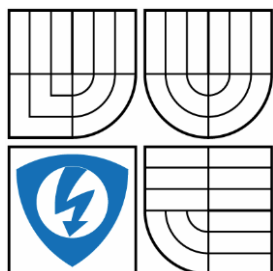


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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

AUTOMATICKÉ OSTŘENÍ S VYUŽITÍM CAN-EF MODULU

AUTOFOCUS USING CAN-EF INTERFACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MAREK IŽARÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETER HONEC, Ph.D.

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**
Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Marek Ižarík

ID: 146840

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Automatické ostření s využitím CAN-EF modulu

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce bude navrhnout, implementovat a otestovat metodu pro automatické ostření kamery osazené CAN-EF modulem pro dopravní scénu s pohybujícím se objektem.

1. Zpracujte rešerši kriteriálních funkcí ostrosti obrazu.
2. Navrhněte GUI, systém řízení kamery a CAN-EF modulu.
3. Optimalizujte soustavu pro různé pracovní režimy - minimální doba ostření, maximální ostrost, průběžné ostření pohybujícího se objektu...
4. Ověřte a vyhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Hlaváč, Šonka, Počítačové vidění.

Šonka, Hlaváč, Boyle - IMAGE PROCESSING, ANALYSIS, AND MACHINE VISION,

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 16.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Peter Honec, Ph.D.

Konzultant 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

Predmetom tejto diplomovej práce je návrh, testovanie a implementácia algoritmov automatického ostrenia pre fotografický objektív Canon s použitím CAN-EF modulu, pričom jednou z požiadaviek je možnosť priebežného ostrenia na vozidlo pri sledovaní dopravnej scény. V práci je otestovaných niekoľko kritérií pre posúdenie ostrosti v obraze a je navrhnutý systém automatického riadenia objektívu a kamery.

Kľúčové slová

Počítačové videnie, Automatické ostrenie, OpenCV, CAN-EF,

Abstract

The main topic of this master thesis is creating, testing and implementation of algorithms for autofocus with Canon camera lens using CAN-EF interface, while one of the assignments is possibility to continuous focus to the vehicle in traffic monitoring. There are tested a number of criteria for the assessment if sharpness in the image and is designed automatic control system of the lens and camera.

Keywords

Computer vision, Autofocus, OpenCV, CAN-EF,

Bibliografická citácia

IŽARÍK, M. Automatické ostření s využitím CAN-EF modulu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Peter Honec, Ph.D..

Prehlásenie

„Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Automatické ostrenie s využitím CAN-EF modulu som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce. Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení §11 a nasledujúcich autorský zákon č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa: **16. mája 2016**

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Petrovi Honcovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

V Brne dňa: **16. mája 2016**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Použitý hardvér a softvér	11
2.1	CAN-EF modul	11
2.2	Kamera	12
2.3	Objektív.....	13
2.4	Microsoft Visual Studio 2013	13
2.5	OpenCV.....	13
3	Teoretický rozbor.....	14
3.1	Ostrenie, ostrosť a hĺbka ostrosti	14
3.2	Automatické ostrenie.	16
3.2.1	Aktívne automatické ostrenie	16
3.2.2	Pasívne automatické ostrenie.....	16
3.2.3	Kontinuálne automatické ostrenie	16
3.3	Riadenie expozície	16
3.4	Digitálny obraz.....	17
3.5	Predspracovanie obrazu	18
3.6	Segmentácia obrazu	18
3.7	Hranový obraz.....	19
3.8	Integrálny obraz	21
3.9	RS-232.....	22
4	Riešenie.....	23
4.1	Komunikácia s kamerou.....	23
4.2	Ovládanie objektívu	23
4.2.1	Funkcia OtvorCOMPort	24
4.2.2	Funkcia ZapisCOMPort.....	24
4.2.3	Funkcia CitajCOMPort	24
4.2.4	Funkcia ZatvorCOMPort	24
4.2.5	Funkcia Ostri.....	24
4.2.6	Funkcia Clona	25
4.3	Vyhodnotenie ostrosti	25
4.4	Lokalizácia RZ vozidiel v obraze	28
4.5	Verifikácia nájdenej RZ	31
4.6	Automatické nastavenie expozície.....	32
4.7	Ostrenie	33
4.7.1	Zaostrenie statickej scény	33
4.7.2	Zaostrenie na RZ.....	35
4.7.3	Priebežné ostrenie	35
4.8	Popis vytvorenej aplikácie	38

5	Testovanie funkčnosti	44
5.1	Priebežné ostrenie	44
5.2	Zaostrenie statickej scény	49
6	Záver	50

1 ÚVOD

V dnešnej dobe je možné kameru nájsť takmer na každom druhu spotrebnej elektroniky. Dobrá dostupnosť kamier je však takisto v priemysle, a tak sa odbor počítačového videnia môže stále viac rozrastať a nachádzať tak uplatnenie v stále širšom okruhu aplikácií.

Väčšina lepších zariadení ponúkajúcich snímanie obrazu umožňuje obraz aj automaticky zaostriť. To však nie je možné vo všetkých prípadoch, nie všetky kamery sú totiž vybavené optikou umožňujúcou meniť rovinu zaostrenia a takisto ani elektronikou schopnou takúto optiku riadiť. K takýmto kamerám je však často možné pripojiť pomocou správnych nástrojov objektív napríklad z fotoaparátu, ktorý takéto ostrenie umožňuje a pomocou prídavnej elektroniky a výpočtovej techniky je potom možné využívať automatické ostrenie aj na takomto zariadení. Práve k tomuto účelu slúži aj CAN-EF modul, ktorý je použitý v tejto diplomovej práci. S použitím tohto modulu je možné ľubovoľne ovládať objektív a vytvoriť tak aplikácie nielen na obyčajné automatické ostrenie, ale napríklad aj sledovať objekt pohybujúci sa v snímanej scéne a udržiavať tak v rovine zaostrenia tú časť obrazu, ktorá je pre nás zaujímavá.

Cieľom tejto diplomovej práce je využiť automatické ostrenie v dopravných aplikáciách, a preto je ako sledovaný bod záujmu zvolené vozidlo. Na Obrázku 1.1 je názorne predvedené, ako vyzerá scéna, kde sa vozidlo pohybuje v smere osi snímania bez použitia automatického ostrenia. Je vidieť, že obraz vozidla na druhej snímke nie je ostrý. Je to spôsobené tým, že zaostrená vzdialenosť bola približne v miestach, kde sa vozidlo nachádza na prvej snímke a tým, že vozidlo svojim pohybom túto vzdialenosť rozšírenú o hĺbku ostroti prekročilo. Voľba zaostrenej vzdialenosti preto musí byť kompromisom, kde ostrý záber je možné dosiahnuť len v určitom rozsahu okolo zaostrenej vzdialenosti a mimo toho bude obraz do istej miery neostrý. Tento problém je však možné odstrániť automatickým priebežným ostrením, pri ktorom je vozidlo sledované zaostrenou vzdialenosťou a je dosiahnutý ostrý obraz v celom rozsahu snímania. K tomu je však potrebné číselne vyjadriť ostrosť obraze. Aj tento problém spolu s riadením použitej kamery a objektívu je popísaný v nasledujúcich kapitolách.



a)



b)

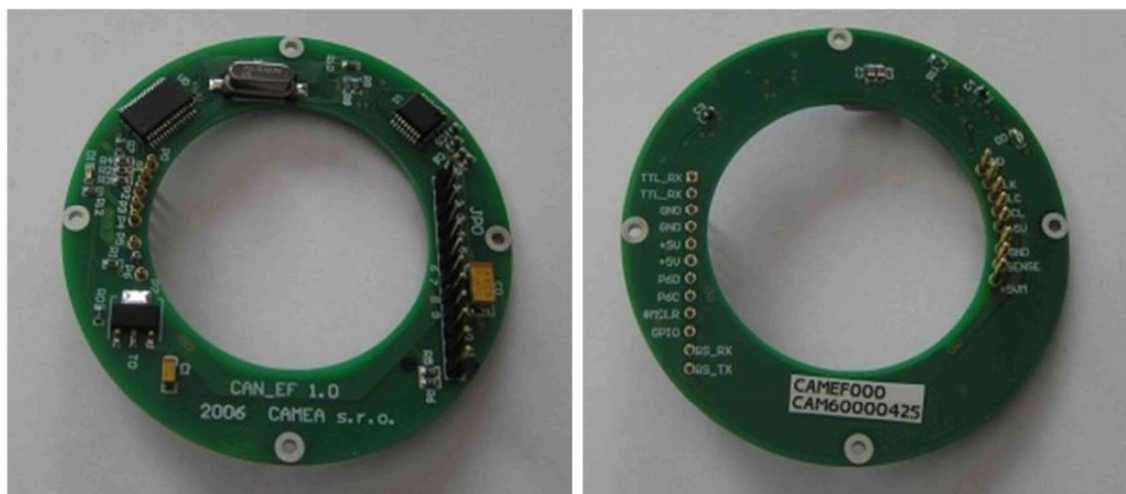
Obrázok 1.1 Ukážka rozostrenia obrazu pri pohybe vozidla v smere osy snímania pri konštantnom zaostrení

- a) Vozidlo je v dostatočne ďaleko od kamery a nachádza sa v zaostrenej vzdialenosti – obraz je ostrý
- b) Vzdialenosť vozidla a kamery je nižšia ako je zaostrená vzdialenosť – obraz je neostrý

2 POUŽITÝ HARDVÉR A SOFTVÉR

2.1 CAN-EF modul

CAN-EF je modul umožňujúci riadenie objektívov CANON pomocou RS-232 alebo TTL-232. Je vložený do redukcie medzi kamerou a objektívom.



Obrázok 2.1: CANON EF modul[9]

Pre účely komunikácie s týmto modulom bola vytvorená knižnica funkcií, ktoré zahŕňajú príkazy používané pre ovládanie objektívu, clony či všeobecne pre komunikáciu po sériovej linke.

Modul komunikuje pomocou správ, ktoré obsahujú príkaz (COMMAND) obalený do štart znaku (START), ID zariadenia (ID), stop znaku (STOP) a kontrolného súčtu (CRC). Správa má potom tvar: <START><ID><COMMAND><STOP><CRC>, kde štart znak je definovaný ako hodnota 0x02, ID zariadenia môže nadobúdať hodnoty 0x00 až 0x7f, pričom na jednej sieti môže byť pripojených niekoľko zariadení naraz a správu prijíma len zariadenie s príslušným ID. Pri použití hodnoty ID 0x00 spracovávajú správu všetky zariadenia. COMMAND obsahuje reťazec definovaný pre jednotlivé operácie modulu. Stop znak má definovanú hodnotu 0x03 a kontrolný súčet je vytvorený ako bitový XOR všetkých bajtov správy a čísla 0x7f. Po vykonaní príkazov môže nasledovať odpoveď modulu. Tú je možné nastaviť podľa atribútu VERBOSE_MODE tak, že odpoveď môže obsahovať výsledok o vykonaní príkazu a teda OK alebo ERRxx, kde xx predstavuje číslo chyby, informácie o vykonaných príkazoch, tie obsahujú najčastejšie polohu objektívu a informácie o dĺžke vykonávania príkazu. [8]

Softvér modulu podporuje niekoľko typov príkazov. Zoznam príkazov spolu s popisom je možné nájsť v [8]. Pre ostrenie sú používané príkazy:

- LFZ – Lenses Focus Zero – Zaostrí na najmenšiu hodnotu rozsahu.

- LFI – Lenses Focus Infinity – Zaostrí na nekonečno.
- LFD – Lenses Focus Differential – Zaostrí o xxxx krokov, kde x je hodnota v hexadecimálnom tvare, pričom kladná hodnota ostrí smerom k nekonečnu a záporná (jednotkový doplnok) smerom k nule, syntax tohto príkazu je LFDxxxx.
- LFA – Lenses Focus Absolute – Zaostrí na pozíciu xxxx krokov od minima, syntax tohto príkazu je LFAxxxx.
- LFP – Lenses Focus Percentage – Zaostrí na xxxx z celého rozsahu, kde minimum je 0x0000 a maximum 0x0400, príkaz sa odosiela v tvare LFPxxxx.
- LGF – Lenses Get Focus – Zaostrí na nulu a vráti sa do pôvodnej pozície, pričom vráti počet krokov.

Pre nastavenie clony slúžia príkazy:

- LAO – Lenses Aperture Open – Otvorí clonu na maximum . Týmto príkazom dôjde zároveň k inicializácii clony.
- LAA – Lenses aperture Absolute – Nastaví clonu do polohy xx. Pokiaľ nebola clona inicializovaná, prebehne najprv inicializácia.
- LAD – Lenses Aperture Differential – Presunie o xx krokov. Kladné číslo zacloní a záporné odcloní.
- LAP – Lenses Aperture Percentage – Nastaví clonu do polohy xxxx z rozsahu 0x0000 až 0x0400. Pokiaľ nebola clona inicializovaná, prebehne najprv inicializácia.

2.2 Kamera

Na snímanie obrazu je v tejto diplomovej práci použitá kamera Imagesource DFK22BUC03. Kamera ponúka maximálne rozlíšenie 744x480 pixelov pri rýchlosti snímania 76 fps. Snímací CMOS čip má veľkosť 1/3“ a veľkosť jedného pixelu je 6x6 μm. Kamera dovoľuje nastaviť rýchlosť uzávierky od 0,1 ms do 250 ms, zosilnenie až 18 dB a vyváženie bielej od -6 do +6 dB. Komunikácia s kamerou prebieha prostredníctvom rozhrania USB 2.0.[7]



Obrázok 2.2: Kamera Imagingsource DFK22BUC03[14]

2.3 Objektív

Ku kamere je prostredníctvom redukcie pripojený objektív Canon EF 50 mm f/1.8 II. Objektív dovoľuje zaostriť na minimálnu vzdialenosť 45 cm a je schopný nastaviť clonu v rozsahu f/1.8 až f/22. Tento objektív je ovládaný prostredníctvom CAN-EF modulu.

2.4 Microsoft Visual Studio 2013

Visual studio je vývojové prostredie od spoločnosti Microsoft, ktoré umožňuje vytvárať rôzne aplikácie, či už konzolové alebo s grafickým rozhraním, takisto aj webové aplikácie, či webové stránky. Visual studio podporuje množstvo programovacích jazykov, ako napríklad C#, Visual Basic, C++, JavaScript, Python atď. Do tohto prostredia je možné doplniť celý rad doplnkov, ktoré uľahčia a spríjemnia vývoj aplikácií. Jedným z týchto doplnkov určených pre počítačové videnie je aj ImageWatch, ktorý umožňuje v debug móde zobraziť náhľad jednotlivých premenných obsahujúcich obrazové informácie.

2.5 OpenCV

OpenCV je open source softwarová knižnica pre počítačové videnie a strojové učenie. Bola vytvorená pre potreby všeobecnej štruktúry aplikácií počítačového videnia.

Knižnica obsahuje viac ako 2500 optimalizovaných algoritmov z oblasti počítačového videnia a strojového učenia. Algoritmy zahŕňajú napríklad rozpoznanie tváří, identifikáciu objektov či vyhodnocovanie pohybov vo videu.

OpenCV knižnicu používa viac než 7 miliónov ľudí na svete a jej využitie je možné nájsť vo veľkom množstve aplikácií, či už pre zábavu, vo výskume, či v priemysle. Má rozhranie pre jazyky C, C++, Java, Python a MATLAB a podporuje operačné systémy Windows, Linux, Android a MacOS. Podpora knižnice pre rozhranie CUDA a OpenCL pre výpočty na grafických kartách je vo vývoji. Knižnica je vyvíjaná primárne v jazyku C++.[6]

Táto knižnica je v jej C++ verzii použitá v tejto diplomovej práci na spracovanie a vyhodnotenie obrazu získaného z kamery.



Obrázok 2.3: Logo OpenCV[6]

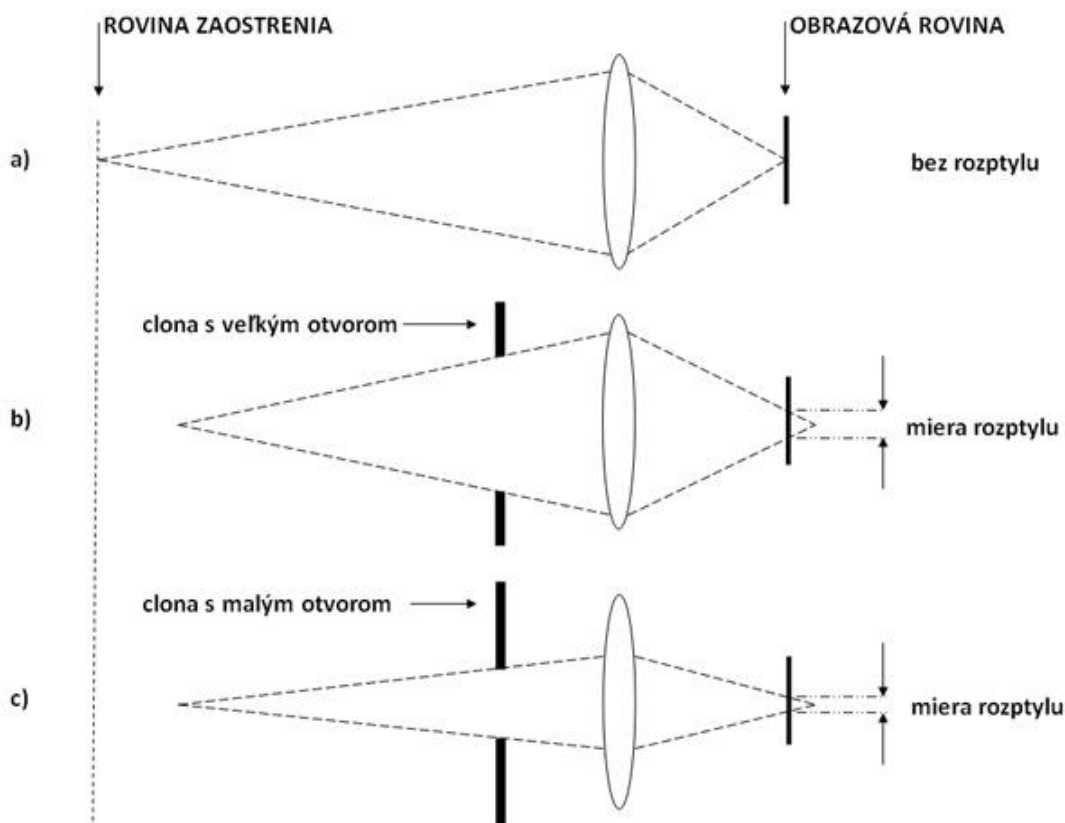
3 TEORETICKÝ ROZBOR

3.1 Ostrenie, ostrosť a hĺbka ostrosti

Ostrením sa v rámci tejto práce myslí zmena roviny zaostrenia pohybom šošoviek fotografického objektívu. Rovina zaostrenia predstavuje vzdialenosť medzi snímacou sústavou a snímaným objektom, v ktorej sa snímaný obraz javí pre človeka ako ostrý, a teda optická sústava premietne objekt z tejto vzdialenosti ako ostrý obraz na snímač. Čím viac sa vzdialenosť objektu vzdáľuje od tejto vzdialenosti, tým viac sa obraz rozostreje.

