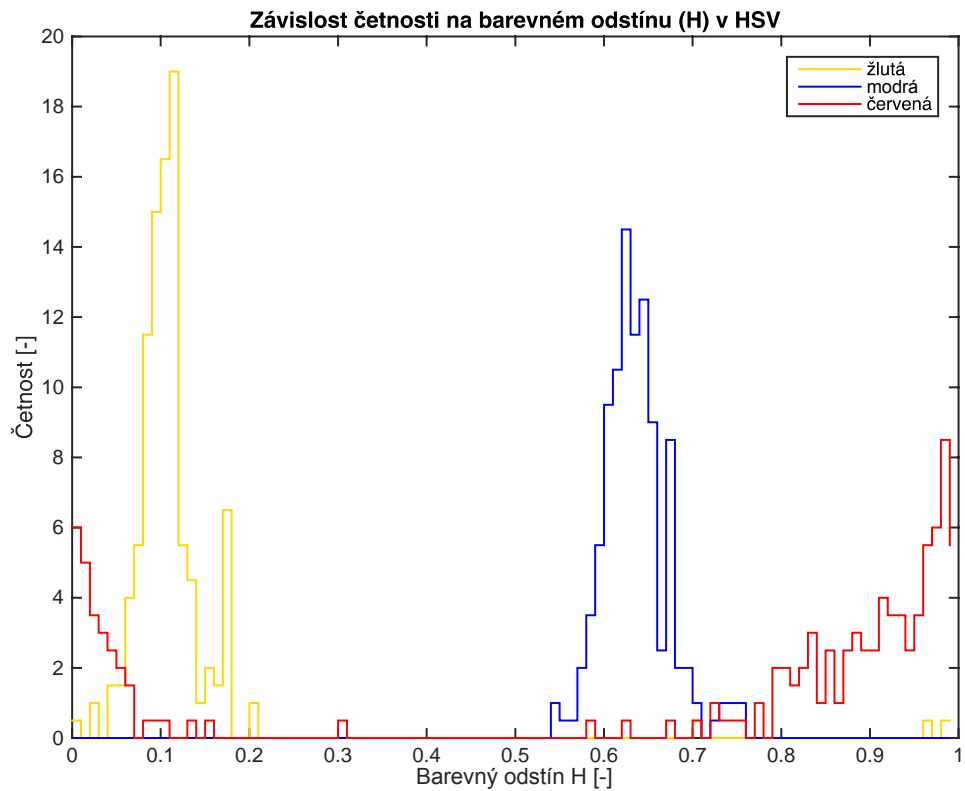
Obrázek B.10: Znáznornění analýzy poměru Y/M v poměrové metodě pro žluté vzorky



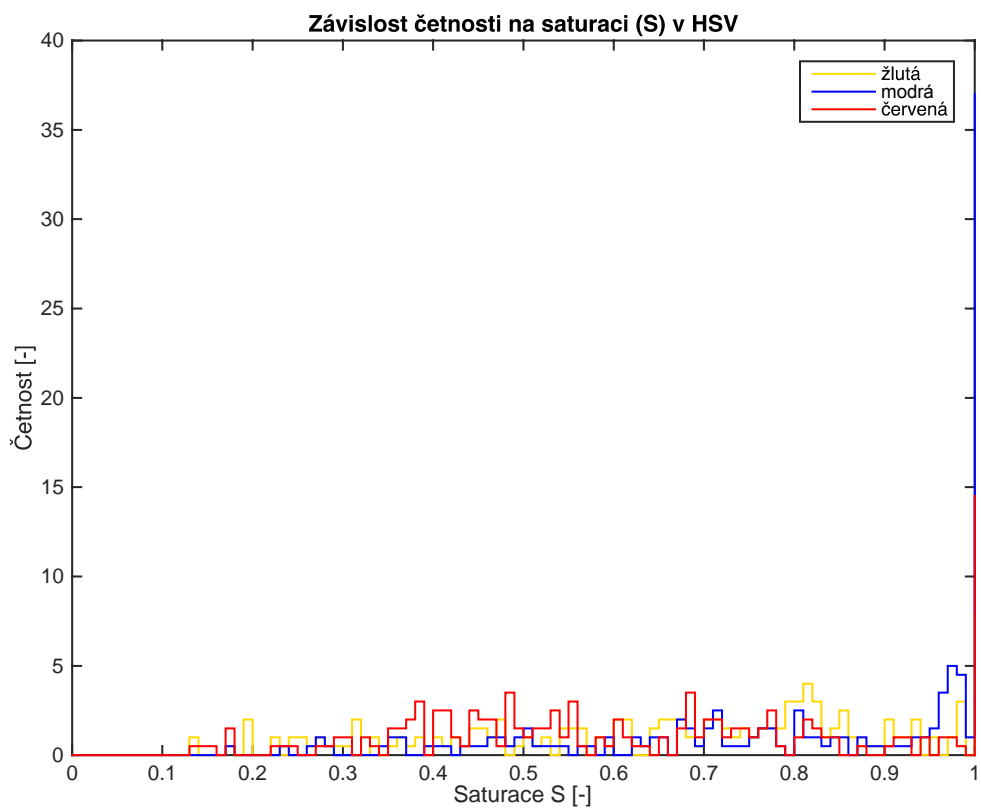
Obrázek B.11: Znáznornění analýzy poměru Y/C v poměrové metodě pro žluté vzorky