Ostrosť v skratke znamená, že bod v reálnej scéne sa ako bod premietne na snímač. Pri rozostrení sa tento bod môže na snímač premietnuť ako krúžok. Keďže rozmery jednotlivých pixelov snímača nie sú nekonečne malé, môže sa aj bod premietnutý na snímač ako krúžok menší než je rozmer pixelu snímača javiť ako ostrý. To spôsobuje, že v obraze nie sú ostré len objekty nachádzajúce sa v rovine zaostrenia, ale aj v určitom rozmedzí vzdialeností okolo tejto roviny. Tento jav je pomenovaný ako hĺbka ostrosti.

Hĺbku ostrosti teda určuje vzdialenosť od roviny zaostrenia, pri ktorej sa obraz ešte javí ako ostrý. Je to teda rozdiel medzi najvzdialenejším a najbližším ostrým objektom. Hĺbku ostrosti je možné meniť zmenou clony (zvyšovaním clonového čísla rastie hĺbka ostrosti), zmenou vzdialenosti snímaného objektu (pri väčšej vzdialenosti je hĺbka ostrosti väčšia) a ohniskovou vzdialenosťou objektívu. Najjednoduchším spôsobom zmeny hĺbky ostrosti pri zachovaní definovanej scény je zmena clony. Clona je v podstate tienidlo s premenlivým, ideálne kruhovým, otvorom. Ideálna clona by mala nulovú hrúbku, aby bol eliminovaný rozptyl svetla. Na Obrázku 3.1 je naznačený princíp zmeny hĺbky ostrosti v závislosti na zaclonení. Obrázok 3.1a zobrazuje bod nachádzajúci sa v rovine zaostrenia a jeho priemet do obrazovej roviny. Je vidieť, že tento bod sa do obrazovej roviny (na snímač) premieta tiež ako bod. Na Obrázku 3.1b je naznačený bod nachádzajúci sa mimo roviny zaostrenia a jeho priemet do obrazovej roviny pri použití clony s veľkým otvorom a na Obrázku 3.1c pri použití clony s menším otvorom. Je možné všimnúť si, že pri použití clony s väčším otvorom je miera rozptylu v obrazovej rovine väčšia ako pri použití clony s menším otvorom. Tento jav ovplyvňuje hĺbku ostrosti. Keďže pri clone s menším otvorom je bod nachádzajúci sa mimo roviny zaostrenia premietnutý na snímač ako menší krúžok, môžeme tvrdiť, že so zmenšujúcim sa otvorom clony, a teda rastúcim clonovým číslom sa hĺbka ostrosti zvyšuje. Nevýhodou zmenšovania otvoru clony je obmedzovanie množstva svetla, ktoré prenikne k snímaču kamery či fotoaparátu. Tento jav je nežiadúci hlavne pri horších svetelných podmienkach snímanej scény, kedy je výsledný obraz príliš tmavý na sledovanie či ďalšie spracovanie.[2]



Obrázok 3.1: Vplyv clony na hĺbku ostrosti[15]

Hĺbka ostrosti (d) je rôzna pred a za zaostrenou vzdialenosťou (a). Hĺbku ostrosti v konkrétnom prípade zaostrenia pri použití známej ohniskovej vzdialenosti objektívu (f), známej clony (F) a rozptylového krúžku je možné vypočítať podľa nasledujúcich rovníc:

$$d_p = \frac{c \cdot F \cdot a^2}{f^2 + c \cdot F \cdot a} \quad (1)$$

$$d_z = \frac{c \cdot F \cdot a^2}{f^2 - c \cdot F \cdot a} \quad (2)$$

Všetky hodnoty v rovniciach sú udávané v milimetroch, clona je bezrozmerné číslo. Rozptylový krúžok predstavuje maximálny rozmer kruhu na senzore, ktorý senzor stále rozozná ako bod. [13]

Zaostrená vzdialenosť, pri ktorej zadná hĺbka ostrosti dosiahne nekonečno je nazývaná hyperfokálna vzdialenosť. Pri tomto zaostrení je na obraze ostré všetko, čo sa nachádza ďalej ako je polovica hyperfokálnej vzdialenosti. Hyperfokálnu vzdialenosť (H) je možné určiť vzťahom[13]:

$$H = \frac{f^2}{c \cdot F} \quad (3)$$

3.2 Automatické ostrenie.

Ak sú parametre optickej sústavy ako rovina zaostrenia, či clona nastavované samočinne softvérom, hovoríme o tzv. automatickom ostrení. Táto diplomová práca sa zaoberá práve automatickým ostrením, a preto by bolo vhodné definovať, aké druhy automatického ostrenia rozlišujeme a aký princíp využívajú.

3.2.1 Aktívne automatické ostrenie

Pri tomto type ostrenia sa odmeria vzdialenosť medzi optickou sústavou a snímaným objektom a na túto vzdialenosť je sústava zaostrená. Fotoaparáty v dnešnej dobe využívajú meranie pomocou infračerveného či ultrazvukového signálu. Výhodou tejto metódy je rýchlosť a schopnosť zaostriť aj v tme. No nevýhodou je, že nie je možné zaostriť cez sklo či plot a pri príliš vzdialených objektoch nemusí byť meranie vzdialenosti úspešné. [2]

3.2.2 Pasívne automatické ostrenie

Princíp tejto metódy spočíva v snímaní a analýze obrazu. Niektoré fotoaparáty podporujú ostrenie založené na fáze, kde sa vyhodnocuje fázový posun medzi vlnením odrazeným od snímaných objektov, no najrozšírenejším typom je ostrenie založené na kontraste, pri ktorom sa vyhodnocuje kontrast hrán v obraze. Digitálne zrkadlovky obsahujú riadkový ostriaci senzor, ktorý tieto hrany vyhodnocuje, no lacnejšie zariadenia vyhodnocujú priamo snímaný obraz. Výhodou tohto systému je ostrenie na ľubovoľnú vzdialenosť, funkčnosť bez ohľadu na prekážky a nezávislosť na použitej optike. Nevýhodou je menšia rýchlosť, potreba dostatočného množstva svetla či problém s ostrením na objekt bez hrán. [2]

Pasívnym automatickým ostrením založeným na kontraste sa zaoberá táto diplomová práca.

3.2.3 Kontinuálne automatické ostrenie

Osobitným typom automatického ostrenia je kontinuálne ostrenie. Pri tomto spôsobe ostrenia sa snímaný objekt trvale doostruje. Pri rýchlo sa pohybujúcom objekte v scéne môže byť rovina zaostrenia predvídaná na základe pohybu, čím sa kompenzuje oneskorenie spôsobené spracovaním obrazu a pohybom ostriacej aparatúry objektívu.[2]

3.3 Riadenie expozície

Riadením expozície sa rozumie prispôbenie optickej sústavy svetelným podmienkam tak, aby výsledný zachytený obraz obsahoval všetky požadované informácie. Pri nevhodnom nastavení expozície môže výsledný obraz obsahovať prepálené či podpálené miesta, teda obrazová informácia sa môže stratiť pri saturácii jasných miest do bielej farby alebo tmavých miest do čiernej. Expozíciu je možné meniť veľkosťou otvoru clony, zmenou citlivosti snímača a dobou expozície snímača.

Zvýšením doby expozície snímača je možné aj pri zlých svetelných podmienkach zachytiť obraz scény s dostatočným jasom, keďže za dlhšiu dobu na snímač dopadne viac svetla. Avšak dlhšia doba expozície prakticky znemožňuje snímať pohybujúce sa objekty, keďže pohyb objektu v scéne sa prejaví aj v obraze.

Zmena citlivosti snímača je realizovaná zosilnením signálu na jeho výstupe. Nevýhodou v tomto prípade je fakt, že pri nízkom osvetlení a veľkom zosilnení je zosilňovaný takisto šum, ktorý snímač zachytáva.

Zmena veľkosti otvoru clony vzhľadom na hĺbku ostrosti bola popísaná v predchádzajúcej kapitole, avšak so zmenou clony sa mení aj množstvo svetla, ktoré dopadá na snímač prístroja, a teda pri požiadavke na vyššiu hĺbku ostrosti musíme kompenzovať množstvo svetla zvýšením citlivosti či dobou expozície.

Vhodné nastavenie expozície nie je jednoduchá úloha. Pri fotografovaní určitej scény môže byť žiadúce zachytiť scénu s určitým preexponovaním, či podexponovaním. Avšak pri technických úlohách, kde nie je prioritou umelecký dojem, ale množstvo a kvalita získaných informácií je možné stanoviť technicky správnu expozíciu. Za tú sa považuje priemerne šedá scéna, teda scéna, kde priemerná hodnota jasu je rovná 127.

Určitú expozíciu scény je možné dosiahnuť rôznymi kombináciami jednotlivých parametrov. Pri ich voľbe sa vychádza z konkrétnej aplikácie, napr. pri dopravných scénach, kde je snímaný pohybujúci sa objekt. Prioritou by malo byť zachovanie nízkeho času expozície a takisto z dôvodu obmedzenia šumu pre ďalšie spracovanie udržanie nízkej citlivosti, čo však vyžaduje malú clonu (veľký otvor), čím sa zároveň znižuje hĺbka ostrosti, čo komplikuje snímanie objektu pohybujúceho sa v smere osi fotoaparátu či kamery. Aj na tomto príklade je vidieť, že vhodné nastavenie expozície nie je triviálny problém, avšak pri určení istých priorít nie je neriešiteľný.[2]

3.4 Digitálny obraz

Digitálny obraz je číselná reprezentácia obrazu po prevedení z analógového na digitálny signál. Rozsah hodnôt výsledného obrazu je daný rozsahom použitého AD prevodníka a formátom, v akom je výsledný obraz uložený. V súčasnosti najpoužívanejšia je reprezentácia obrazu, kde úroveň jasu je pre každý pixel zakódovaná do 8-bitového čísla v prípade šedotónového obrazu, pričom hodnota nula zodpovedá čiernej a hodnota 255 bielej a v prípade farebného obrazu je to 3-krát 8 bitov, najčastejšie vo farebnom modeli RGB, kde farba bodu je určená kombináciou úrovní jasu troch základných farieb: červenou, zelenou a modrou. Špeciálnym prípadom je čiernobiely obraz, nazývaný aj binárny, ktorého pixely nadobúdajú hodnoty 0 a 1.

Obraz ako taký je v pamäti počítača či fotoaparátu uchovaný ako matica čísel, predstavujúcich jednotlivé pixely, teda body na snímači.[1]

190	134	80	52	66	102	127
209	172	138	136	161	193	214
251	244	228	219	214	208	198
253	254	242	226	214	186	149
248	244	235	206	174	126	81
244	234	207	165	109	65	40

Obrázok 3.2: Ukážka reprezentácie šedotónového obrazu v pamäti počítača

3.5 Predspracovanie obrazu

Predspracovanie je časť spracovania obrazu, ktorej cieľom je obraz upraviť. Pri predspracovaní sa pomocou určitých transformácií snažíme v obraze zvýrazniť informácie, ktoré už obsahuje, a to napr. potlčením šumu, odstránením skreslenia či zvýraznením hrán a podobne. Transformácie, ktoré sú používané je možné rozdeliť na:

- **Bodové jasové transformácie** – pri tomto type transformácií je hodnota bodu $f(x,y)$ vo výstupnom obraze závislá na hodnote bodu $g(x,y)$ vo vstupnom obraze, k takýmto transformáciám patrí napríklad prevod na negatív
- **Lokálne jasové transformácie** – hodnota bodu $f(x,y)$ vo výstupnom obraze je kombináciou jasov v okolí O bodu $g(x,y)$ vo vstupnom obraze, k lokálnym transformáciám patria konvolučné operátory či lokálne prahovanie
- **Globálne jasové transformácie** – hodnota bodu vo výstupnom obraze $f(x,y)$ je závislá na celom vstupnom obraze, medzi tieto transformácie môžeme zaradiť napr. globálne prahovanie
- **Geometrické transformácie** – transformujú bod $g(x,y)$ vstupného obrazu na bod $f(x',y')$ vo výstupnom obraze

3.6 Segmentácia obrazu

Segmentácia je dôležitou súčasťou spracovania obrazu. Cieľom segmentácie obrazu je oddeliť objekty, ktoré nás zaujímajú, od pozadia.

Segmentáciu obrazu môžeme dosiahnuť rôznymi spôsobmi. Medzi najpoužívanejšie a najjednoduchšie metódy segmentácie obrazu patrí segmentácia prahovaním. Tento postup vychádza z predpokladu, že odrazivosť hľadaného objektu je rozdielna v porovnaní s pozadím scény. Kritickým bodom tohto postupu je nájdenie správneho

prahu pre rozdelenie jasových hodnôt na objekt a pozadie. Tento prah je možné určiť globálne, z jasových hodnôt celého obrazu alebo lokálne, rozdelením obrazu na niekoľko podoblastí, v ktorých je prah určený samostatne.

Častým postupom segmentácie obrazu je segmentácia na základe detekcie hrán. Metódy založené na tomto postupe vychádzajú zo skutočnosti, že hranice hľadaných objektov pozostávajú z hrán. Objekty je možné nájsť prahovaním hranového obrazu či sledovaním hranice, prípadne využitím Houghovej transformácie.

Ďalšími významnými postupmi segmentácie obrazu sú segmentácia narastaním oblasti a segmentácia porovnaním so vzorom.[1]

3.7 Hranový obraz

Hrana je vlastnosť obrazového elementu a jeho okolia. Hrana je vektorová veličina určená veľkosťou a smerom a indikuje body obrazu, v ktorých dochádza k zmenám obrazovej funkcie.[1] Hrana je teda miesto v obraze, kde dochádza k zmene jasú či farby a jej veľkosť je určená veľkosťou tejto zmeny.

Hrany v obraze je možné nájsť rôznymi hranovými operátormi. Tie je možné rozdeliť do dvoch skupín:

- Operátory aproximujúce prvú deriváciu obrazovej funkcie pomocou diferencií realizovaných diskretnou konvolúciou. Operátory invariantné voči rotácii sa realizujú jedinou konvolučnou maskou napr. Laplaceov operátor. Operátory ktoré odhadujú prvú deriváciu používajú masiek niekoľko. Medzi tieto operátory patrí Sobelov, Robertsov, Robinsonov a iné. Tieto operátory sa líšia koeficientmi v konvolučných maskách.
- Operátory založené na hľadaní hrán v miestach, kde druhá derivácia obrazovej funkcie prechádza nulou. Medzi tieto operátory patrí napr. operátor Marra a Hildrethovej či Cannyho hranový detektor.

Ako bolo spomenuté, hrany obrazu je možné získať konvolúciou obrazu s hranovým operátorom. Vstupom tejto operácie je obrazový element $g(x,y)$ a po konvolúcii s maskou h je výstupom element nového obrazu $f(x,y)$. Matematický zápis vyzerá nasledovne:

$$f(x,y) = g(x,y) * h \quad (4)$$

Ako ukážka hranového operátora aproximujúceho prvú deriváciu je zvolený Sobelov operátor pre nájdenie vertikálnych hrán a jeho verzia pre horizontálne hrany, teda otočený o 90° . [1]

$$h_{SobelV} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, h_{SobelH} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Laplaceov operátor veľkosti 3×3 , pre štvorokolie a pre osemokolie, ktorý je invariantný voči natočeniu má tvar:

$$h_{Laplace4} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, h_{Laplace8} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Na nasledujúcom obrázku je ukázané, ako funguje hranový operátor. Je na ňom možné všimnúť si, že miesta s výraznými hranami, teda výraznou zmenou jasů, ako je okraj masky a znak automobilky na čiernom pozadí, či čierne písmo na bielej registračnej značke tvoria v hranovom obraze miesta s najvyšším jasom, naopak miesta s pozvoľnou zmenou jasů či rozmazanými hranami, ako napríklad pozadie obrázku či cesta, ostávajú čierne, a teda s nízkymi jasovými hodnotami.



Obrázok 3.3: Ukážka aplikácie hranového operátora (Sobel)

Hlavnou nevýhodou operátorov aproximujúcich prvú deriváciu je veľká závislosť na šume a veľkosti objektu v obraze. Tieto nevýhody čiastočne odstraňujú operátory hľadajúce prechod druhej derivácie obrazovej funkcie nulou. Jedným z takých operátorov je Cannyho hranový detektor.

Cannyho hranový detektor je pokročilým algoritmom detekcie hrán a bol navrhnutý s ohľadom na tri hlavné kritéria:

- Minimálna chybovosť
- Presná lokalizácia
- Jednoznačná odozva

Pre splnenie týchto troch kritérií bol vyvinutý algoritmus pozostávajúci z týchto základných krokov:

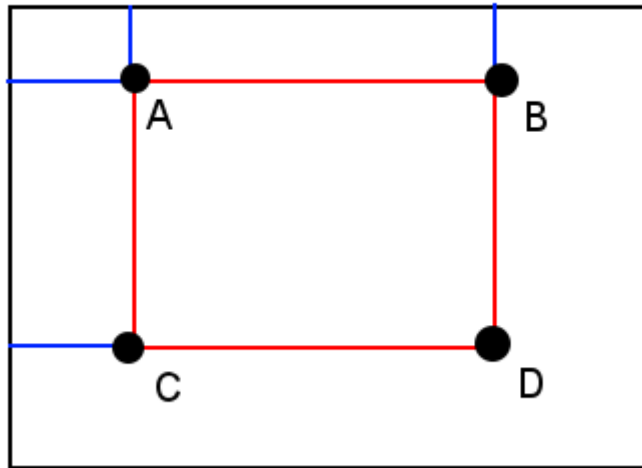
1. **Eliminácia šumu** – väčšinou realizované Gaussovým filtrom
2. **Určenie gradientu** – štandardná detekcia hrán pomocou prvej derivácie s použitím napríklad Sobelovho operátora
3. **Nájdenie lokálnych maxím** – v tomto kroku sú stenčované hrany v obraze, z dôvodu presnej lokalizácie hrany v mieste najväčších hodnôt gradientu
4. **Eliminácia nevýznamných hrán** – dosahuje sa prahovaním s hystereziou a to tak, že je určený prah, nad ktorým je hrana významná a prah, pod ktorým je hrana nevýznamná, hodnoty medzi týmito prahmi sú posudzované na základe toho, či susedia s predtým uznanou hranou

3.8 Integrálny obraz

Integrálny obraz je druh dátovej štruktúry obrazu, obsahujúcej na jednotlivých pozíciách súčty jasových úrovní v príslušných submaticiach obrazu od definovaného počiatočného bodu, teda súčet všetkých pixelov smerom doľava a hore. Posledný, teda pravý dolný pixel obrazu, potom obsahuje súčet všetkých pixelov v obraze. Matematicky je integrálny obraz definovaný nasledovne. [12]

$$I_{\Sigma}(x, y) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(i, j) \quad (7)$$

Táto dátová štruktúra umožňuje jednoduché číselné výpočty plôch vybraných obdĺžnikových či štvorcových podoblastí obrazu, kedy celý výpočet plochy sa uskutoční ako sčítanie a odčítanie štyroch čísel uložených na príslušných indexoch matice (obrazu).



Obrázok 3.4: Integrálny obraz a výpočet plochy podoblasti

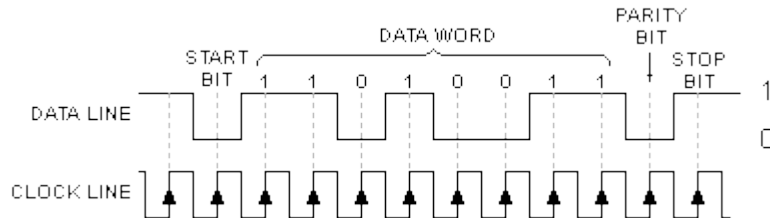
Ako je možné vypočítať z Obrázku 3.4, pre výpočet zvolenej plochy ohraničenej bodmi A, B, C, D bude nutné od hodnoty v bode D odpočítať hodnotu v bode B a v bode C, čo ale spôsobí, že plocha medzi počiatkom a bodom A bude odpočítaná dvakrát a teda k dosiahnutiu správneho výsledku bude nutné túto plochu pripočítať. Matematicky potom výpočet plochy zvolenej podoblasti ohraničenej bodmi A, B, C, D bude možné zapísať jednoducho.

$$\sum_{x=x_A}^{x < x_D} \sum_{y=y_A}^{y < y_D} I(x, y) = I_{\Sigma}(D) + I_{\Sigma}(A) - I_{\Sigma}(B) - I_{\Sigma}(C) \quad (8)$$

Ľavá strana predstavuje zápis plochy v pôvodnom obraze a pravá výpočet plochy pomocou integrálneho obrazu I_{Σ} .

3.9 RS-232

RS-232 je asynchrónny sériový komunikačný protokol a je to jedno z najstarších sériových rozhraní používaných v dnešnej dobe. Rozhranie je nesymetrické a o logickej úrovni signálu teda rozhoduje napätie signálneho vodiča voči zemnému potenciálu. [4]



Obrázok 3.5: RS-232[5]

Každý prenesený bajt je potrebné synchronizovať. Na to slúži v komunikácii zostupná hrana štart bitu. Stop bit označuje koniec bajtu a parita slúži na zabezpečenie komunikácie tak, že doplní k prenášaným dátam bit podľa zvolenej parity na párny alebo nepárny počet jednotiek. Stop bit môže byť podľa aplikácie zdvojený, čo sa používa pre pomalšie zariadenia.

Štandard RS-232 udáva maximálnu dĺžku komunikačného vedenia 15 metrov pri rýchlosti 19200 Baud. Pri znížení rýchlosti je možné túto dĺžku niekoľkonásobne zvyšovať. [5]

Na sériovú komunikáciu slúži v PC tzv. COM port.

4 RIEŠENIE

Pri praktickej realizácii tejto diplomovej práce bolo využívané prostredie Microsoft Visual studio 2013 a program bol vyvíjaný v jazyku C++ s využitím voľne dostupnej knižnice OpenCV.

4.1 Komunikácia s kamerou

Keďže knižnica OpenCV je pripravená aj pre prácu s videom, využitie kamery v užívateľskom programe nevyžaduje zložitú obsluhu. Použitá kamera Imagesource podporuje funkciu plug&play, takže po prepojení kamery a PC prostredníctvom USB kábla bola kamera nájdená a s použitím ovládača dostupného na webových stránkach výrobcu nainštalovaná bez problémov. Keď je kamera nainštalovaná v systéme, je možné ju použiť v zdrojovom kóde prostredníctvom triedy Videocapture.

Trieda Videocapture má pripravených niekoľko metód, dôležitá je metóda open, ktorou je možné definovať, z akého zariadenia má byť videosekvencia získavaná. V našom prípade bola použitá kamera nadefinovaná ako hlavné snímacie zariadenie, bolo teda použité zariadenie s číslom 0. Pre následné získanie snímaného obrazu slúži operátor >>. Týmto operátorom je premennej typu Mat predstavujúcej obraz priradený snímaný obraz. Funkciami set a get je možné zistiť, prípadne nastaviť hodnoty parametrov kamery, ako je citlivosť, doba expozície či rozlíšenie výstupného obrazu.

4.2 Ovládanie objektívu

Pre ovládanie objektívu slúži CAN-EF modul vyvinutý firmou CAMEA. Tento modul je v našej aplikácii vložený do redukcie medzi kamerou a objektívom. Pre komunikáciu s týmto modulom je použité rozhranie RS-232, pre ktoré má modul definované funkcie.

Pre prácu s týmto modulom bolo vhodné vytvoriť knižnicu funkcií, ktoré zaistia komunikáciu. Funkcií bolo vytvorených niekoľko, tie najdôležitejšie budú detailne priblížené v nasledujúcom texte.

Samotný zápis na sériový port, teda na port RS-232, je v C++ na operačnom systéme Windows riešený ako zápis do súboru. Pre účely samotnej komunikácie boli teda vytvorené 4 funkcie, a to: OtvorCOMPort na otvorenie sériového portu pre čítanie a zápis, ZapisCOMPort na zápis definovaného reťazca na sériový port, CitajCOMPort na čítanie reťazca zo sériového portu a ZatvorCOMPort pre uvoľnenie sériového portu. Ďalej bola vytvorená funkcia Ostri, ktorá vytvára správu na odoslanie do modulu s inštrukciami pre ostrenie podľa zvolených parametrov a funkcia Clona, ktorá podobne ako predchádzajúca funkcia posíla správu pre CAN-EF modul s inštrukciami pre ovládanie clony.

4.2.1 Funkcia OtvorCOMPort

Funkcia OtvorCOMPort otvára sériový port pre komunikáciu. Vstupom tejto funkcie je číslo, resp. názov portu, na ktorý chceme zapisovať a výstupom je premenná typu handle, obsahujúca ukazovateľ na použitý sériový port. Vo funkcii sú výpisom do konzoly ošetrené poruchové stavy, ktoré môžu vzniknúť pri neúspešnom pokuse o otvorenie komunikačného portu a sú v nej nastavené parametre komunikácie, teda rýchlosť 9600 Baud, veľkosť dátového bytu na 8 bitov, komunikácia bez parity a použitie jedného stopbitu.

Na nastavenie parametrov komunikácie je vo funkcii použitá štruktúra DCB, ktorá je podporovaná systémom Windows a slúži priamo na konfigurovanie sériovej komunikácie. Samotná manipulácia so sériovým COM portom prebieha ako práca so súborom, kde otvorený port sa javí ako súbor.

4.2.2 Funkcia ZapisCOMPort

Táto funkcia zapisuje na zvolený komunikačný COM port vstupné dáta o definovanej veľkosti. Vstupom do funkcie je ukazovateľ na komunikačný port, dátový reťazec, ktorý chceme zapísať a jeho dĺžka. Výstupom funkcie je hodnota nula pri úspešnom priebehu a hodnota jedna pri chybnom zápise na komunikačný port.

4.2.3 Funkcia CitajCOMPort

Táto funkcia číta dáta prichádzajúce na komunikačný port. Jej vstupom je ukazovateľ na použitý port, počet čítaných dát a výstupom je dátové pole. Funkcia má návratovú hodnotu typu bool, ktorá nadobúda hodnotu nula pri úspešnom prevedení funkcie a hodnotu jedna pri neúspešnom pokuse o čítanie dát z komunikačného portu.

4.2.4 Funkcia ZatvorCOMPort

Táto funkcia uvoľňuje komunikačný port pre iné komunikácie. Jej vstupom je ukazovateľ na použitý komunikačný port a návratová hodnota je typu bool, ktorá nadobúda hodnotu nula pri úspešnom prevedení funkcie a hodnotu jedna pri neúspešnom pokuse o uzatvorenie komunikačného kanálu.

4.2.5 Funkcia Ostri

Úlohou tejto funkcie je pripraviť správu s inštrukciami pre ostrenie a odoslať ju do CAN-EF modulu. Vstupom funkcie je ukazovateľ na použitý komunikačný port, celočíselná hodnota mode určujúca typ použitého príkazu, reťazec štyroch znakov slúžiaci ako parameter príkazu a znak ID identifikujúci CAN-EF modul.

Podľa hodnoty parametru mode je zvolený príkaz odosielaný do CAN-EF modulu.

Hodnota mode (makro)	Príkaz
0 (OSTRI_MIN)	LFZ
1 (OSTRI_MAX)	LFI
2 (OSTRI_DIF)	LFD
3 (OSTRI_ABS)	LFA
4 (OSTRI_PER)	LFP
5 (OSTRI_MERAJ)	LGF

Tabuľka 4.1: Príkazy pre ostrenie vo funkcii Ostri

Vstupný parameter x funkcie očakáva reťazec štyroch ASCII znakov určujúcich číslo v hexadecimálnom tvare, ktoré bude použité ako parameter príkazu odosielaného do modulu. Toto číslo je nutné pri použití príkazu s hodnotou mode 2,3,4.

Funkcia vracia číslo typu bool a nadobúda hodnotu nula pri úspešnom prevedení a jedna pri chybe.

4.2.6 Funkcia Clona

Táto funkcia ovláda clonu objektívu pripojeného ku CAN-EF modulu. Vstupom funkcie je ukazovateľ na použitý komunikačný port, celočíselná hodnota mode určujúca druh príkazu odosielaného do modulu, reťazec x štyroch ASCII znakov predstavujúci hexadecimálnu hodnotu pre daný príkaz a voliteľný celočíselný parameter ID, pre výber CAN-EF modulu, ktorému je daná správa určená, implicitnou hodnotou tohto parametru je 0, čo znamená, že daný príkaz smeruje k všetkým modulom zapojeným na zbernici, čo nepredstavuje problém pri použití jedného modulu na zbernici.

Podľa hodnoty parametru mode sú do modulu odosielané jednotlivé príkazy pre pohyb clony.

Hodnota mode (makro)	Príkaz
0 (CLONA_OPEN)	LAO
1 (CLONA_ABS)	LAA
2 (CLONA_DIF)	LAD
3 (CLONA_PER)	LAP

Tabuľka 4.2: Voľba druhu príkazu nastavenia clony

Funkcia vracia číslo typu bool a nadobúda hodnotu nula pri úspešnom prevedení a jedna pri chybe.

4.3 Vyhodnotenie ostrosti

Základnou požiadavkou pre automatické ostrenie je schopnosť vyhodnotiť ostrosť obrazu. V teoretickom rozbere bolo vysvetlené, čo sa z hľadiska vnímania človeka považuje za ostrý obraz a ako sa ostrosť tohto obrazu prejaví v jeho signálovej a digitálnej reprezentácii.

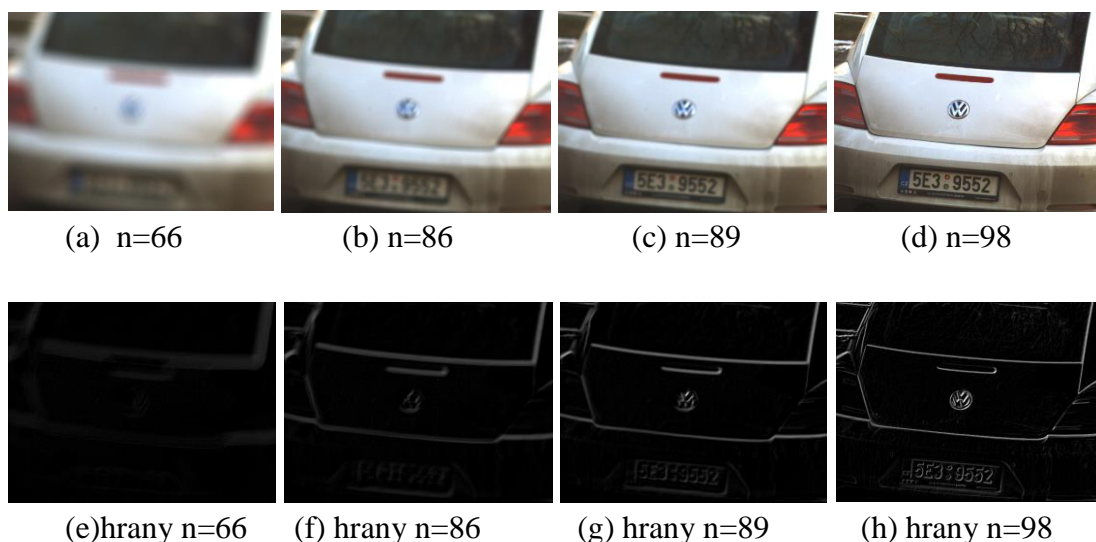
Keďže ako ostrý obraz vnímame taký, ktorý má výrazné a ostré hrany, pre vyhodnotenie ostrosti obrazu je vhodné vychádzať z hranového obrazu. Ten je možné získať viacerými spôsobmi, a preto je dobré porovnať výsledky, ktoré podávajú jednotlivé metódy.

Tak ako existuje niekoľko možností získania hranovej reprezentácie obrazu, tak existuje aj viacero spôsobov, ako následne z hranovej reprezentácie vyjadriť ostrosť číselne. Keďže v obraze hľadáme výrazné hrany, ako vhodná metóda by sa mohlo zdať vyjadrenie ostrosti ako maximálnej jasovej hodnoty v hranovom obraze, lenže toto riešenie je nevhodné pre reálne obrazy, ktoré sú zaťažené šumom, kde náhodný pixel v obraze môže nadobúdať hodnoty vyššie ako zvyšok obrazu. Preto sa ako vhodná metóda číselného vyjadrenia ostrosti javí súčet jasových hodnôt v hranovom obraze, prípadne rozptyl týchto hodnôt.

Pre otestovanie tejto metódy v kombinácii s rôznymi metódami získania hranovej reprezentácie obrazu bola vytvorená funkcia sharpness, ktorej vstupom je snímaný šedotónový obraz typu Mat a celočíselná hodnota určujúca metódu výpočtu kritéria. Výstupom funkcie je vypočítaná hodnota zvoleného kritéria ostrosti. Funkcia ponúka možnosť vypočítať hodnotu maxima v hranovom obraze získanom Sobelovým operátorom, súčet jasových hodnôt v tomto obraze a rozptyl hodnôt v obraze. Takisto je možné zvoliť súčet jasových hodnôt v hranovom obraze získanom Laplaceovým operátorom a v tzv. Laplaciánom gausiánu a hodnotu rozptylu jasu v týchto obrazoch.

Pre porovnanie jednotlivých kritérií bola zosnímaná statická scéna s autom, a to tak, že bol uložený obraz zosnímaný v 125 polohách objektívu od zaostrenia na minimálnu vzdialenosť, až po zaostrenie na nekonečno.

Tieto obrazy boli následne použité ako vstup do funkcie sharpness, kde bola vyhodnotená ich ostrosť pomocou zvolených kritérií.

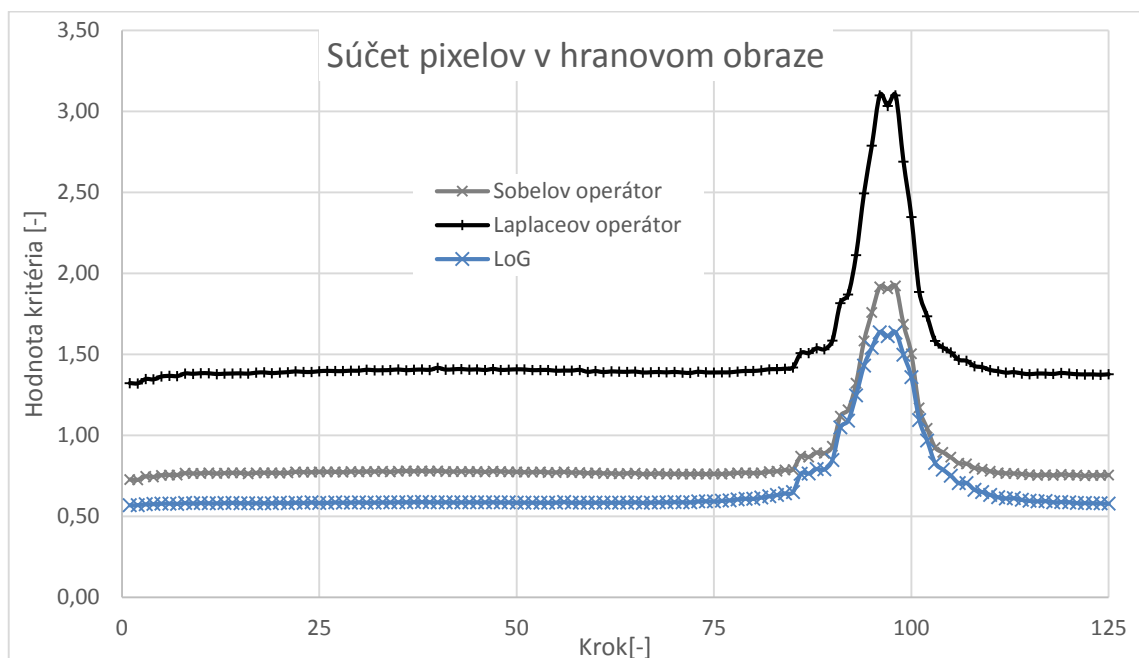


Obrázok 4.1: Obrazy zosnímané v rôznych polohách objektívu a im zodpovedajúce hranové obrazy získané Sobelovým operátorom.

Týmto spôsobom bolo možné získať grafické závislosti hodnôt jednotlivých kritérií vzhľadom k polohe objektívu, a teda k úrovni ostrosti snímaného objektu. Po vytvorení grafických závislostí bolo možné vyhodnotiť vhodnosť použitia jednotlivých kritérií. Keďže maximálna hodnota jasu v obraze je z princípu veľmi citlivá na šum, jej ďalšie použitie nebolo uvažované.