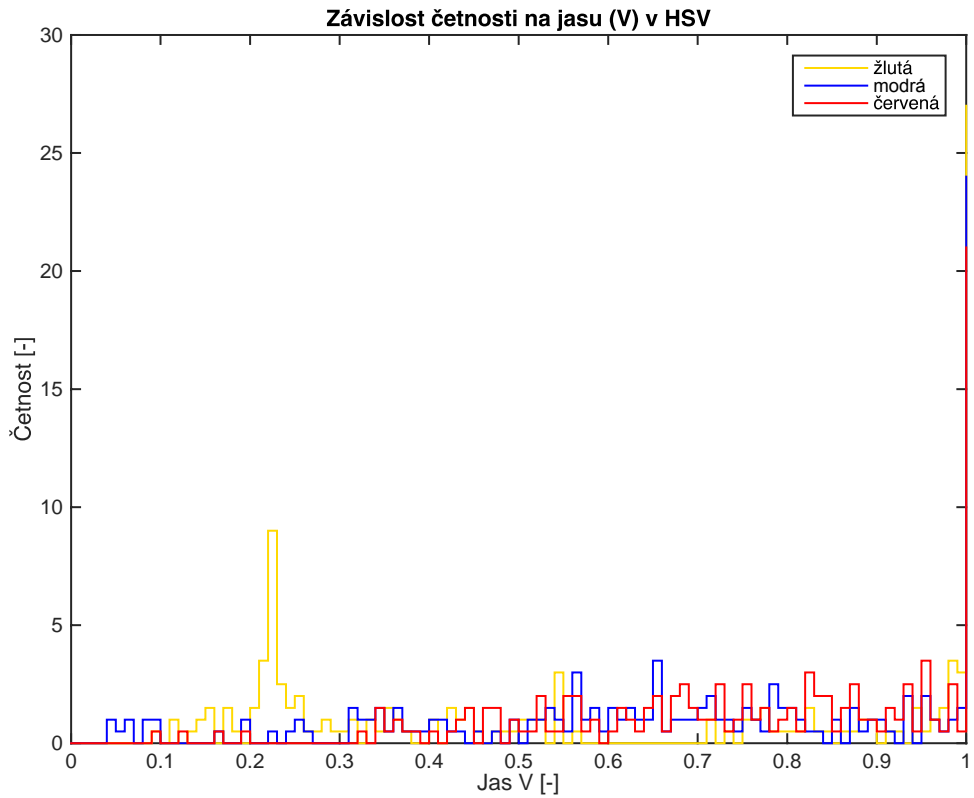
Obrázek B.12: Znáznornění analýzy poměru M/C v poměrové metodě pro žluté vzorky



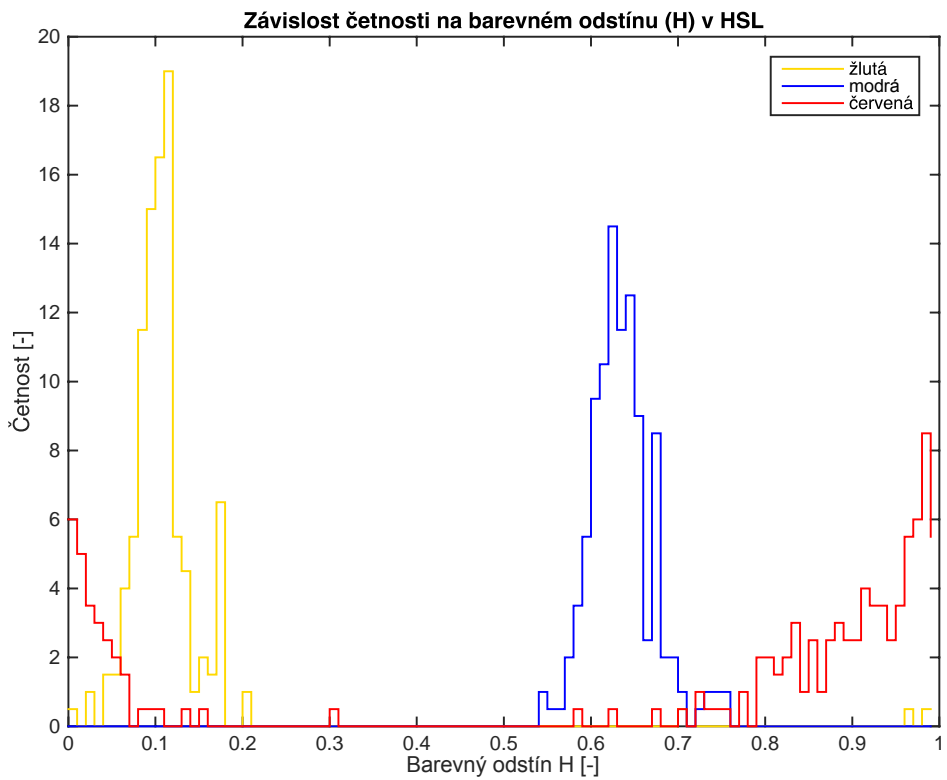
Obrázek B.13: Analýza barevného odstínu (H) v barevné reprezentaci HSV



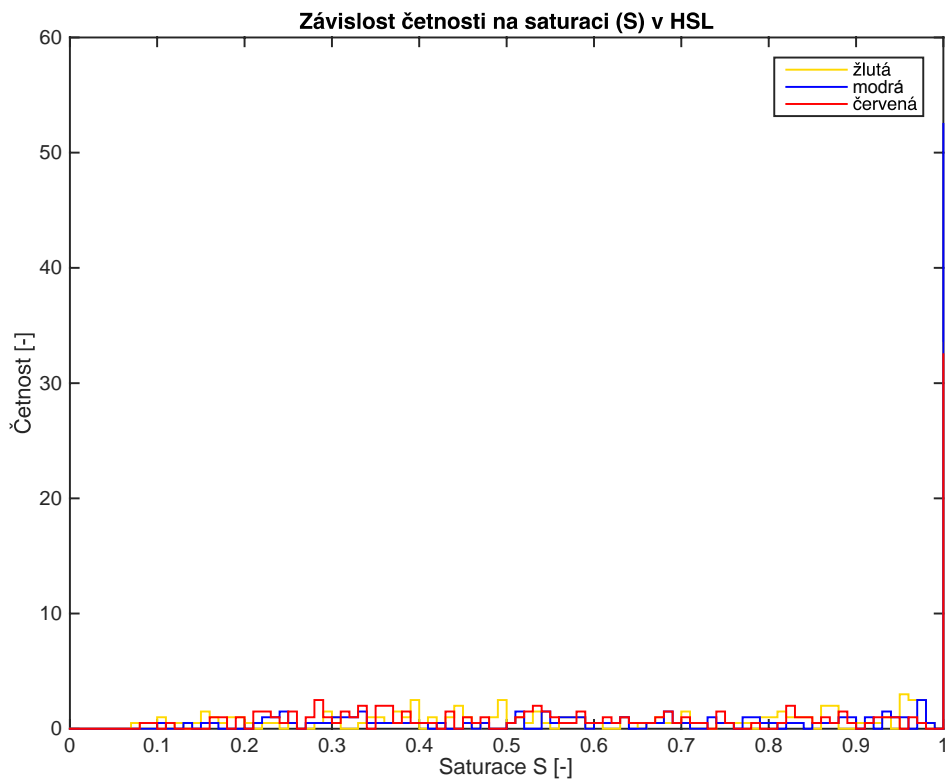
Obrázek B.14 Analýza Saturace (S) v barevné reprezentaci HSV



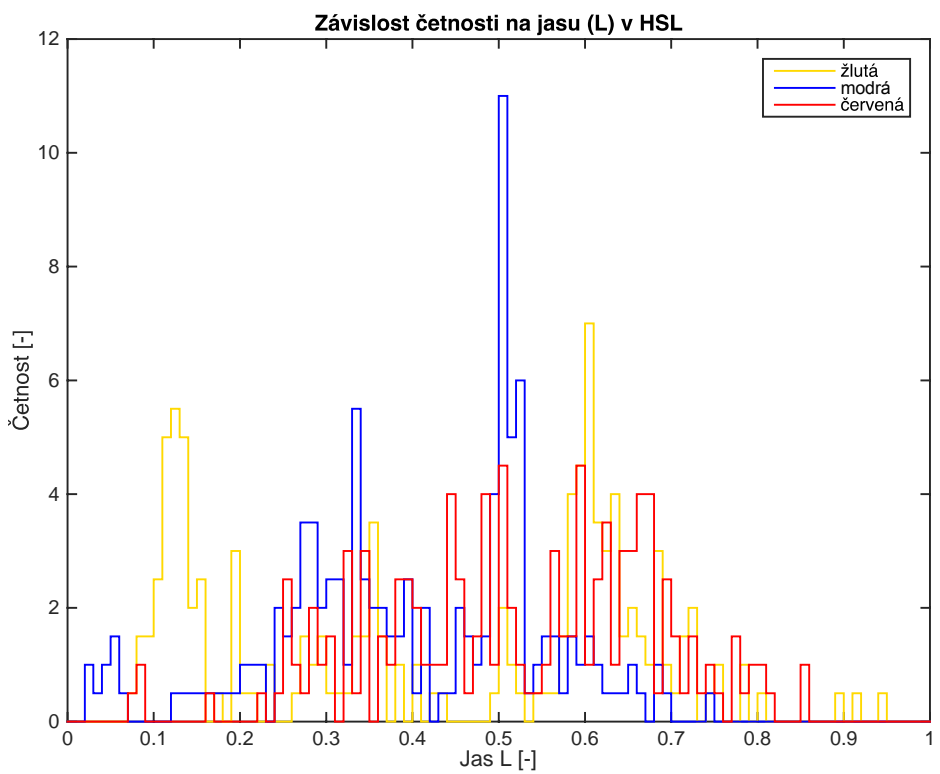
Obrázek B.15 Analýza jasu (V) v barevné reprezentaci HSV



Obrázek B.16 Analýza barevného odstínu (H) v barevné reprezentaci HSL



Obrázek B.17 Analýza Saturace (S) v barevné reprezentaci HSL

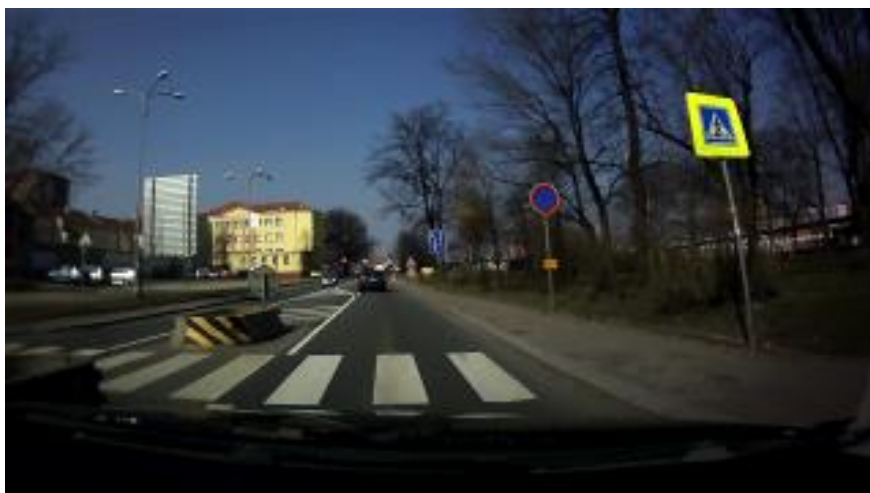


Obrázek B.18 Obrázek B.19 Analýza světlosti (L) v barevné reprezentaci HSL

C. UKÁZKY BAREVNÉ LOKALIZACE



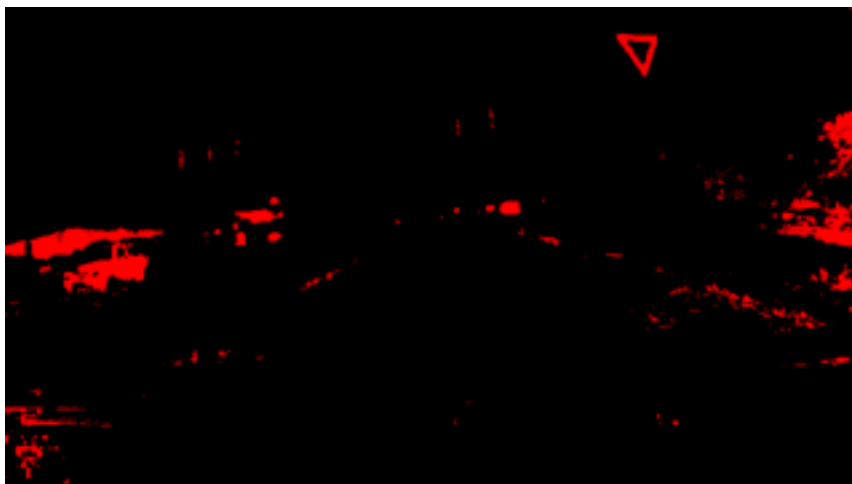
Obrázek C.1: Původní obrázek pro ukázky lokalizace červené barvy - před předzpracováním