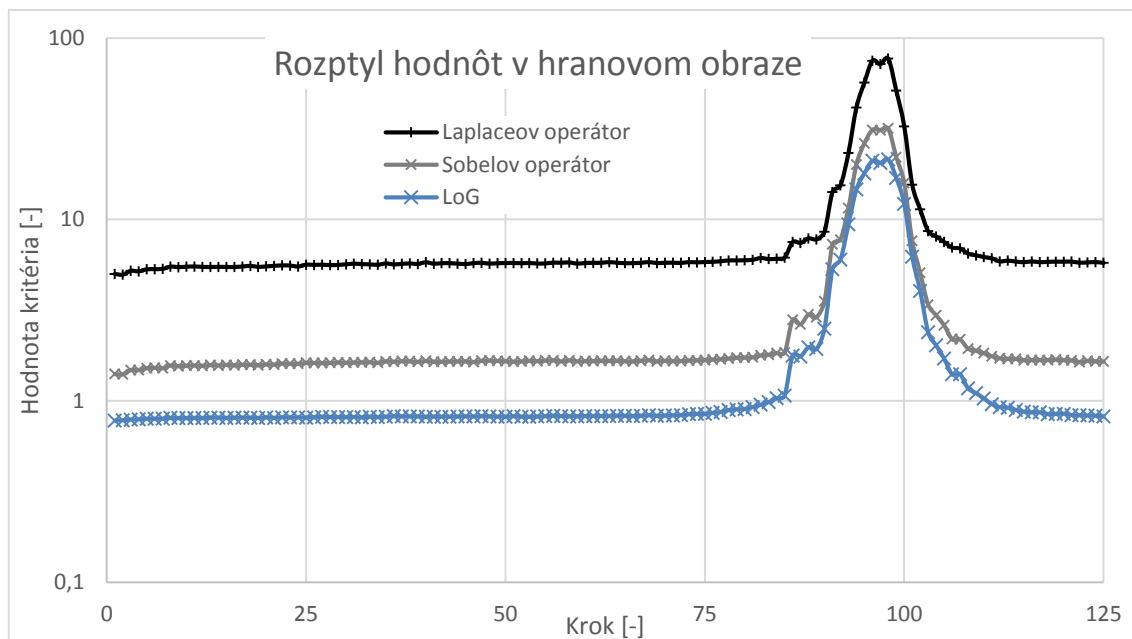
Nasledujúci graf zobrazuje závislosť troch kritérií ostrosti na polohe objektívu snímacej sústavy. Kritéria fungujú na základe súčtu pixelov v hranovom obraze, rozdiel medzi nimi je v použití iného hranového operátora. Aby kritérium nebolo závislé na veľkosti snímaného obrazu, je hodnota vzťahovaná k počtu pixelov v obraze.

Z priebehu grafickej závislosti je možné usúdiť, že hodnoty kritérií majú podobný priebeh, avšak kritérium pracujúce s Laplaceovým operátorom nadobúda číselne väčšie hodnoty a zároveň má väčší rozdiel medzi ostrým a neostrým obrazom, a teda väčšiu citlivosť.



Obrázok 4.2: Priebeh sumačných kritérií ostrosti

Ako ďalšie boli otestované kritéria vyjadrujúce rozptyl hodnôt v hranovom obraze. Podobne ako v predchádzajúcom prípade bolo kritérium otestované v spojení so Sobelovým a Laplaceovým hranovým operátorom a operátorom Laplacián gausiánu. Grafické závislosti vyjadrujúce priebeh hodnôt kritérií sú zobrazené na Obrázku 4.3. Priebeh kritéria ostrosti pracujúceho so Sobelovým hranovým operátorom a operátorom Laplacián gausiánu podľa tejto závislosti dosahujú lepšiu citlivosť ako pri Laplaceovom operátore. Takisto je možné všimnúť si, že zatiaľ čo kritéria pracujúce so súčtom pixelov v obraze majú pri nezaostrenom obraze približne medzi krokmi 50 - 75 klesajúci charakter, rozptylové kritéria tento problém nemajú tak výrazný, avšak ani v tomto prípade nie je priebeh monotónny.



Obrázok 4.3: Závislosť hodnôt kritérií pracujúcich s rozptylom na ostrosti obrazu

4.4 Lokalizácia RZ vozidiel v obraze

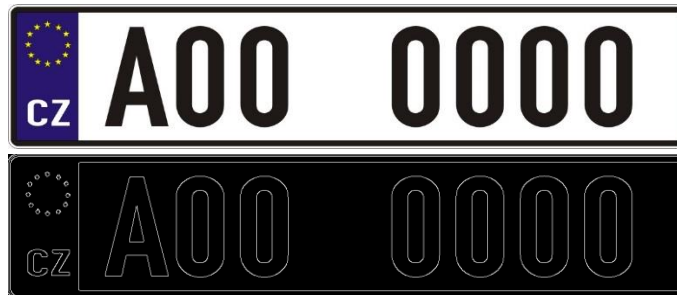
Lokalizácia registračnej značky vozidla je často riešený problém pri použití kamerových systémov a počítačového videnia na sledovanie dopravných scén. V odbornej literatúre je možné nájsť niekoľko spôsobov lokalizácie registračných značiek vozidiel, avšak o žiadnom sa nedá povedať, že by bol univerzálne najlepší. Každá aplikácia vyžaduje iný prístup k tejto úlohe a iné parametre dosiahnuté zvoleným algoritmom. Keďže táto diplomová práca sa zaoberá automatickým ostrením a jeho použitím v dopravných úlohách, bolo potrebné zvoliť postup lokalizácie s prihliadnutím na požiadavky tejto úlohy.

Jedným z dôležitých parametrov tohto algoritmu je, nielen v tejto aplikácii, ale aj všeobecne, čas potrebný na lokalizáciu RZ. Pri vychádzaní z tejto skutočnosti môžeme tvrdiť, že je vhodné použiť jednoduchý algoritmus, ktorý nevyžaduje veľkú výpočtovú náročnosť, a teda jeho aplikácia by nemala trvať dlho.

Pri jednoduchej dopravnej scéne, kde je možné uvažovať, že neobsahuje rušivé prvky z okolia, ale v zábere je prevažne cesta a sledované vozidlo, môžeme lokalizáciu RZ vozidla zjednodušiť na nájdenie oblasti obrazu veľkosti hľadanej RZ s najväčším počtom hrán.

Ďalším krokom pri zostavovaní algoritmu je voľba spôsobu získania hranového obrazu. Získaný hranový obraz by mal minimalizovať falošné hrany a zjednodušovať lokalizáciu. Ako vhodné sa javí použitie niektorého zo smerovo závislých operátorov, keďže pri pohľade na RZ je viditeľné, že obsahuje pomerne veľké množstvo zvislých hrán. Samotné použitie hranového operátora však môžu komplikovať rôzne odrazy, ktoré sa aj do hranového obrazu premietnu ako oblasti viacerých bielych pixelov, čo môže spôsobiť, že zvolený algoritmus nájdenia oblasti s najpočetnejším výskytom hrán

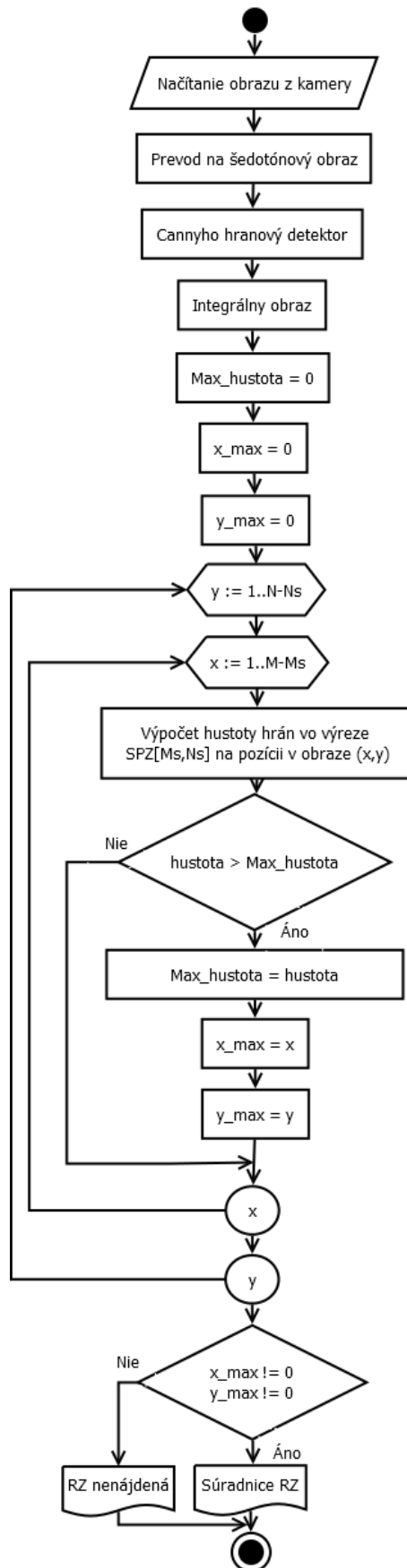
zlyhá. Jedným z možných riešení tohto problému je použitie Cannyho hranového detektoru, ktorého výstupom je obraz hrán, kde každá hrana má hrúbku jeden pixel.



Obrázok 4.4: Ukážka registračnej značky a obraz hrán po aplikácii Cannyho detektoru

Pri samotnej lokalizácii zostáva otázkou, ako efektívne nájsť miesto s najvyšším výskytom hrán. Pre zrýchlenie výpočtu je dôležité minimalizovať počet často sa opakujúcich operácií. Jedným z možných riešení tohto problému je prehľadávanie integrálneho obrazu. Pri prehľadávaní integrálneho obrazu postačuje znalosť rozmeru hľadanej oblasti v obraze a výpočet hustoty obsadenia danej oblasti hranami sa uskutoční jednoduchým sčítaním a odčítaním štyroch čísel.

Z predchádzajúcich úvah je tak možné vytvoriť algoritmus pre lokalizáciu RZ v obraze, resp. algoritmus pre lokalizáciu oblasti s najvyšším výskytom hrán. Navrhnutý algoritmus je naznačený na vývojovom diagrame na Obrázku 4.5. Po zosnímaní scény je získaný obraz prevedený na šedotónový, keďže farebné zložky neobsahujú významné informácie pre ďalšie spracovanie, následne je na obraz aplikovaný Cannyho hranový detektor, pre ktorý sú prahy určené z jasových zložiek v pôvodnom obraze. Obraz získaný touto operáciou je prevedený na integrálny tvar a tento obraz je potom prehľadávaný pomocou dvoch vnorených cyklov for, pričom je počítaný súčet pixelov v oblasti, ktorej ľavý horný roh je definovaný premennými x a y a pravý dolný roh je oproti tomuto bodu posunutý o veľkosť hľadanej RZ vo vertikálnom (N_s) a horizontálnom (M_s) smere. Čísla N a M na Obrázku 4.5 predstavujú rozmery obrazu, N vo vertikálnom a M v horizontálnom smere. Ak je hodnota súčtu, resp. hustoty hrán väčšia ako doteraz nájdené maximum, je táto hodnota určená ako nové maximum a súradnice počiatočného bodu x a y sú uložené ako pozícia nového maxima. Ak po prehľadaní celého obrazu nie je nájdená žiadna oblasť s nenulovou hustotou hrán, znamená to, že v obraze sa nenachádzajú žiadne hrany, a tak RZ obraze nebola nájdená.

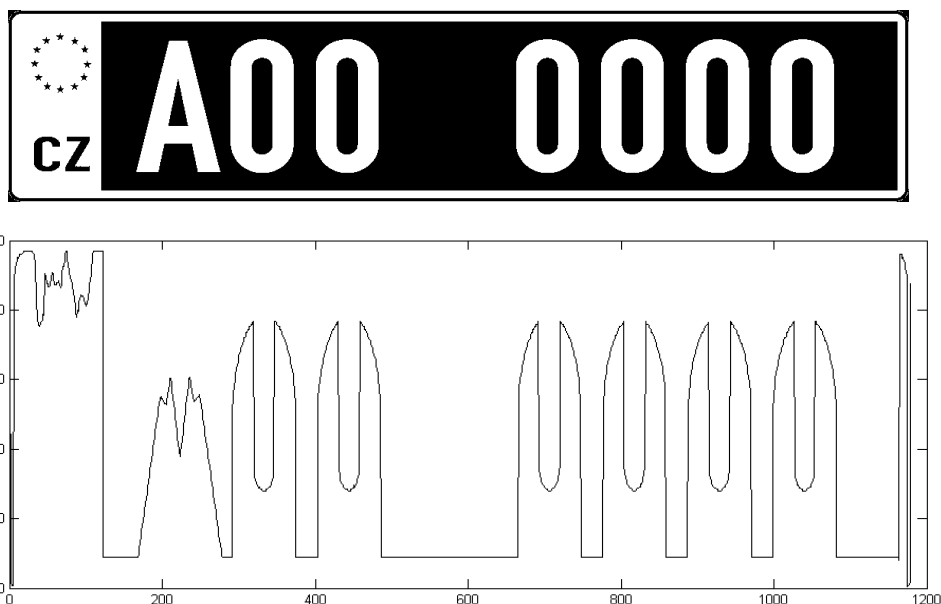


Obrázok 4.5: Algoritmus lokalizácie RZ

4.5 Verifikácia nájdenej RZ

Algoritmus lokalizácie registračnej značky vozidla v obraze popísaný v predchádzajúcej kapitole predpokladá, že registračná značka sa nachádza na mieste s najvyšším výskytom hrán v obraze. Tento predpoklad však nemusí platiť v každej situácii, snímané vozidlo môže mať napríklad na karosérii rôzne nápisy alebo svetelné podmienky v scéne môžu vytvoriť miesta s výraznými hranami, ktoré spôsobia, že oblasť obrazu s najvyšším výskytom hrán nebude obsahovať registračnú značku.

Tento problém je možné vyriešiť overením, či daná nájdená oblasť registračnú značku obsahuje. Pre jednoznačné rozhodnutie o tom, či daná oblasť obrazu obsahuje registračnú značku alebo nie, je potrebné vychádzať z príznakov, ktoré sú pre registračné značky typické. Ako jeden z príznakov by bolo možné určiť, že registračná značka obsahuje len čierne znaky na bielom podklade. Toto riešenie je síce jednoduché, avšak nie je práve najspoľahlivejšie, keďže nie je možné predpokladať, že obraz bude vždy dokonalý. Ako vhodný príznak na potvrdenie nájdenej registračnej značky by mohlo poslúžiť typické členenie znakov na značke. Registračné značky zvyčajne obsahujú niekoľko znakov, či už ide o čísla alebo písmena, ktoré sú usporiadané vedľa seba. Po vhodnom naprahovaní obrazu značky a priemet do osy x tak vytvárajú typický profil s niekoľkými maximami a minimami závislými na počte znakov nachádzajúcich sa na značke.



Obrázok 4.6: Priemet hranového obrazu do osy x

Táto skutočnosť je využitá pri overovaní, či daný obraz je obrazom registračnej značky alebo nie je. Bola preto vytvorená funkcia `OverSPZ`, ktorej vstupom je skúmaný obraz a výstupom je hodnota typu `bool` s výsledkom `true`, ak bolo posúdené, že obraz obsahuje registračnú značku alebo `false`, ak ju neobsahuje. Funkcia zo vstupného obrazu zistí maximum a minimum, z ktorých určí prah a následne obraz naprahuje. V obraze je potom prevedený súčet všetkých stĺpcov, čím sa obraz zredukuje na vektor. Ten je

potom prehl'adávaný a hľadájú sa v ňom vrcholy. Ak je medzi nájdenými vrcholmi príliš veľká vzdialenosť, prípadne ak sa v celom obraze nájde príliš málo vrcholov je tento kandidát na registračnú značku zamietnutý a funkcia vráti hodnotu false.

4.6 Automatické nastavenie expozície

Pre správne zobrazenie snímanej scény je dôležité vhodne nastaviť expozíciu kamery. Táto problematika bola popísaná v teoretickom rozbere a je už teda známe, že určitú expozíciu je možné dosiahnuť rôznou voľbou troch parametrov, ktorými sú: clona, zosilnenie a expozičný čas. Keďže cieľom je snímať dopravnú scénu, v ktorej sa nachádzajú pohyblivé objekty, nie je príliš veľká zmena expozičného času vhodná, pretože by pri dlhšom čase mohlo nastať rozmazanie objektov z dôvodu ich pohybu. Testovaním bolo zistené, že hraničný čas pre subjektívne dostatočne rýchle snímanie je približne 1/20s. Po prekročení tohto času už začína byť viditeľné rozmazanie spôsobené pohybom a takisto tento čas predlžuje celkový čas potrebný na spracovanie snímky.

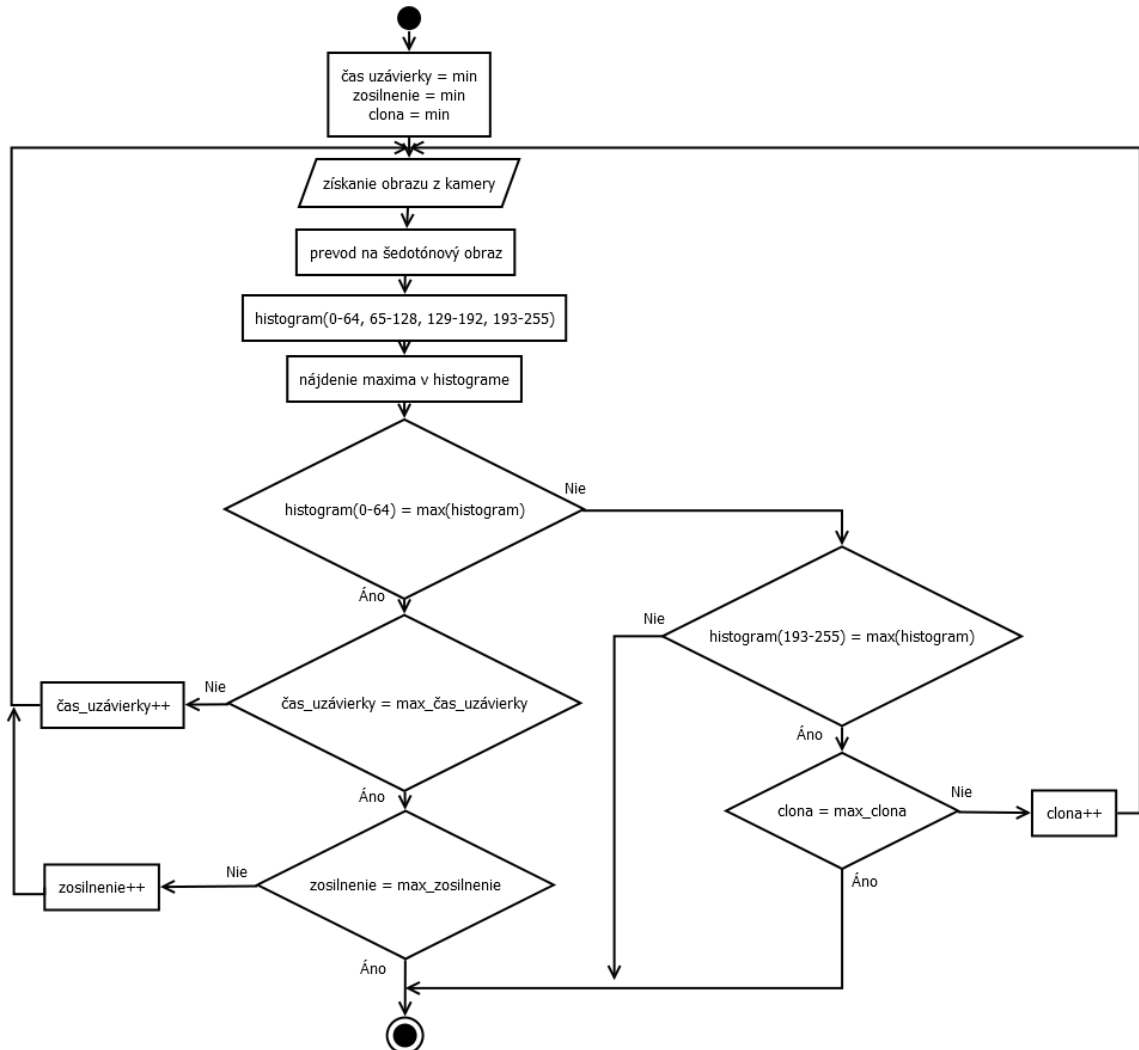
Z dôvodu dostatočnej kvality snímky aj pri nižšom osvetlení snímanej scény je kladená požiadavka na čo najväčší otvor clony, aby sa na snímač dostalo dostatočné množstvo svetla a pri tom nemuselo byť neúmerne zvyšované zosilnenie či expozičný čas. To však spôsobí nižšiu hĺbku ostrosti a je potrebné doostrovanie pohybujúcich sa objektov. Pri počiatočnom nastavení expozície je nastavené minimálne zosilnenie a minimálny expozičný čas pri maximálnom otvorení clony. Tieto parametre sú následne upravené pre dosiahnutie požadovaných parametrov.

Konkrétne nastavenie jednotlivých parametrov je zvolené na základe histogramu jasových hodnôt v obraze. Ideálne snímaný obraz by mal mať rozloženie histogramu rovnomerné pre celý rozsah úrovní jasu. Ak je z histogramu viditeľné, že väčšina pixelov má hodnoty jasu blízke nule, prípadne blízke hodnote 255, čo predstavuje bielu farbu, môžeme tvrdiť, že obraz je podexponovaný, prípadne preexponovaný a pri snímaní dochádza k saturácii. Tento jav je vo väčšine prípadov nežiadúci, pretože sa stráca obrazová informácia, keď tmavé detaily v scéne sú zosnímané len ako čierna farba a svetlé detaily sú zosnímané len ako biela farba.

Po zosnímaní obrazu z kamery je vygenerovaný histogram pre štyri rovnomerne rozdelené jasové úrovne z rozsahu 0 až 255 a to konkrétne 0 až 64, 65 až 128, 129 až 192 a 193 až 255. Tieto štyri získané hodnoty sú navzájom porovnávané a podľa nich je prevedené nastavenie konkrétnych parametrov. Obraz je potom zosnímaný a vyhodnotený v cykle, až pokiaľ nie je výsledok nastavenia uspokojivý, prípadne nie sú dosiahnuté krajné hodnoty zosilnenia, času či otvoru clony. Ako uspokojivý výsledok nastavenia expozície je vyhodnotený taký obraz, kde najviac pixelov má hodnotu stredných jasových úrovní, konkrétne, ak sa najviac pixelov nachádza v druhej alebo tretej štvrtine histogramu jasových hodnôt obrazu.

Navrhnutý algoritmus pre nastavenie expozície s dosiahnutím čo najnižšej hĺbky ostrosti je naznačený na Obrázku 4.8. Pri inicializácii algoritmu je clona úplne otvorená a v histograme sa sleduje nielen dominancia najtmavších jasových úrovní, pre potreby

zjasnenia obrazu, ale takisto aj dominancia najsvetlejších jasových úrovní, podľa čoho je následne clona v čo možno najmensej miere zatváraná.



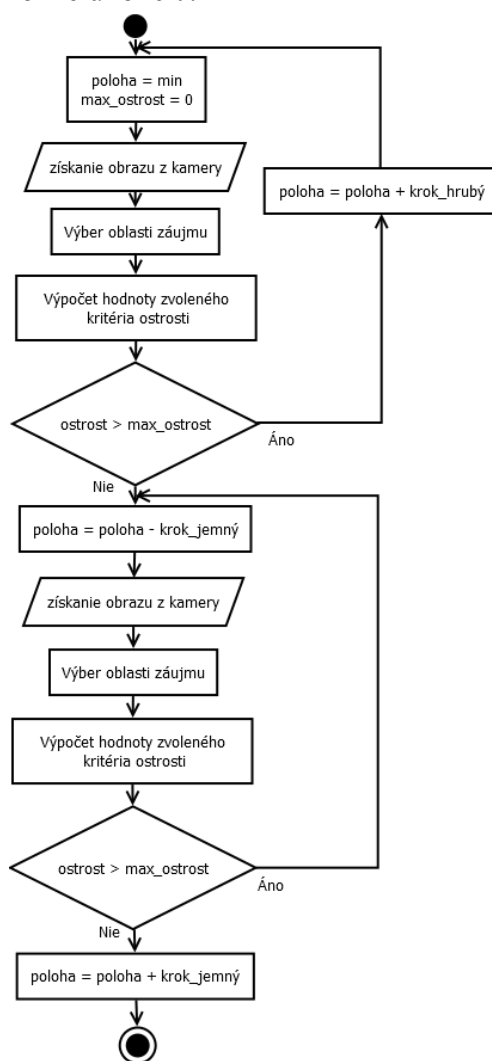
Obrázok 4.7: Vývojový diagram pre nastavenie expozície s prioritou minimálnej hĺbky ostrosti

4.7 Ostrenie

4.7.1 Zaostrenie statickej scény

Za najjednoduchšiu úlohu automatického ostrenia môžeme považovať zaostrenie statickej scény. Princíp riešenia tohto problému pozostáva z nájdenia maximálnej hodnoty zvoleného kritéria ostrosti vzhľadom k zaostrenej vzdialenosti. Vyhodnocovať kritérium z celého snímaného obrazu však nie je najvhodnejšie, pretože snímaná scéna takmer nikdy neobsahuje len snímaný objekt, ale aj pozadie, prípadne iné objekty nachádzajúce sa v inej vzdialenosti než sa nachádza snímaný objekt. Keďže objekt, ktorý nás zaujíma väčšinou umiestňujeme do stredu záberu, je vhodnejšie vyhodnocovať ostrosť len v určitej oblasti okolo stredu obrazu.

Algoritmus zaostrenia statickej scény teda pohybuje objektívom od minimálnej zaostrenej vzdialenosti po maximálnu, pričom po každom kroku vyhodnocuje ostrosť v oblasti záujmu, teda v oblasti okolo stredu obrazu. Posúvaním roviny zaostrenia smerom k požadovanej rovine zaostrenia ostrosť v obraze rastie a po prekročení požadovanej vzdialenosti ostrosť poklesne. Tento stav je vyhodnotený ako nájdenie maxima. Je možné, že nájdené maximum nie je globálne, teda maximum z celého rozsahu zaostrených vzdialeností, ale iba lokálne. Výskyt tohto javu je však do určitej miery eliminovaný vyhodnocovaním ostrosti nie v celom obraze, ale iba v oblasti okolo stredu obrazu, a tak je toto maximum považované za globálne. Objektív je teda vrátený o krok späť, do polohy, v ktorej bolo lokalizované maximum ostrosti. Pre dosiahnutie lepšieho výsledku a rýchlejšieho zaostrenia je vhodné hľadať maximum s väčším krokom pohybu ostriaceho mechanizmu a až po nájdení maxima, teda po poklese hodnoty ostrosti zmeniť smer pohybu a zmenšiť krok ostrenia pre presnejšiu lokalizáciu maxima. Maximum je znova nájdené pri poklese hodnoty ostrosti a je teda ešte raz zmenený smer pohybu a objektív preostrený o krok späť. V tomto bode je scéna zaostrená a algoritmus je možné ukončiť.



Obrázok 4.8: Vývojový diagram pre zaostrenie statickej scény

4.7.2 Zaostrenie na RZ

Zaostrenie na statickú registračnú značku vozidla rieši podobný problém ako v predchádzajúcom prípade ostrenia na všeobecnú statickú scénu. Rozdiel je v tom, že v tomto prípade je oblasť obrazu, v ktorej je vyhodnocovaná ostrosť, vybraná automaticky. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade je hľadaná maximálna hodnota kritéria ostrosti vzhľadom k polohe ostriaceho mechanizmu objektívu. V prípade, že v obraze nie je nájdená registračná značka, je tento stav vyhodnotený ako neostrý obraz a algoritmus pokračuje v hľadaní. V prípade, že je registračná značka lokalizovaná, je vyhodnotená ostrosť v tejto oblasti. Následne algoritmus pokračuje rovnako ako v prípade ostrenia všeobecnej scény a pri poklese hodnoty kritéria ostrosti vyhodnotí tento stav ako lokalizované maximum a vráti ostriaci mechanizmus objektívu o krok späť do tejto polohy. Aj v tomto prípade je možné ešte zmenšiť krok ostrenia a maximum lokalizovať medzi poslednými dvoma polohami. Tento stav značí úspešné zaostrenie na registračnú značku v scéne a algoritmus je ukončený. Pre zvýšenie rýchlosti zaostrenia na registračnú značku, ak nie je požadovaná vysoká ostrosť je možné po lokalizovaní registračnej značky algoritmus ukončiť.

4.7.3 Priebežné ostrenie

Princípom priebežného alebo kontinuálneho ostrenia je sledovanie vybraného objektu nachádzajúceho sa v scéne a udržiavanie ostrého obrazu práve v mieste daného objektu. Sledovaný objekt môže vykonávať pohyb kolmý k ose kamery, vtedy však nie je potrebné meniť rovinu zaostrenia. Avšak, ak sa sledovaný objekt záujmu pohybuje v smere osy kamery a jeho pohyb je väčší ako je hĺbka ostrosti v daných podmienkach, po prekonaní určitej vzdialenosti nastane stav, kedy ostrosť obrazu v mieste sledovaného objektu poklesne a pre dosiahnutie ostrého obrazu je potrebné doostriť, teda presunúť rovinu zaostrenia bližšie, prípadne ďalej od snímacej sústavy.

V prípade dopravných scén môže tento jav nastať pri sledovaní približujúceho sa vozidla. Ak je sledovaná vzdialenosť dostatočne veľká a hĺbka ostrosti je dostatočne malá, bude pri zaostrení na vozidlo vchádzajúce do záberu na vzdialenej strane obraz ostrý, lenže pri opúšťaní záberu na strane blízkej už dôjde k rozostreniu. Tomuto javu je možné zabrániť pri použití priebežného ostrenia.

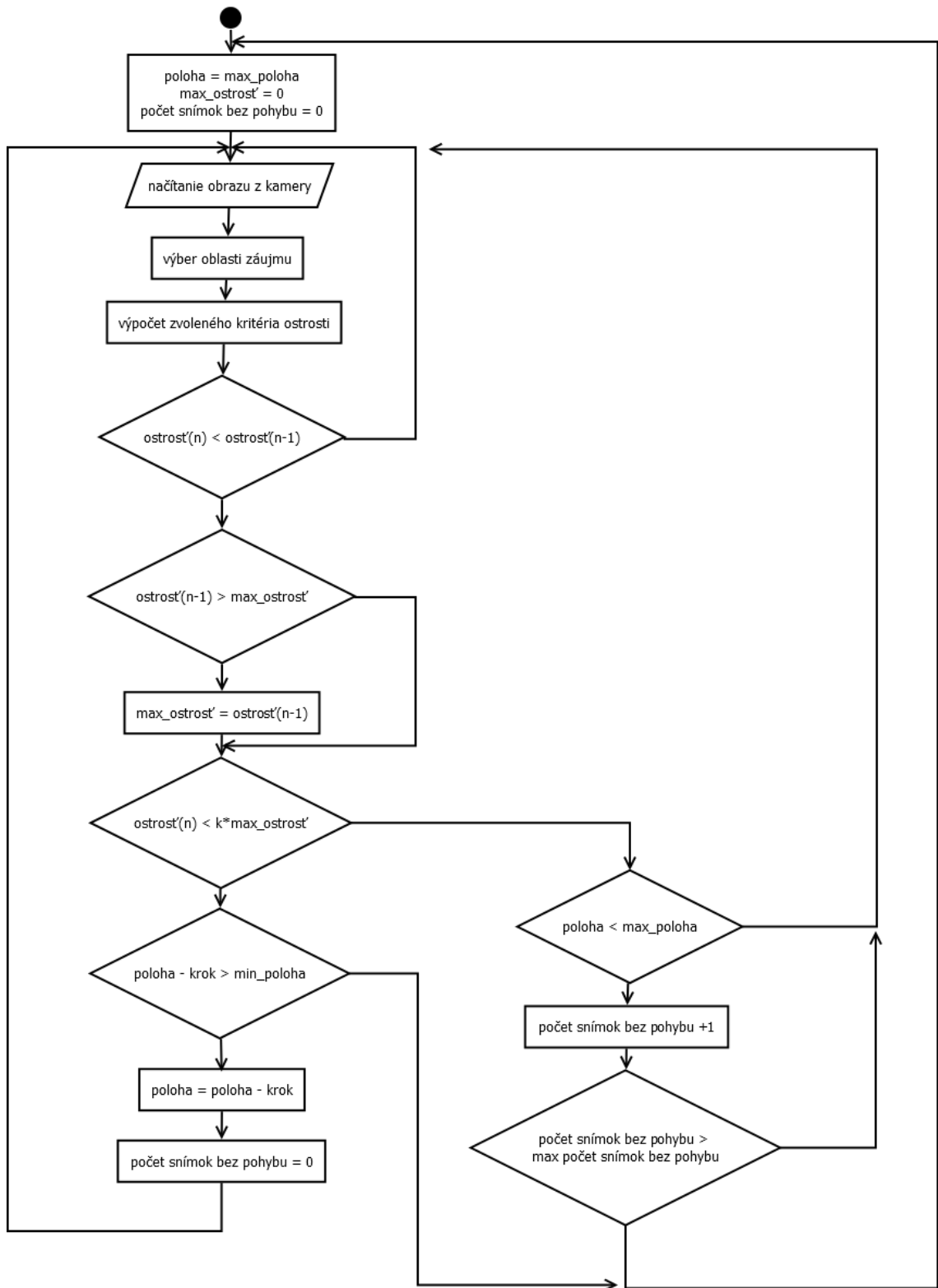
Základom priebežného ostrenia je vhodne zvolený objekt, ktorý je v ďalšom postupe sledovaný. Keďže sa táto diplomová práca orientuje na využitie automatického ostrenia v dopravných úlohách, je za sledovaný objekt zvolené vozidlo. Na základe hodnoty zvoleného kritéria ostrosti v oblasti obrazu, kde sa nachádza vozidlo je následne obraz doostrovaný počas jeho pohybu. Ak vozidlo opustí záber, je rovina zaostrenia presunutá na pôvodnú, teda vzdialenú pozíciu a čaká na príchod ďalšieho vozidla, teda na zachytenie ďalšej registračnej značky.

V prípade, že vozidlo v obraze nie je lokalizované, alebo nedošlo k významnému poklesu ostrosti, je obraz zosnímaný znovu a postup lokalizácie sa opakuje. Ak niekoľko snímok po sebe nie je vozidlo lokalizované alebo nedošlo k zmene ostrosti je

vyhodnotené, že vozidlo pravdepodobne opustilo hĺbku ostrosti. Následne je rovina zaostrenia presunutá o krok ďalej a algoritmus sa o lokalizáciu a vyhodnotenie ostrosti pokúsi znovu, ak ani tu nie je lokalizácia po niekoľkých snímkach úspešná, je vyhodnotené, že vozidlo bolo stratené. Rovina zaostrenia sa vráti na počiatočnú pozíciu a celý algoritmus sa opakuje. V prípade, že je vozidlo priebežne zachytávané úspešne, je vyhodnocovaná jeho ostrosť podľa zvoleného kritéria a je ukladaná hodnota nájdeného maxima. Pokiaľ hodnota ostrosti poklesne pod požadovanú úroveň danú zvoleným režimom, je rovina zaostrenia presunutá bližšie k snímaču a opakuje sa lokalizácia a vyhodnotenie ostrosti až pokiaľ vozidlo neopustí záber.

Pri použití ideálnej optiky a mechaniky by bolo možné meniť rovinu zaostrenia v minimálnych krokoch za minimálny čas. Lenže ako to v praxi často býva, reálna sústava sa od ideálnej podstatne líši. Rýchlosť komunikačnej linky a takisto samotného modulu a objektívu je obmedzená a dosiahnutie plynulého priebežného ostrenia je komplikované. Testovaním bolo zistené, že spracovanie príkazu na ostrenie trvá približne 180 ms, a následne každých 100 krokov objektívu (z celého rozsahu 1000 krokov) približne 25 ms. Tento fakt určuje, že počet zaostrených úrovní je obmedzený a závisí od konkrétnej scény a maximálnej povolenej rýchlosti v snímanom mieste. Ďalším problémom, ktorý pri použití reálnej optickej sústavy vzniká je presnosť. Objektív síce ponúka možnosť meniť polohu v rozsahu 1000 krokov, ale v skutočnosti túto presnosť nie je možné dosiahnuť. Preto je malý pohyb ostriacim mechanizmom, a tak malá zmena zaostrenej vzdialenosti nemožná a pre správne fungovanie je nutné zvoliť krok pohybu aspoň dvojnásobne väčší, čo ale znižuje presnosť zaostrenia.