Obrázek C.2: Původní obrázek pro ukázky lokalizace modré barvy- před předzpracováním



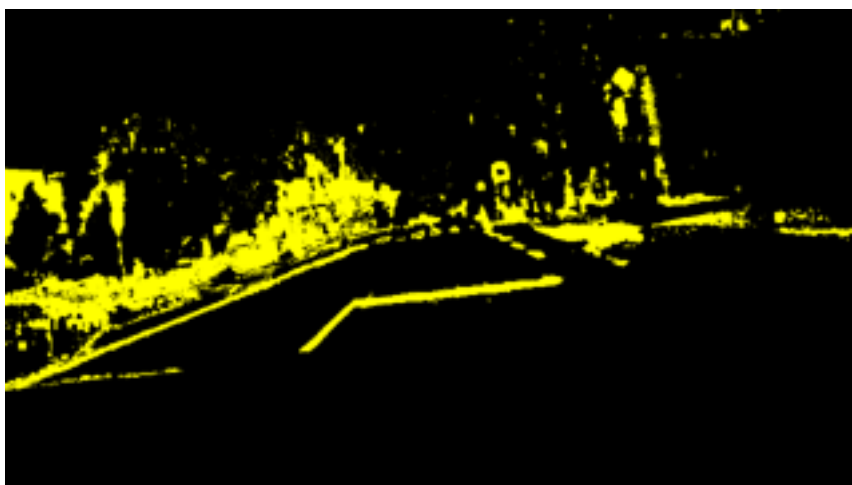
Obrázek C.3: Původní obrázek pro ukázky lokalizace žluté barvy- před předzpracováním



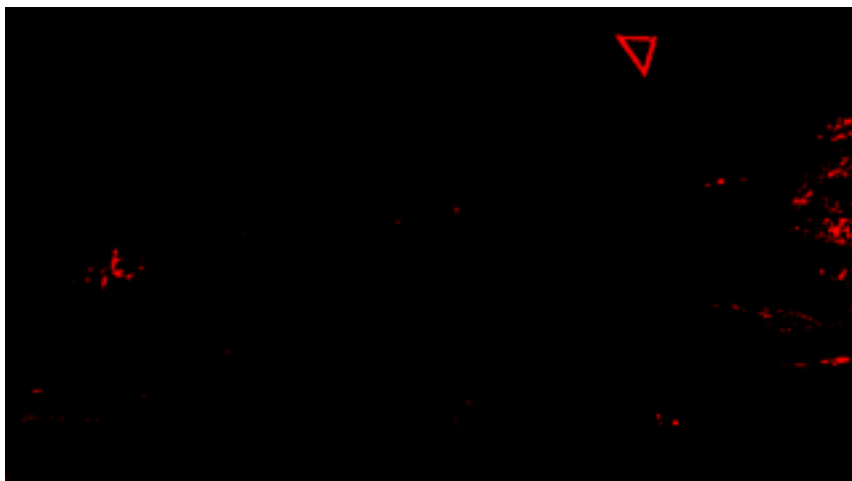
Obrázek C.4: Ukázka lokalizace červené barvy pomocí metody dominantního kanálu



Obrázek C.5: Ukázka lokalizace modré barvy pomocí metody dominantního kanálu



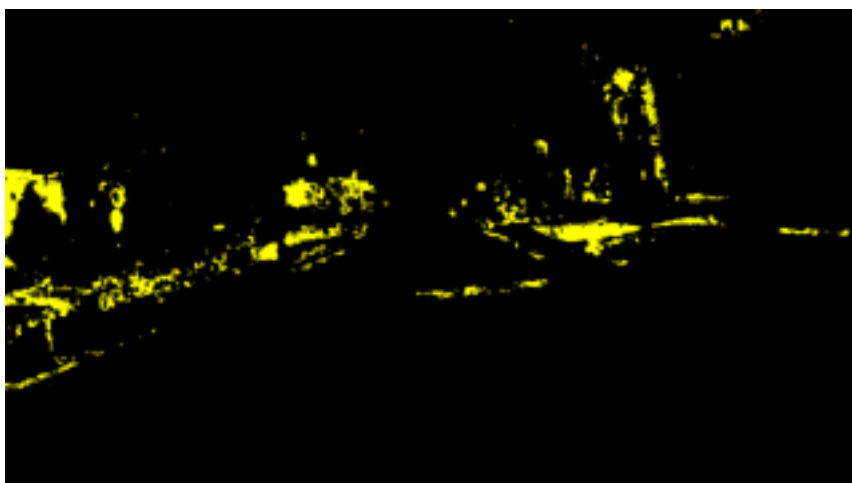
Obrázek C.6: Ukázka lokalizace žluté barvy pomocí metody dominantního kanálu



Obrázek C.7: Ukázka lokalizace červené barvy pomocí poměrové metody



Obrázek C.8: Ukázka lokalizace modré barvy pomocí poměrové metody



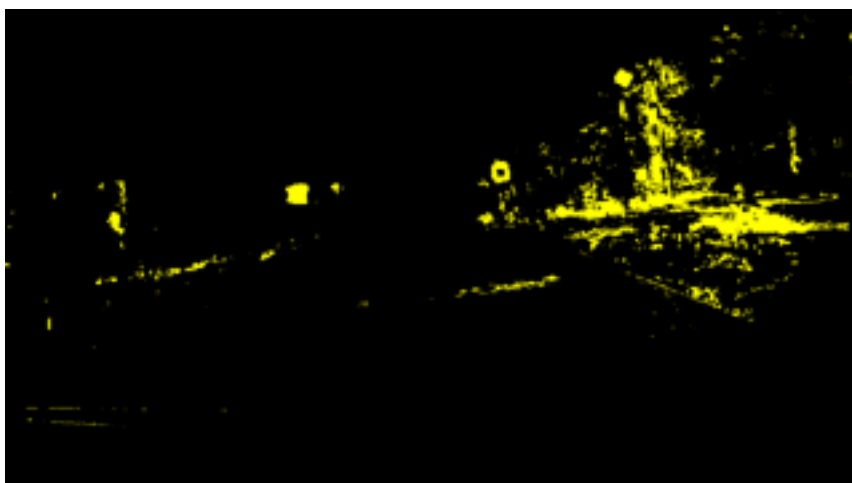
Obrázek C.9: Ukázka lokalizace žluté barvy pomocí poměrové metody