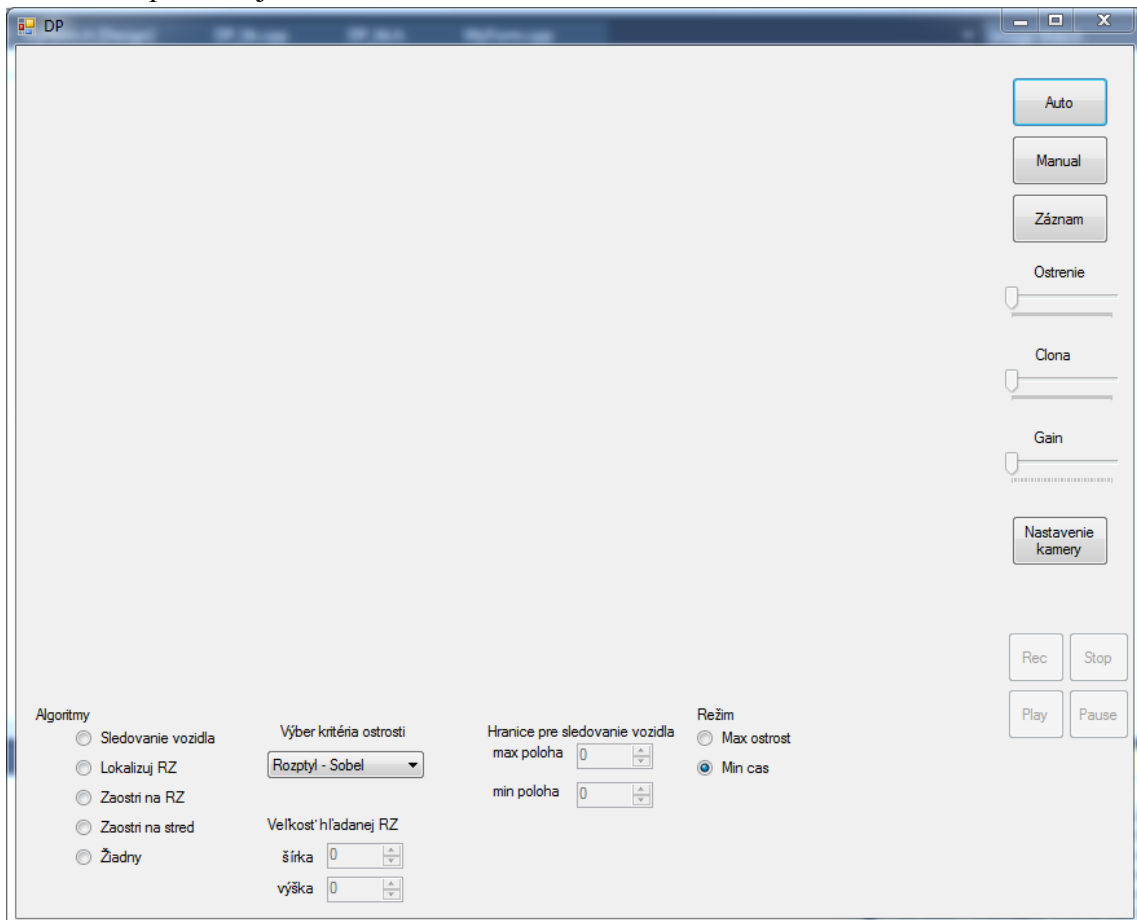
Veľkosť kroku a ostrosť pri ktorej dôjde k presunu roviny zaostrenia je závislá na požadovanej presnosti zaostrenia či na požadovanej rýchlosti ostrenia. Pri režime maximálnej ostrosti obrazu je zvolený čo najmenší krok ostrenia s ohľadom na možnosti hardvéru a k preostreniu prichádza už pri malom poklese ostrosti, čo zabezpečí, že snímané vozidlo, resp. jeho registračná značka, je v celom rozsahu snímania dostatočne ostrá pre prípadné ďalšie spracovanie. Pokiaľ je zvolený režim minimálneho času ostrenia, je zvolený väčší krok ostriaceho mechanizmu a k preostreniu prichádza pri väčšom rozostrení obrazu. Tým je minimalizovaný pohyb aparatúry a čas potrebný na spracovanie pohybu mechanizmu, keďže, ako bolo zistené, podstatnú časť času potrebného na pohyb mechanizmu do požadovanej polohy zaberie komunikácia a spracovanie príkazu CAN-EF modulom.



Obrázok 4.9: Vývojový diagram pre algoritmus priebežného ostrenia na pohybujúci sa objekt

4.8 Popis vytvorenej aplikácie

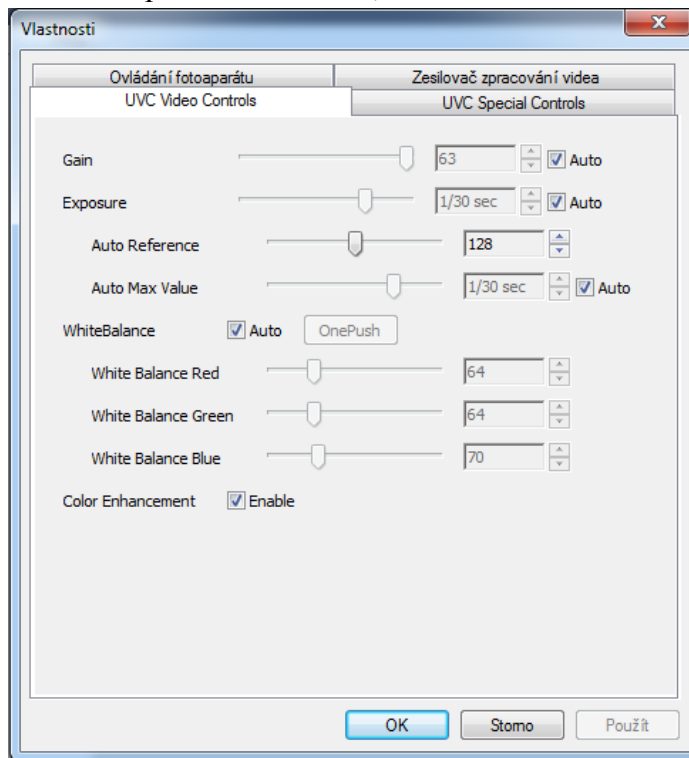
Pre demonštráciu funkčnosti navrhnutých algoritmov a funkcií bola vytvorená formulárová aplikácia v jazyku C++. Aplikácia umožňuje sledovať video z pripojenej kamery a komunikovať s CAN-EF modulom a ovládať tak objektív k nemu pripojený. V aplikácii je možné zvoliť manuálny režim, automatický režim či režim prehrávania záznamu. Obraz z kamery je premietaný do pripraveného poľa, ktoré zaberá najväčšiu časť plochy okna aplikácie. Toto pole má rozmery obrazu snímaného z kamery, teda konkrétne 744 pixelov na šírku a 480 pixelov na výšku. Napravo od obrazu sa nachádzajú ovládacie prvky, teda tlačidlá pre voľbu režimu a posuvníky pre ovládanie objektívu, či kamery. V spodnej časti okna sa nachádzajú prepínače algoritmov, použitých kritérií ostroty, zvoleného režimu a takisto polia numerických vstupov pre nastavenie hraníc pri použití priebežného ostrenia. Ukážka grafického rozhrania aplikácie je na Obrázku 4.10.



Obrázok 4.10: Ukážka GUI vytvorenej aplikácie

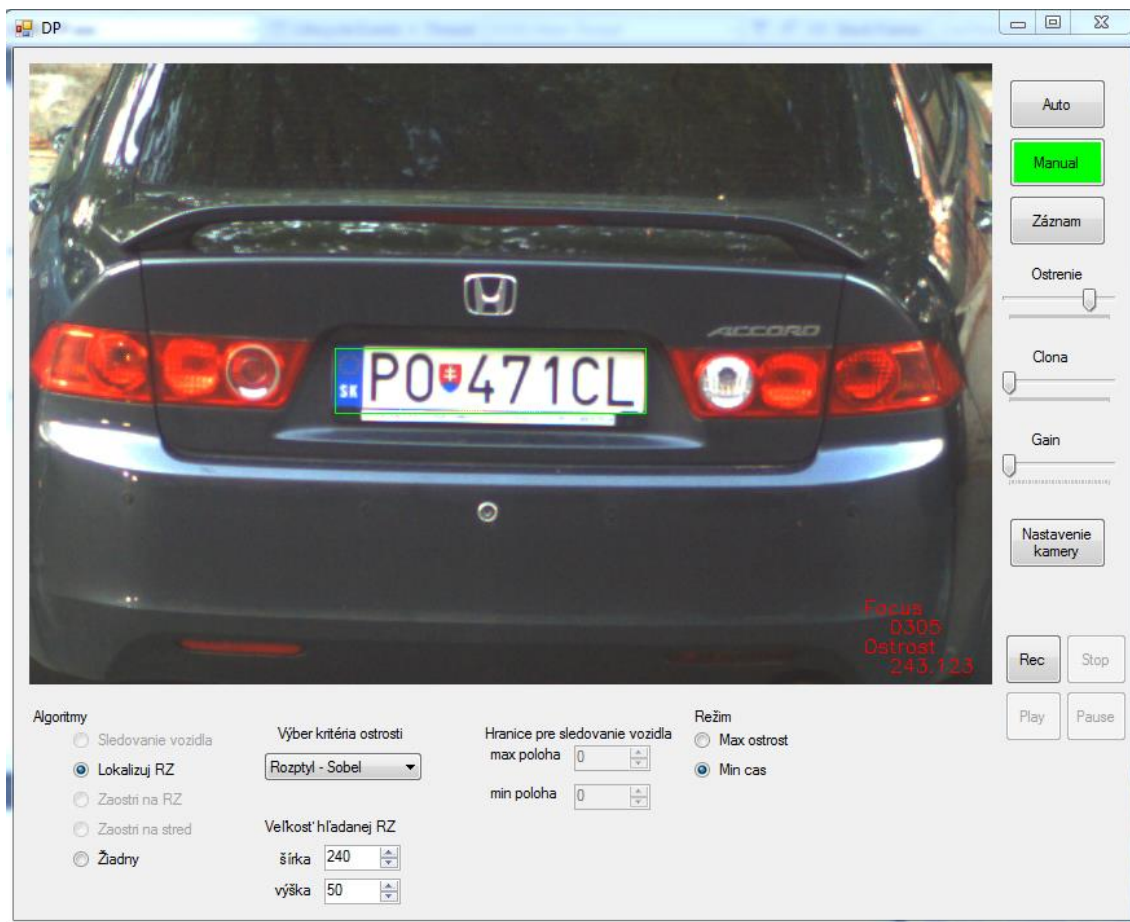
Základom ovládania aplikácie je manuálny režim, v ktorom je prehrávaný obraz z kamery a pomocou ovládacích prvkov je možné meniť nastavenia objektívu či kamery. Po stlačení tlačidla manuálneho režimu sú ukončené akékoľvek iné režimy a je prevedená inicializácia kamery a CAN-EF modulu. Pri spustenom režime svieti tlačidlo manuálneho režimu zelenou farbou. V tomto režime sú k dispozícii posuvníky pre

ostrenie, clonu a zosilnenie snímača kamery. Tieto prvky umožňujú meniť jednotlivé parametre v celom ich rozsahu. Pre detailné nastavenie parametrov kamery slúži špeciálne tlačidlo, ktoré vyvolá ponuku s dostupnými parametrami pre danú kameru. V tomto okne je možné dané parametre zmeniť, či zvoliť ich automatické nastavenie.



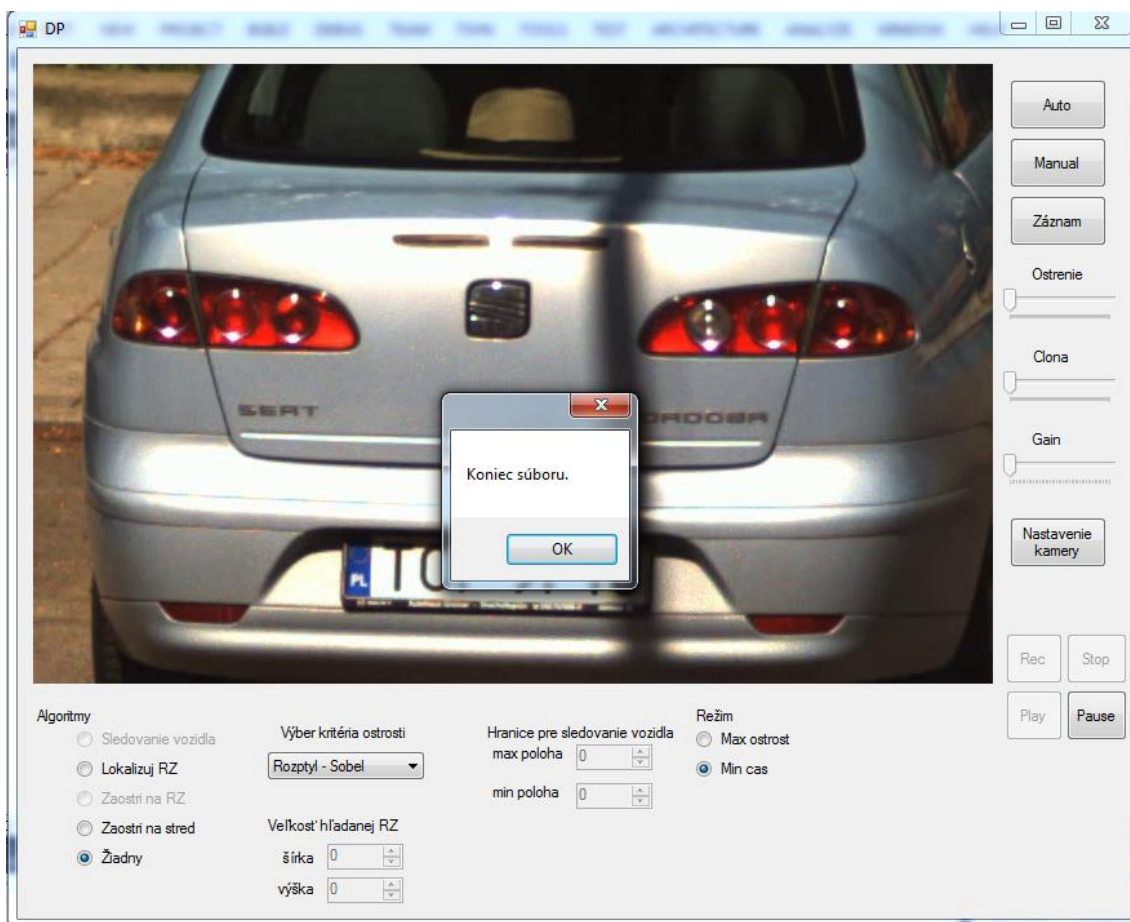
Obrázok 4.11: Nastavenie parametrov kamery

Algoritmy ostrenia sú v manuálnom režime zakázané, avšak aj v tomto režime je možné spustiť algoritmus lokalizácie registračnej značky v snímanom obraze. Po výbere tejto možnosti je na snímaný obraz aplikovaný algoritmus popísaný v predchádzajúcich kapitolách a jeho výsledok je zapracovaný do zobrazeného obrazu. Lokalizovaná oblasť s najvyšším výskytom hrán o požadovanej veľkosti je vyznačená červeným obdĺžnikom. Ak je táto oblasť vyhodnotená ako obraz registračnej značky vozidla, je tento obdĺžnik zobrazený zelenou farbou. Pri spustení algoritmu je takisto v pravom dolnom rohu obrazu zobrazovaná hexadecimálna hodnota polohy ostriaceho mechanizmu objektívu a výsledok vyhodnotenia ostroty v lokalizovanej oblasti zvoleným kritériom.



Obrázok 4.12: Lokalizácia registračnej značky vozidla v manuálnom režime

Režim, ktorý ponúka najmenej voliteľných parametrov je režim prehrávania záznamu. Po stlačení tlačidla záznamu sú ukončené prípadné aktívne režimy a je zobrazené dialógové okno pre výber umiestnenia prehrávaného súboru. Súborov zobrazených v prehľadávaných zložkách sú filtrované tak, aby boli pri výbere k dispozícii len videosúbory s príponou .avi. Po úspešnom výbere funkčného videosúboru je spustené prehrávanie. Aj v tomto režime je možné zvoliť algoritmus lokalizácie registračnej značky vozidla a kritérium pre výpočet ostrosti v nájdenej oblasti obrazu. Prehrávanie záznamu je možné ovládať pomocou tlačidiel nachádzajúcich sa v ľavom dolnom rohu hlavného okna aplikácie. Záznam je možné pozastaviť a následne pokračovať v prehrávaní. Po prehraní všetkých snímok nachádzajúcich sa v prehrávanom videu je zobrazená správa okonci prehrávaného súboru a režim prehrávania záznamu je ukončený.



Obrázok 4.13: Koniec prehrávaného záznamu

Hlavným a funkčne najbohatším režimom je automatický režim. V tomto režime je možné využiť algoritmy lokalizácie registračných značiek, priebežného ostrenia i jednoduchého zaostrenia. Po stlačení tlačidla pre výber tohto režimu je prevedená inicializácia kamery, inicializácia objektívu a je nastavená expozícia scény. Ak je pri výbere algoritmov zaškrtnutá možnosť žiadny algoritmus, správa sa aplikácia ako prehrávač videa z kamery. V tomto prípade je objektív zaostrený na minimálnu vzdialenosť, či na poslednú dosiahnutú vzdialenosť v niektorom z predtým spustených algoritmov a použitie ovládacích prvkov pre zmenu clony či ostrenia nie je povolené.

Pri výbere algoritmu zaostrenia na stred je obraz zaostrený na stred záberu podľa algoritmu popísaného v kapitole 4.7.1. Po zaostrení je algoritmus ukončený a výber algoritmu je presunutý na možnosť „žiadny“. Pri výbere možnosti „Zaostrenie na RZ“ je obraz zaostrený na RZ v scéne, ak ju scéna obsahuje, podľa algoritmu popísaného v kapitole 4.7.2. Po lokalizácii RZ a úspešnom zaostrení je algoritmus ukončený.

Výberom možnosti „Sledovanie vozidiel“ je spúšťaný algoritmus priebežného ostrenia popísaný v kapitole 4.7.3. Pre nastavenie hraníc ostrenia v tomto režime slúžia dve polia numerických vstupov. Maximálna poloha určuje polohu objektívu pre zaostrenie na ďaleký bod, teda na maximálnu vzdialenosť, pri ktorej je zachytávané vozidlo. Minimálna poloha určuje pozíciu objektívu pri zaostrení na minimálnu vzdialenosť, pri ktorej je sledované vozidlo. Po správnom nastavení sledovaného

rozsahu môže algoritmus v zodpovedajúcich vzdialenostiach rovinou zaostrenia sledovať vozidlo. Pre výber režimu ostrenia slúžia dve výberové tlačidlá nachádzajúce sa napravo od polí pre nastavenie hraníc ostrenia. K dispozícii je režim Maximálnej ostrosti a režim minimálneho času. Tieto režimy sa navzájom líšia veľkosťou kroku a hranicou ostrosti, pri ktorej dôjde k preostreniu na ďalšiu pozíciu. Režim maximálnej ostrosti sa snaží, aby ostrosť v obraze neklesla o viac ako 20 percent zisteného maxima a pri potrebe doostrenia presúva objektív o 2 kroky z celého rozsahu 1000 krokov. V prípade režimu minimálneho času ostrenia ide o pokles o 30 percent z maxima a doostrenie o 5 krokov.

Keďže počítanie vykonaného počtu krokov ostriaceho mechanizmu CAN-EF modulom nie je presné, dochádza po niekoľkých zmenách polohy, ešte výraznejšie po zmenách smeru pohybu, k strate informácie o skutočnej polohe, teda poloha, určená CAN-EF modulom nezodpovedá skutočnej polohe objektívu. Preto je po každom cykle objektív preostrený na minimálnu, teda nulovú pozíciu a až následne na maximálnu inicializačnú pozíciu určenú algoritmom, resp. zadanú v poli „Maximálna poloha“.

Pri spustení ktoréhokoľvek z algoritmov je do pravého dolného rohu obrazu pridaný popis, kde je zobrazená aktuálna poloha ostriaceho mechanizmu objektívu ako hodnota „Focus“. Táto hodnota je zobrazená v hexadecimálnom tvare. Pod touto hodnotou je zobrazený popis „Ostrosť“ a pod týmto popisom je zobrazovaná aktuálna hodnota zvoleného kritéria ostrosti v danej oblasti záujmu.



Obrázok 4.14: Aktuálne informácie o obraze zapísané do obrazu

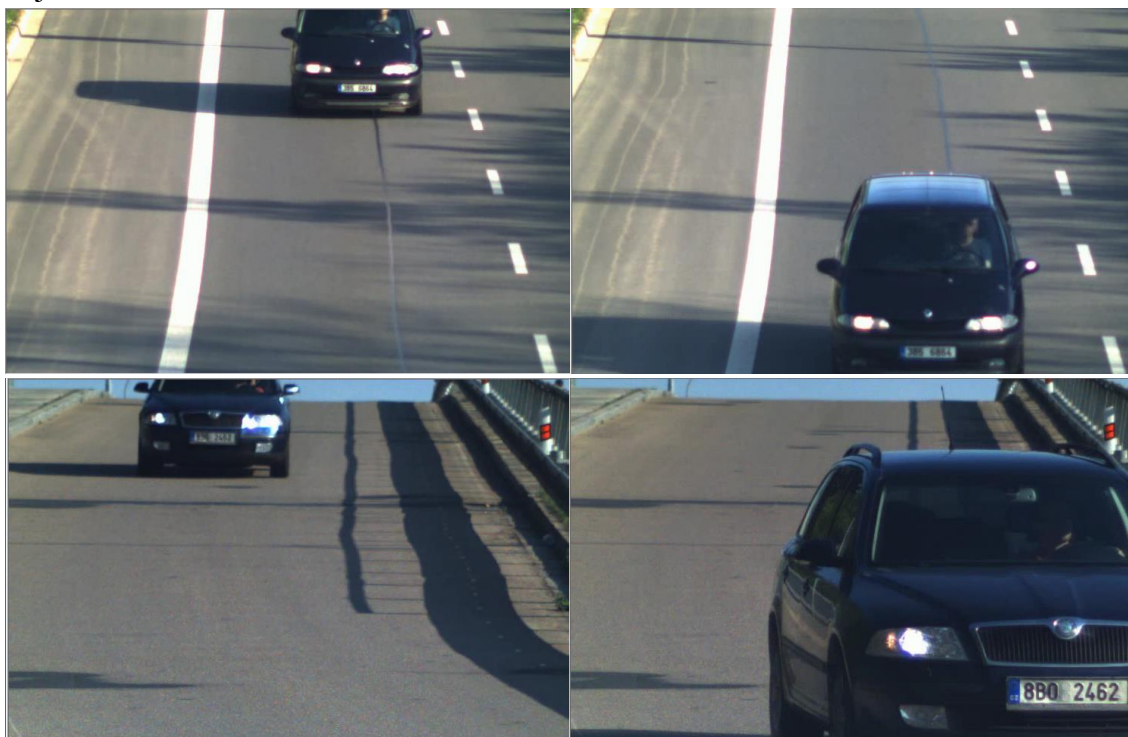
Aplikácia okrem prehrávania záznamu vo formáte .avi, umožňuje takisto záznam vytvárať. Napravo od obrazu, sa v aplikácii nachádzajú tlačidlá pre ovládanie nahrávania. Tlačidlom Rec sa záznam spustí a tlačidlom Stop ukončí. V každom spustenom móde, okrem prehrávania záznamu, je možné spustiť nahrávanie záznamu a obraz získaný z kamery, prípadne upravený niektorým z algoritmov, tak ako je zobrazovaný v okne aplikácie je ukladaný do video súboru vo formáte DivX, teda s príponou .avi. Názov súboru má automaticky definovaný tvar podľa masky „VideoYYYY-MM-DD HH-MM-SS“, kde Y označuje rok, M za rokom označuje mesiac, D deň a H označuje hodiny, M sú v tomto prípade minúty a S sekundy. Záznam vytvorený 12. mája 2016 o 15:30:00 sa teda uloží do súboru „Video2016-05-12 15-30-00.avi“. Rozlíšenie vytvoreného videa zodpovedá rozlíšeniu kamery, rýchlosť videa je

určená ako 30 fps, teda 30 snímok za sekundu. V prípade, že je spustený niektorý z algoritmov, ktoré v obraze zobrazujú popis či vykresľujú útvary, je video uložené aj s týmto popisom.

5 TESTOVANIE FUNKČNOSTI

5.1 Priebežné ostrenie

Testovanie funkčnosti navrhnutých algoritmov a overenie správnosti ich implementácie prebiehalo už počas vývoja v simulovaných podmienkach, následne po dosiahnutí dostatočnej funkčnosti bolo možné pristúpiť k testovaniu aplikácie na reálnych scénach s reálnou premávkou. Na to, aby bolo možné aplikáciu testovať, musela byť vhodne zvolená scéna s ohľadom k použitému hardvérovému vybaveniu. Prvotným úmyslom bolo snímať scénu z mostu a priblížiť sa tak typickému usporiadaniu dopravnej scény, keď kamery sledujúce vozidlá sú umiestnené na konštrukciách nad cestou, na vstupoch do tunela a podobne. Vzhľadom na to bolo vytipovaných niekoľko lokalít v Brne a po otestovaní a prepočítaní parametrov dosiahnutých na týchto miestach s určeným hardvérom bolo zistené, že žiadna z lokalít nie je pre testovanie vyhovujúca. Vzájomná vzdialenosť vybraného miesta, odkiaľ bola scéna snímaná a sledovaných vozidiel bola dostatočne veľká na to, aby hĺbka ostrosti pri snímaní dosiahla vysoké hodnoty, resp. vzdialenosť presiahla hyperfokálnu vzdialenosť použitej snímacej sústavy, a tak bol obraz ostrý v celom rozsahu snímania aj pri použití čo najmenšieho zaclonenia objektívu.

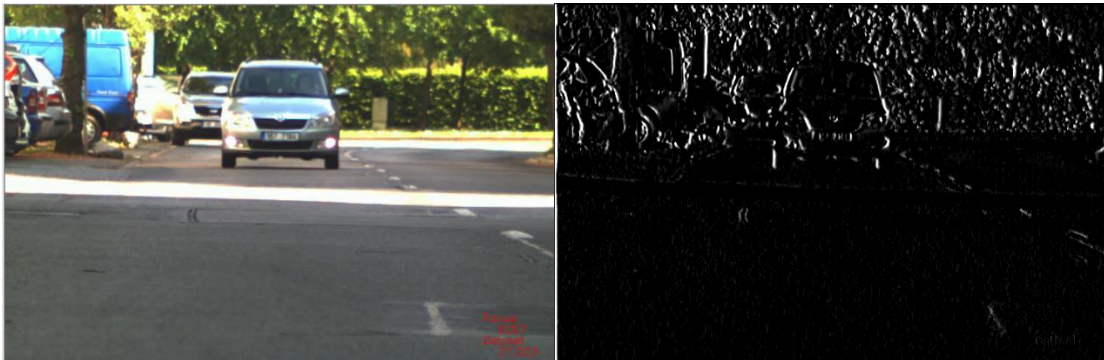


Obrázok 5.1: Ukážka nevhodnej scény

Z dôvodu tejto skutočnosti bolo nutné pre snímanie zvoliť polohu čo najbližšie k snímaným vozidlám. Pri snímaní z miesta mimo cesty bolo z dôvodu vysokého priblíženia použitej hardvérovej konfigurácie takisto veľmi náročné dosiahnuť záber pohybujúceho sa vozidla s dostatočne malou hĺbkou ostrosti. Pre ladenie navrhnutých

algoritmov a ich následné vyhodnotenie bol zvolený minimálne využívaný úsek uzatvorenej cesty, kde bolo možné bezpečne umiestniť kameru do cesty a zachytiť niekoľko definovaných prejazdov vždy rovnakého vozidla pre možnosť dosiahnuť porovnateľné výsledky pri rôznych režimoch ostrenia.

Dôležitým článkom pre dosiahnutie správnej funkcie navrhnutých algoritmov bolo vhodne zvoliť oblasť záujmu, v ktorej je vyhodnocovaná ostrosť, a teda časť obrazu z ktorej bola určená hodnota zvoleného kritéria ostrosti. Prvou testovanou možnosťou bolo ostriť na registračnú značku vozidla. Registračnú značku má každé vozidlo a je to tak pomerne spoľahlivý identifikátor vozidla. Ako problém sa v tomto prípade ukázala spoľahlivosť použitých algoritmov lokalizácie a rozpoznania registračnej značky, kde z dôvodu požiadavky čo najnižšej výpočtovej náročnosti, a teda ostrenia v reálnom čase bol dôraz kladený na jednoduchosť algoritmu a pri tomto algoritme nebola dosiahnutá presnosť dostatočná na to, aby bolo možné ostriť na tento bod. Z dôvodu zvolenej scény bol výrazný rozdiel vo veľkosti registračnej značky na začiatku a na konci sledovanej vzdialenosti, čo v spolupráci s relatívne nízkym rozlíšením kamery spôsobilo, že registračná značka bola na začiatku pomerne malá a neobsahovala dostatočne výrazné hrany a detaily na jej spoľahlivé rozpoznanie, čo sa ešte umocnilo pri nedostatočne presnom zaostrení scény. Potom pri priebežnom ostrení, v prípade že bola nájdená falošná registračná značka bola vyhodnotená ostrosť v tejto oblasti a to spôsobovalo nežiadúce preostrenia.



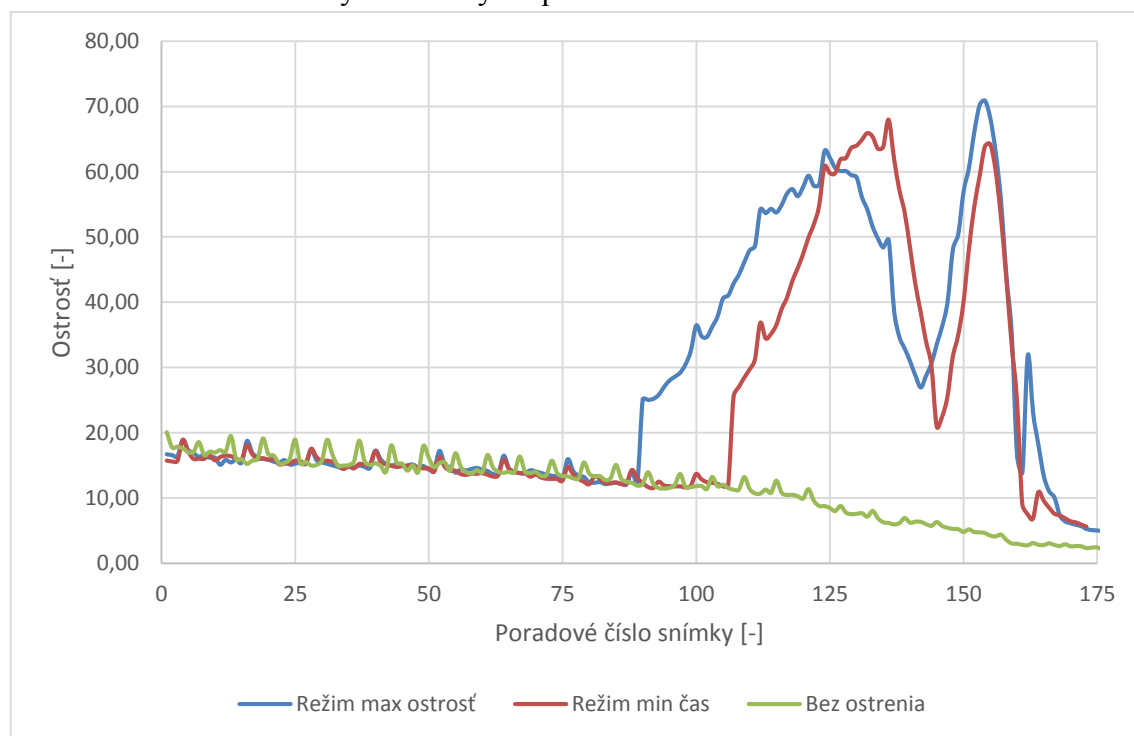
Obrázok 5.2: Problém pri lokalizácii RZ

Ďalšou z navrhovaných možností bolo zistenie polohy vozidla na základe diferencie dvoch snímok. Toto riešenie bolo implementované a testované, avšak pri použití tejto metódy v scéne, akú si vyžadovala použitá hardvérová konfigurácia bolo zistené, že táto metóda zlyháva pri väčších vzdialenostiach, keďže pohyb vozidla v smere osi snímacej sústavy sa v obraze prejaví ako zväčšovanie približujúceho sa vozidla a miera zväčšovania sa je závislá na vzdialenosti, keďže pri veľkej vzdialenosti je zväčšenie malé, takmer nepostrehnuteľné a pri malej vzdialenosti medzi sústavou a vozidlom je zväčšenie výrazné.

Ako najspoľahlivejšie riešenie sa pri testovaní ukázalo vyhodnocovať ostrosť v oblasti okolo stredu obrazu, toto riešenie by nebolo vhodné napr. pri sledovaní scény z výšky, keďže sledované vozidlo by v obraze vykonávalo aj pohyb, ale pri scéne, kde sa vozidlo pohybuje v smere osi sústavy je možné uvažovať statickú oblasť ostrenia,

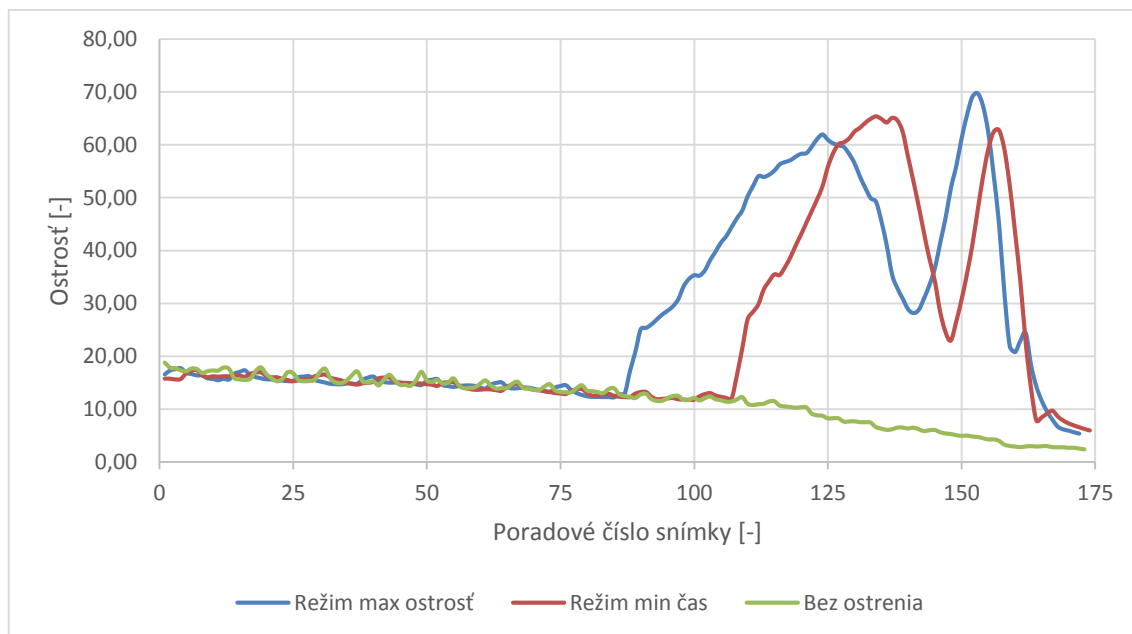
pretože vozidlo sa v obraze pohybuje v minimálnej miere a jeho skutočný pohyb sa prejaví ako zväčšenie. Touto metódou bol teda vyladený a otestovaný algoritmus priebežného ostrenia.

Oblasť pre vyhodnocovanie ostrosti snímaného obrazu bola zvolená ako jedna štvrtina plochy obrazu okolo jeho stredu. S touto konfiguráciou bolo následne vykonaných niekoľko testov, kde bola vyhodnocovaná ostrosť obrazu na úseku dlhom 100 metrov. Pre možnosť porovnania bol zosnímaný prejazd vozidla bez priebežného ostrenia. Objektív bol v tomto prípade zaostrený na rovnakú vzdialenosť, ako bol počiatkový bod algoritmu pre priebežné ostrenie. Následne boli otestované režimy pre maximálnu ostrosť a pre minimálny čas ostrenia na rovnakom úseku s rovnakým počiatkovým zaostrením. Tieto zábery boli potom vyhodnotené v podobe grafov, kde na vodorovnej osi sa nachádza poradové číslo snímky, zodpovedajúce prejdenej vzdialenosti a na zvislej osi sa nachádzajú hodnoty zvoleného kritéria ostrosti. V tomto konkrétnom prípade bolo zvolené kritérium počítané ako rozptyl hodnôt v hranovom obraze získanom Sobelovým hranovým operátorom.



Obrázok 5.3: Priebeh ostrosti v skúmanej oblasti obrazu vo videách získaných referenčnými prejazdmi vozidla

V grafe je viditeľné, že priebeh hodnôt kritéria nie je hladký, ale je skôr zašumený. Z dôvodu dostatočne presného vyladenia parametrov pre navrhnutý algoritmus bolo potrebné tento šum odstrániť a vyhladiť tak priebeh ostrosti. Preto bol na hodnoty kritéria aplikovaný filter typu kĺzavý priemer, ktorý počíta priemer z posledných troch zistených hodnôt.