Obrázek C.10: Ukázka lokalizace červené barvy pomocí prahování v HSV



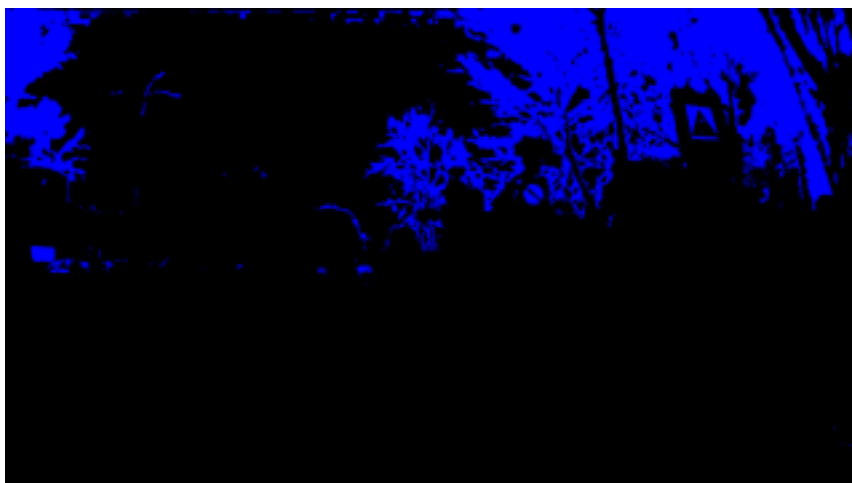
Obrázek C.11: Ukázka lokalizace modré barvy pomocí prahování v HSV



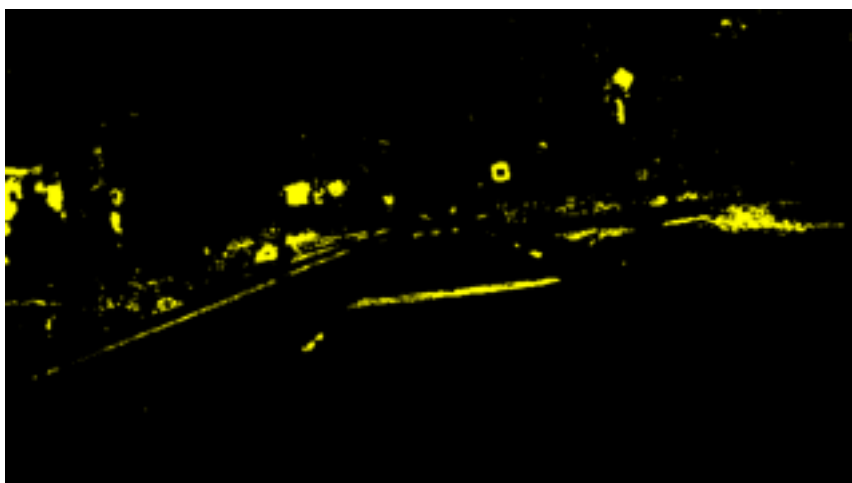
Obrázek C.12: Ukázka lokalizace žluté barvy pomocí prahování v HSV



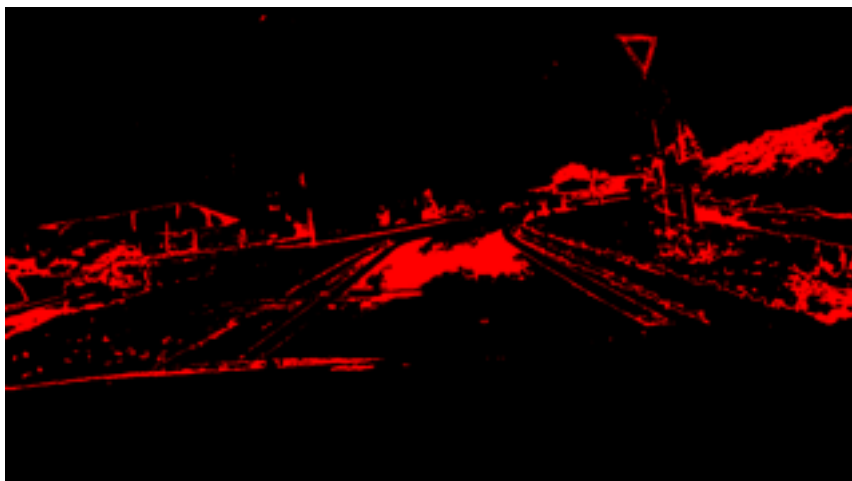
Obrázek C.13: Ukázka lokalizace červené barvy pomocí prahování v HSL



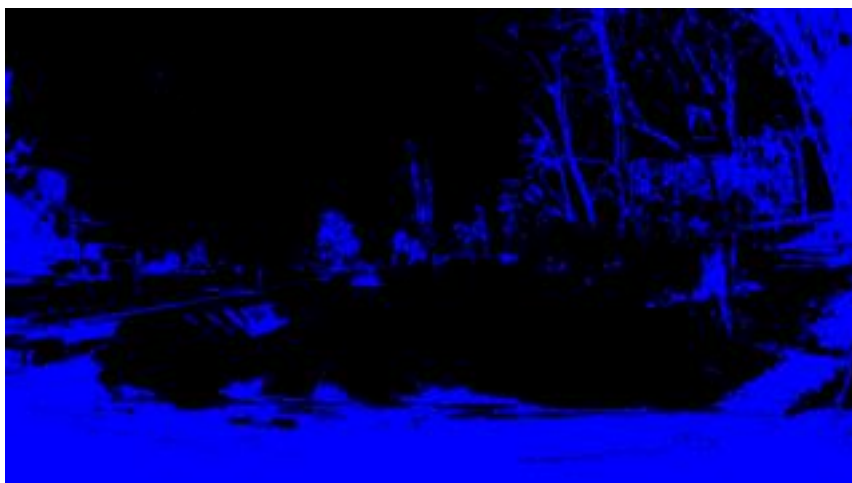
Obrázek C.14: Ukázka lokalizace modré barvy pomocí prahování v HSL



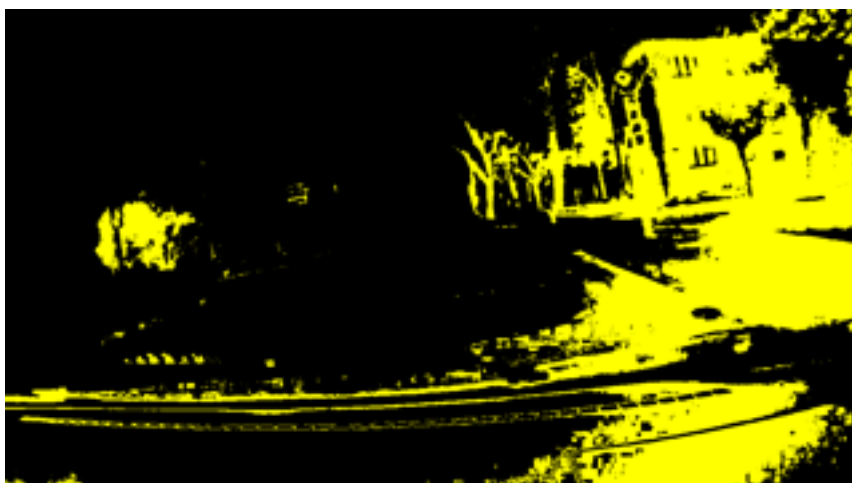
Obrázek C.15: Ukázka lokalizace žluté barvy pomocí prahování v HSL



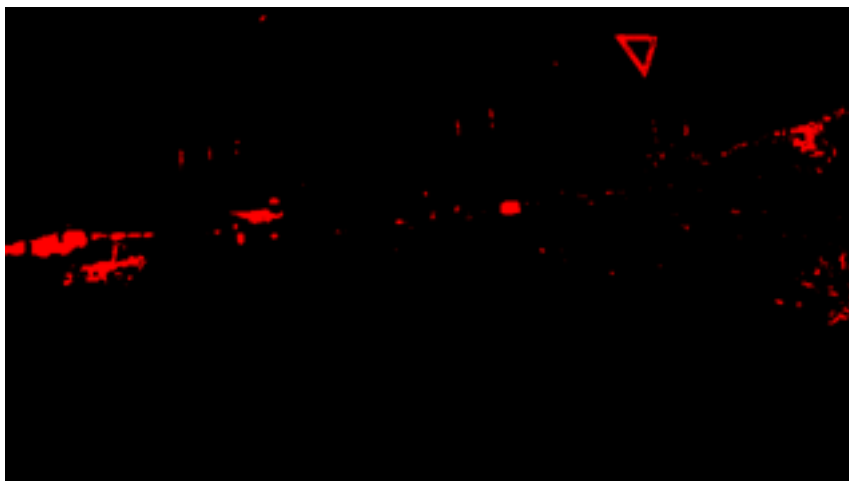
Obrázek C.16: Ukázka lokalizace červené barvy pomocí RCE sítě v RGB prostoru



Obrázek C.17: Ukázka lokalizace modré barvy pomocí RCE sítě v RGB prostoru



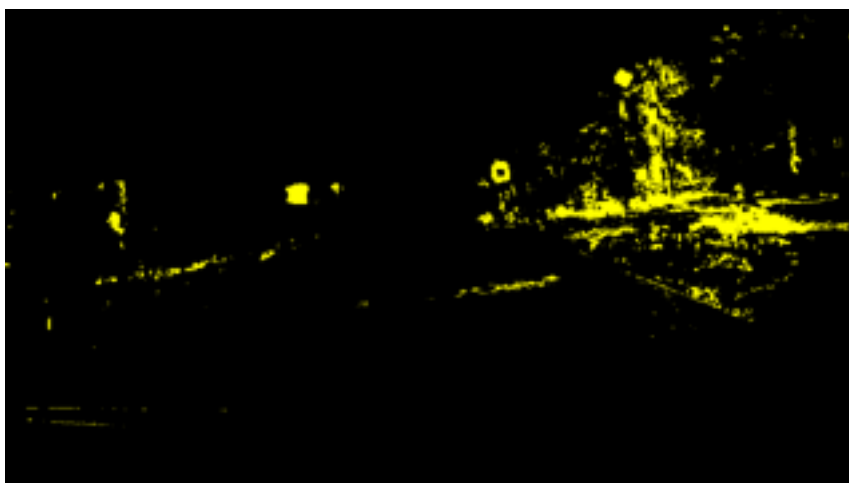
Obrázek C.18: Ukázka lokalizace žluté barvy pomocí RCE sítě v RGB prostoru



Obrázek C.19: Ukázka lokalizace červené barvy pomocí RCE sítě v HSV prostoru



Obrázek C.20: Ukázka lokalizace modré barvy pomocí RCE sítě v HSV prostoru



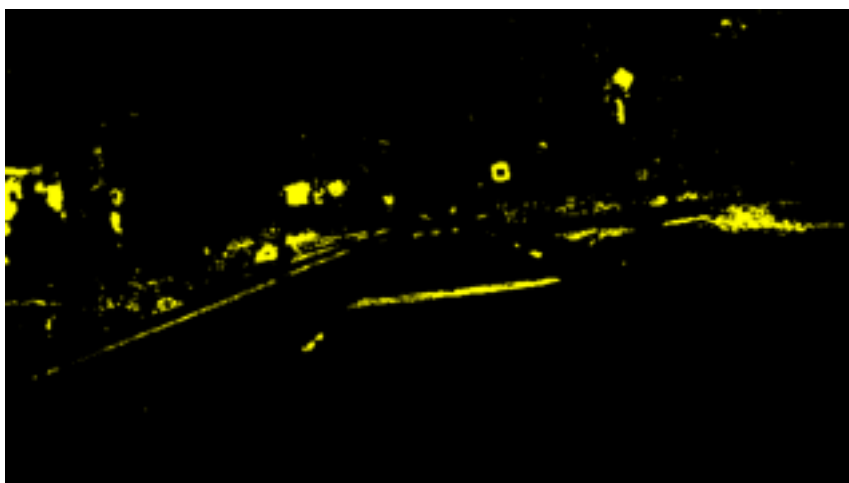
Obrázek C.21: Ukázka lokalizace žluté barvy pomocí RCE sítě v HSV prostoru



Obrázek C.22: Ukázka lokalizace červené barvy pomocí RCE sítě v HSL prostoru



Obrázek C.23: Ukázka lokalizace modré barvy pomocí RCE sítě v HSL prostoru



Obrázek C.24: Ukázka lokalizace žluté barvy pomocí RCE sítě v HSL prostoru

D. TABULKY S VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Tabulka D-I: Porovnání prahových metod barevné lokalizace v testu existence objektů, německá galerie

Barva	Oblastí celkem	Metoda	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění
Červená	816	RGB/CMY dominantní kanál	814	2	12,63
		RGB/CMY poměrová metoda	753	63	0,19
		HSV	803	13	6,1
		HSL	799	17	7,23
Modrá	126	RGB/CMY dominantní kanál	126	0	38,81
		RGB/CMY poměrová metoda	124	2	6,42
		HSV	124	2	12,53
		HSL	124	2	12,36
Žlutá	76	RGB/CMY dominantní kanál	74	2	11,36
		RGB/CMY poměrová metoda	74	2	6,74
		HSV	75	1	8,08
		HSL	74	2	6,01

Tabulka D-II: Porovnání prahových metod barevné lokalizace v testu existence objektů, první část švédské galerie

Barva	Oblastí celkem	Metoda	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění
Červená	587	RGB/CMY dominantní kanál	578	9	0,73
		RGB/CMY poměrová metoda	544	43	0,09
		HSV	545	42	0,44
		HSL	511	76	0,49

Barva	Oblastí celkem	Metoda	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění
Modrá	312	RGB/CMY dominantní kanál	312	0	67,6
		RGB/CMY poměrová metoda	312	0	32,98
		HSV	312	0	33,65
		HSL	312	0	33,9
Žlutá	242	RGB/CMY dominantní kanál	208	34	2,07
		RGB/CMY poměrová metoda	188	54	0,32
		HSV	212	30	0,35
		HSL	192	50	0,29

Tabulka D-III: Porovnání prahových metod barevné lokalizace v testu existence objektů, první část švédské galerie

Barva	Oblastí celkem	Metoda	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění
Červená	414	RGB/CMY dominantní kanál	404	10	0,61
		RGB/CMY poměrová metoda	377	37	0,06
		HSV	404	10	0,33
		HSL	404	10	0,44
Modrá	478	RGB/CMY dominantní kanál	478	0	66,81
		RGB/CMY poměrová metoda	478	0	25,25
		HSV	478	0	35,53
		HSL	478	0	32,7
Žlutá	212	RGB/CMY dominantní kanál	190	22	2,83
		RGB/CMY poměrová metoda	179	33	0,33
		HSV	185	27	0,35
		HSL	182	30	0,31

Tabulka D-IV: Porovnání barevné lokalizace pomocí RCE sítě v testu existence objektů, německá galerie

Barva	Oblastí celkem	Barevná reprezentace	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění
Červená	816	RGB	791	25	11,86
		HSV	790	26	6,05
		HSL	803	13	5,88
Modrá	126	RGB	124	2	22,75
		HSV	121	5	0,79
		HSL	122	4	1,62
Žlutá	76	RGB	75	1	24,93
		HSV	52	24	0,51
		HSL	32	44	0,46

Tabulka D-V: Porovnání barevné lokalizace pomocí RCE sítě v testu existence objektů, první část švédské galerie

Barva	Oblastí celkem	Barevná reprezentace	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění
Červená	587	RGB	510	77	3,43
		HSV	481	106	0,71
		HSL	454	133	0,25
Modrá	312	RGB	301	11	29,92
		HSV	312	0	14,27
		HSL	312	0	16,5
Žlutá	242	RGB	235	7	14,95
		HSV	57	185	0,05
		HSL	26	216	0,04

Tabulka D-VI: Porovnání barevné lokalizace pomocí RCE sítě v testu existence objektů, druhá část švédské galerie

Barva	Oblastí celkem	Barevná reprezentace	Nalezených	Nenalezených	Poměr zaplnění
Červená	414	RGB	407	7	4,3
		HSV	408	6	0,56
		HSL	386	28	0,24
Modrá	478	RGB	474	4	22,63
		HSV	478	0	5,91
		HSL	478	0	15,13
Žlutá	212	RGB	185	27	13,06
		HSV	69	143	0,04
		HSL	92	120	0,04

Tabulka D-VII: Výsledky lokalizace bez uzavírání objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace pomocí metody dominantního kanálu v RGB/CMY

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	84	11	330	0,20	0,12
Červený kruh	111	323	387	0,22	0,74
Modrý obdélník	98	214	388	0,20	0,69
Modrý kruh	50	422	264	0,16	0,89
Žlutý natočený obdélník	85	1433	211	0,29	0,94

Tabulka D-VIII: Výsledky lokalizace s uzavíráním objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace pomocí metody dominantního kanálu v RGB/CMY

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	83	11	331	0,20	0,12
Červený kruh	133	396	365	0,27	0,75
Modrý obdélník	56	107	430	0,12	0,66
Modrý kruh	48	422	266	0,15	0,90
Žlutý natočený obdélník	66	1263	230	0,22	0,95

Tabulka D-IX: Výsledky lokalizace bez uzavírání objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace pomocí poměrové metody v RGB/CMY

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	85	1	329	0,21	0,01
Červený kruh	111	38	387	0,22	0,26
Modrý obdélník	83	154	403	0,17	0,65
Modrý kruh	77	168	237	0,25	0,69
Žlutý natočený obdélník	54	873	242	0,18	0,94

Tabulka D-X: Výsledky lokalizace s uzavíráním objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace pomocí poměrové metody v RGB/CMY

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	88	1	326	0,21	0,01
Červený kruh	149	68	349	0,30	0,31
Modrý obdélník	63	78	423	0,13	0,55
Modrý kruh	98	232	216	0,31	0,70
Žlutý natočený obdélník	42	857	254	0,14	0,95

Tabulka D-XI: Výsledky lokalizace bez uzavírání objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace pomocí prahové metody v HSL

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	81	4	333	0,20	0,05
Červený kruh	126	151	372	0,25	0,55
Modrý obdélník	80	178	406	0,16	0,69
Modrý kruh	75	149	239	0,24	0,67
Žlutý natočený obdélník	89	824	207	0,30	0,90

Tabulka D-XII: Výsledky lokalizace s uzavíráním objektů, vlastní galerie, barevná lokalizace pomocí prahové metody v HSL

Tvar	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita	FDR
Červený trojúhelník	44	5	370	0,11	0,10
Červený kruh	116	313	382	0,23	0,73
Modrý obdélník	41	76	445	0,08	0,65
Modrý kruh	94	201	220	0,30	0,68
Žlutý natočený obdélník	13	376	283	0,04	0,97

Tabulka D-XIII: Výsledek identifikace bez známého typu značky pomocí MSER detektoru, německá galerie

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	0	65	0	-
A10	3	8	15	0.17
A12	1	8	13	0.07
A15	6	11	25	0.19
A22	27	4	11	0.71
B04	2	90	6	0.25
B20a_030	21	13	58	0.27
B20a_050	1	12	80	0.01
B20a_100	10	4	31	0.24
B28	0	32	0	-
C01	5	25	5	0.50
C04a	2	1	86	0.02
C04c	0	20	0	-
IP02	0	12	0	-
IP06	0	3	0	-
IP10b	0	11	0	-
P02	1	22	84	0.01
P03	0	24	0	-
P04	48	104	35	0.58
P06	0	2	32	0.00
P29	0	5	0	-
none	0	5	0	-

Tabulka D-XIV: Výsledek identifikace bez známého typu značky pomocí MSER detektoru, první část švédské galerie

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	0	185	0	-
A10	0	17	0	-
A12	0	16	0	-
A15	0	39	0	-
A22	0	7	0	-
B04	0	182	0	-
B20a_030	0	32	45	0.00
B20a_050	22	9	201	0.10
B20a_100	0	11	77	0.00
B28	23	65	54	0.30
C01	0	30	0	-
C04a	24	21	327	0.07

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
C04c	2	76	29	0.06
IP02	0	24	0	-
IP06	1	4	336	0.00
IP10b	0	84	0	-
P02	12	161	458	0.03
P03	0	37	0	-
P04	118	546	143	0.45
P06	0	15	21	0.00
P29	0	43	0	-
none	0	87	0	-

Tabulka D-XV: Výsledek identifikace bez známého typu značky pomocí MSER detektoru, druhá část švédské galerie

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	0	245	0	-
A10	0	16	0	-
A12	0	14	0	-
A15	0	63	0	-
A22	0	19	0	-
B04	0	229	0	-
B20a_030	0	37	9	0.00
B20a_050	14	12	179	0.07
B20a_100	0	3	108	0.00
B28	12	56	48	0.20
C01	0	16	0	-
C04a	37	27	463	0.07
C04c	1	110	14	0.07
IP02	0	47	0	-
IP06	6	4	922	0.01
IP10b	0	98	0	-
P02	20	188	632	0.03
P03	0	24	0	-
P04	48	1093	73	0.40
P06	0	4	57	0.00
P29	0	61	0	-
none	0	139	0	-

Tabulka D-XVI: Výsledek identifikace bez známého typu značky pomocí MSER detektoru, americká galerie

Značka	True Positive	False Positive	False Negative	Senzitivita
A07b	0	58	0	-
A10	0	18	0	-
A12	0	8	0	-
A15	0	2	0	-
A22	0	42	0	-
B04	0	110	0	-
B20a_030	0	45	0	-
B20a_050	0	51	0	-
B20a_100	0	35	0	-
B28	0	127	0	-
C01	0	31	0	-
C04a	0	19	0	-
C04c	0	24	0	-
IP02	0	45	0	-
IP06	0	3	0	-
IP10b	0	211	0	-
P02	0	66	0	-
P03	0	14	0	-
P04	32	78	14	0.70
P06	41	0	1003	0.04
P29	0	22	0	-
none	0	8	0	-

E. OBSAH DVD

Na přiloženém DVD se nacházejí následující soubory a adresáře:

DiplomovaPrace.pdf - elektronická podoba této práce

Algoritmy	- adresář se všemi algoritmy
Predzpracovani	- předzpracování pro barevnou lokalizaci
Barevna_lokalizace	- barevná lokalizace
Redukce_oblasti	- algoritmy s redukcí počtu nalezených oblastí
Tvarova_lokalizace	- tvarová lokalizace
Normalizace	- normalizace
Identifikace	- identifikace
Celkovy_proces	- celkový proces detekce značky
Testy	- adresář s testy
Testy_barva	- testy s barevnou lokalizací
Testy_tvar	- testy s tvarovou lokalizací
Testy_identifikace	- testy s identifikací
Annotator	- adresář se soubory pro aplikaci Annotator
Annotator.m	- soubor ke spuštění aplikace
Prelozene_anotace	- přeložené anotace k převzatým galeriím
Vlastni_galerie	- galerie s anotacemi vytvořená v rámci této práce
anotace.csv	- soubor s anotacemi

Všechny skripty jsou vytvořené v programu Matlab 2014b pod operačním systémem OS X Yosemite verze 10.10.3. V jiných systémech a verzích není zaručená plná funkčnost navržených skriptů a aplikací bez dodatečných úprav.

Některé skripty potřebují ke svému fungování funkce z jiných složek, než ve kterých se nacházejí. Z tohoto důvodu je doporučeno přidat složku Algoritmy do cest v programu Matlab.

V případě použití některých skriptů se ukládají výsledné soubory do aktuální pracovní složky v Matlabu. Z tohoto důvodu není doporučeno používat jako pracovní složku toto DVD.