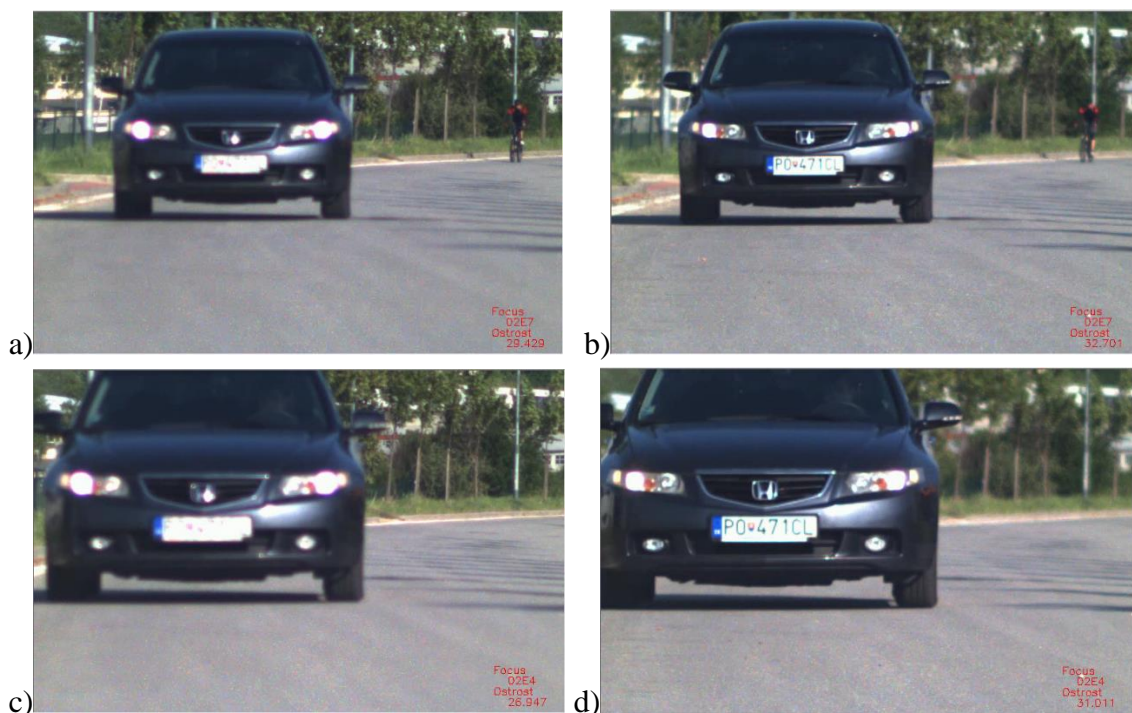


Obrázok 5.4: Priebeh ostrosti v skúmanej oblasti obrazu vo videách získaných referenčnými prejazdmi po filtrovaní hodnôt

V novom grafe je možné povšimnúť si, že hodnota ostrosti je na začiatku snímania nízka. Je to preto, že snímané vozidlo sa nachádza ďaleko, je tak v obraze malé a neobsahuje veľa detailov. Takisto na konci snímanej vzdialenosti je vozidlo blízko a hodnota ostrosti klesá, aj keď je obraz ostrý, pretože záber už nezachytí celé vozidlo, ale iba jeho časť a množstvo detailov tak poklesne.

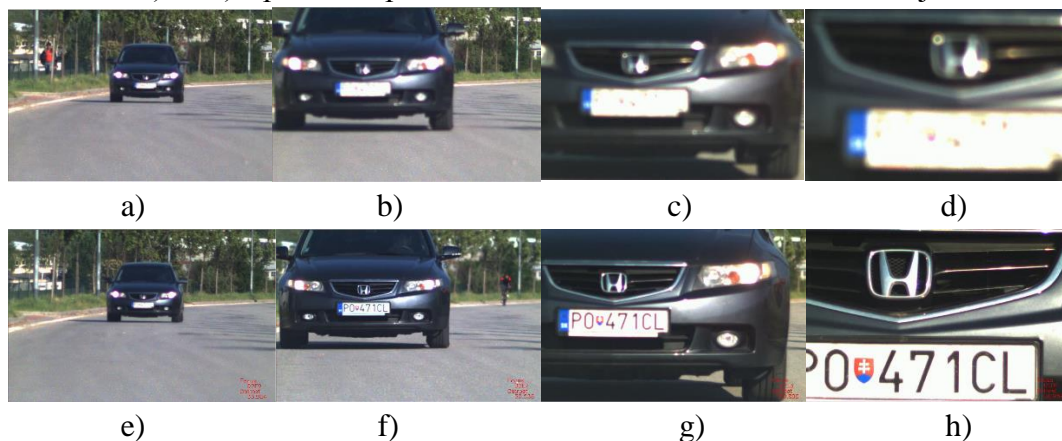
Z priebehu grafu je viditeľné, že počas toho ako sa sledované vozidlo približuje, hodnota ostrosti pozvoľne klesá. To už dochádza k miernemu rozostreniu z dôvodu vzdialovania sa od zaostrenej vzdialenosti. Pri zábere bez priebežného ostrenia ostrosť klesá až k minimálnym hodnotám. Pri záberoch so spustenými algoritmi priebežného ostrenia ostrosť poklesne len v menšej miere a objektív je následne preostrený do ďalšej pozície. Tu zase počká až do poklesu ostrosti na definovanú úroveň zisteného maxima ostrosti v danej polohe. Pri porovnaní grafických priebehov pre rôzne režimy je viditeľné, že režim maximálnej ostrosti preostrie už pri menšom poklese ostrosti. Oproti tomu pri režime minimálneho času ostrenia dôjde k preostreniu pri väčšom poklese ostrosti. Pomerne strmá charakteristika zaostrenej vzdialenosti objektívu vzhľadom k pohybu ostriaceho mechanizmu spôsobuje, že pokiaľ sa vozidlo nepohybuje vysokou rýchlosťou, bude zaostrená vzdialenosť predbiehať skutočnú vzdialenosť vozidla a priebeh ostrosti tak po preostrení nenarastie skokovo, ale postupne.

Rozdiel je možné vidieť aj na získaných záberoch na Obrázku 5.5, kde obrázok a) zobrazuje snímané vozidlo tesne pred prvým doostrením a obrázok b) po doostrení pri režime maximálnej ostrosti. Na obrázkoch c) a d) je rovnaká situácia pri režime minimálneho času ostrenia. Na obrázkoch c) a d) je vozidlo viditeľne väčšie, čo znamená že sa pri doostrení nachádza bližšie k snímačej sústave, a teda ďalej od zaostrenej vzdialenosti, čo spôsobuje aj väčšie rozostrenie oproti druhému režimu.



Obrázok 5.5: Rozdiel vo vzdialenosti vozidla pri prvom preostrení pri rôznych režimoch

Výsledok testovania algoritmov je ešte lepšie ako na grafických závislostiach viditeľný na nahraných videozáznamoch z testovania nachádzajúcich sa v prílohe 3. Na rýchle porovnanie však stačí aj séria snímok. Na Obrázku 5.6 na záberoch a) až d) sa nachádzajú snímky približujúceho sa vozidla bez použitia priebežného ostrenia a na snímkach e) až h) s použitím priebežného ostrenia v režime maximálnej ostrosti.



Obrázok 5.6: Porovnanie priebehu ostrosti obrazu na konkrétnych snímkach

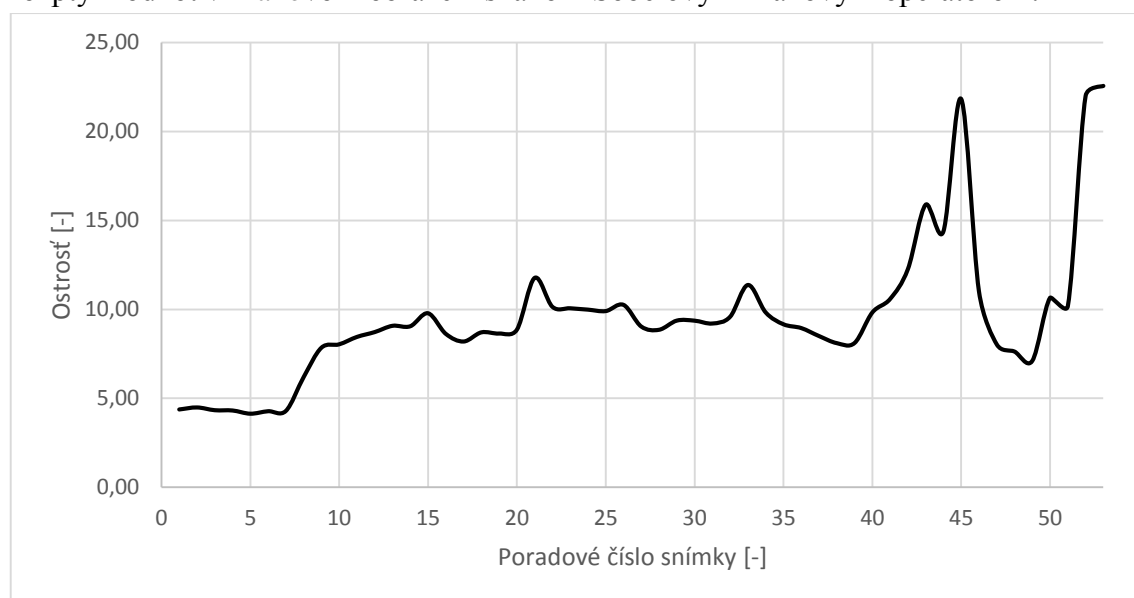
Po dostatočnom otestovaní algoritmov a vyladení parametrov bolo možné pristúpiť k sledovaniu reálnej premávky. V tomto bode nastal problém, ako bezpečne vložiť kameru čo najviac do vozovky. Ako vhodné sa ukázalo využiť obmedzenú premávku na Srbskej ulici v Brne z dôvodu prác na ceste. Na jednom z úsekov tejto cesty bola premávka zúžená do jedného pruhu a bolo tak možné využiť riadené dopravné obmedzenie, čo zaručovalo bezpečné umiestnenie snímačej sústavy do vozovky a zároveň dostatočne krátku vzdialenosť snímaných vozidiel. Na tomto mieste bolo

zachytených niekoľko prejazdov vozidiel. Zábery získané z tohto snímania sa nachádzajú v prílohe 4.

5.2 Zaostrenie statickej scény

Testovanie zaostrenia statickej scény si nevyžadovalo tak náročnú voľbu scény ako priebežné ostrenie. Pre zachovanie dopravného charakteru úlohy bolo teda zvolené znovu ostrenie na vozidlo. V tomto prípade sa však snímané vozidlo nachádzalo odstavené na parkovisku.

Z priebehu hodnoty kritéria ostrosti počas ostrenia bola vytvorená grafická závislosť, kde na vodorovnej osi sa nachádza poradové číslo snímky a na zvislej osi sa nachádzajú hodnoty zvoleného kritéria ostrosti. V tomto prípade bol znova ako kritérium použitý rozptyl hodnôt v hranovom obraze získanom Sobelovým hranovým operátorom.



Obrázok 5.7: Priebeh ostrosti v sledovanej oblasti záujmu počas ostrenia

Na priebehu ostrosti počas ostrenia je možné všimnúť si, že nie je možné spoliehať sa na monotónnosť priebehu ostrosti, keďže aj v rozostrenom obraze sa vplyvom osvetlenia môžu nachádzať hrany. Preto bol počas testovania algoritmus popísaný v kapitole 4.7.1 upravený tak, že zmena smeru ostrenia a zmena veľkosti kroku nastala až pri poklese ostrosti o 25% z nájdeného maxima a algoritmus bol potom ukončený po nájdení hodnoty väčšej ako 90% maxima. Na grafickej závislosti z Obrázku 5.7 bolo nájdené maximum pri snímke číslo 45, v ďalšej snímke nastal prudký pokles, bol zmenený smer ostrenia a následne bolo doostrované až po dosiahnutie maxima, resp. hodnoty väčšej ako 90% hodnoty zo snímky 45.

Video vyhodnocované v tomto bode je k dispozícii v prílohe 3.

6 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť, implementovať a otestovať metódu pre automatické ostrenie kamery osadenej CAN-EF modulom pre dopravnú scénu s pohybujúcim sa objektom.

Aby bolo možné pristúpiť k ostreniu ako takému, bolo potrebné oboznámiť sa s teóriou spracovania obrazu a definovať, čo vlastne ostrosť znamená a čo popisuje ostrý obraz. Bolo spracovaných a porovnaných niekoľko kritériálnych funkcií ostrosti obrazu založených na vyhodnotení hrán v obraze. Tie potom boli využité pre návrh algoritmov ostrenia, či už ide o algoritmy pre zaostrenie statickej scény alebo priebežné ostrenie sledovaného objektu.

Aby mohli byť navrhnuté algoritmy implementované a otestované na reálnom hardvéri, bolo nutné vytvoriť knižnicu funkcií pre komunikáciu s CAN-EF modulom, ktorý tvorí rozhranie pre ovládanie objektívov Canon rady EF. Boli vytvorené funkcie ovládajúce ostriaci mechanizmus objektívu a takisto clonu objektívu.

Snímanie scény bolo realizované priemyselnou kamerou ImagingSource DFK22BUC03, ktorej ovládanie bolo realizované prostredníctvom funkcií zahrnutých v knižnici OpenCV. Táto knižnica ponúka aj funkcie pre nastavenie parametrov kamery a tie boli využité pre automatické nastavenie expozície snímaného záberu.

Spojením implementovaných algoritmov ostrenia a funkcií riadenia kamery a objektívu bola vytvorená užívateľská aplikácia. Táto aplikácia umožňuje ovládanie snímacej sústavy manuálne pomocou ovládacích prvkov alebo automaticky pomocou navrhnutých algoritmov, pričom je zobrazovaný snímaný obraz, ktorý je takisto možné zaznamenať a uložiť do videoformátu typu avi. Pri návrhu a implementácii algoritmov a aplikácie bol kladený dôraz na nízku výpočtovú náročnosť daných algoritmov, aby bola zachovaná odozva ostrenia na zmenu parametrov v obraze v reálnom čase.

Po definovaní scény vhodnej na snímanie a priebežné ostrenie obrazu použitým hardvérovým vybavením boli pomocou vytvorenej aplikácie otestované navrhnuté algoritmy priebežného ostrenia za použitia referenčného vozidla, pri snahe dodržať pri každom pokuse rovnaké podmienky, či už sa jedná o parametre obrazu alebo pohybu vozidla. Získané výsledky boli porovnané s výsledkami získanými sústavou bez automatického ostrenia. Na týchto výsledkoch je viditeľný prínos tejto práce, keď snímané vozidlo je bez použitia ostrenia ostré len v určitom pásme pohybu a s použitými algoritmi ostrenia je jeho obraz dostatočne ostrý v celom rozsahu snímania. Po otestovaní aplikácie v definovaných podmienkach bolo pristúpené k sledovaniu reálnej scény s bežnou dopravou.

Z dôvodu obmedzení hardvérového vybavenia použitého v tejto úlohe musela byť pre testovanie navrhnutých algoritmov zvolená špecifická scéna, ktorá so sebou priniesla určité obmedzenia a komplikácie. Ako možné budúce zlepšenie práce sa preto javí zmena optiky, kde by pri použití objektívu s väčšou ohniskovou vzdialenosťou bola

dosiahnutá menšia hĺbka ostrosti pri snímaní na väčšiu vzdialenosť. Mohla by tak byť zvolená klasická scéna vyskytujúca sa pri sledovaní dopravy.

Otázkou pri reálnom prínose automatického ostrenia pre prax je mechanická odolnosť klasického fotografického objektívu. Neustálym preostrovaním ostriaceho mechanizmu objektívu medzi vzdialeným a blízkym bodom je objektív vystavený nadmernej záťaži, ktorá môže v porovnaní s využitím pri bežnom fotografovaní spôsobiť zvýšené opotrebenie ostriaceho mechanizmu už za relatívne krátku dobu funkcie.

Literatúra

- [1] HLAVÁČ, Václav a Milan ŠONKA. *Počítačové vidění*. Praha: Grada, 1992, 272 s. : il. ISBN 8085424673.
- [2] VÁVRA, Václav a Jindřich ŠTELCL. *Základy digitálních dokumentačních technik a možnosti jejich využití* [online]. 2008 [cit. 2016-01-08]. Dostupné z:
- [3] ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing, analysis, and machine vision*. 3rd ed. Toronto: Thomson, 2008, xxv, 829 s. : il. ISBN 9780495082521.
- [4] ZEŽULKA, F., P. FIEDLER, P. VAŇOUS a P. CACH. *Průmyslové komunikační sítě*. Brno: ÚAMT FEI VUT v Brně, 2000.
- [5] OLMR, Vít. HW server představuje - Sériová linka RS-232. *HW.cz* [online]. 2005 [cit. 2016-01-08]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html>
- [6] *OpenCV* [online]. ©2016 [cit. 2016-01-08]. Dostupné z: <http://opencv.org/>
- [7] THE IMAGING SOURCE EUROPE GMBH. *DFK 22BUC03 Color Camera* [online]. 2015 [cit. 2016-01-08]. Dostupné z: <http://dl.theimagingsource.com/e90e7611ae/>
- [8] CAMEA. *Manuál CANON EF 1.0*. Verze 1.2. Brno, 2007.
- [9] HORÁK, Karel. COMPUTER VISION GROUP, ÚAMT FEKT VUT V BRNĚ. *Automatické ostření: Laboratoře*. Brno, 2010.
- [10] PARKER, J.R. *Algorithms for image processing and computer vision*. New York: Wiley Computer Publishing, 1997, xiii, 417 s. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). ISBN 0471140562.
- [11] LAGANIÉRE, Robert. *OpenCV 2 computer vision application programming cookbook: over 50 recipes to master this library of programming functions for real-time computer vision*. 1st ed. Brimingham: Packt Publishing, 2011, iii, 287 s. : il. ISBN 9781849513241.
- [12] Summed area table. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Summed_area_table
- [13] Slovník fotografických pojmů: Hloubka ostrosti. *FotoRoman* [online]. © 2011 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.fotoroman.cz/glossary2/2_dof.htm
- [14] DFK22BUC03: The imaging source. *Audio Video Supply* [online]. San Diego: Audio Video Supply Inc., ©1996-2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.avsupply.com/ITM/17427/DFK-22BUC03.html>
- [15] BUGÁR, Dominik. Hĺbka ostrosti a clona. In: *Ephoto.sk* [online]. ephoto s.r.o., ©2007-2014 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.ephoto.sk/fotoskola/clanky/zaciname-s-fotografovanim/hlbka-ostrosti-a-clona/>

Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 1.1 Ukážka rozostrenia obrazu pri pohybe vozidla v smere osy snímania pri konštantnom zaostrení	10
Obrázok 2.1: CANON EF modul[9].....	11
Obrázok 2.2: Kamera Imagingsource DFK22BUC03[14]	12
Obrázok 2.3: Logo OpenCV[6]	13
Obrázok 3.1: Vplyv clony na hĺbku ostrosti[15]	15
Obrázok 3.2: Ukážka reprezentácie šedotónového obrazu v pamäti počítača.....	18
Obrázok 3.3: Ukážka aplikácie hranového operátora (Sobel)	20
Obrázok 3.4: Integrálny obraz a výpočet plochy podoblasti	21
Obrázok 3.5: RS-232[5].....	22
Obrázok 4.1: Obrazy zosnímané v rôznych polohách objektívu a im zodpovedajúce hranové obrazy získané Sobelovým operátorom.	26
Obrázok 4.2: Priebeh sumačných kritérií ostrosti.....	27
Obrázok 4.3: Závislosť hodnôt kritérií pracujúcich s rozptylom na ostrosti obrazu	28
Obrázok 4.4: Ukážka registračnej značky a obraz hrán po aplikácii Cannyho detektoru	29
Obrázok 4.5: Algoritmus lokalizácie RZ.....	30
Obrázok 4.6: Priemet hranového obrazu do osy x.....	31
Obrázok 4.7: Vývojový diagram pre nastavenie expozície s prioritou minimálnej hĺbky ostrosti.....	33
Obrázok 4.8: Vývojový diagram pre zaostrenie statickej scény.....	34
Obrázok 4.9: Vývojový diagram pre algoritmus priebežného ostrenia na pohybujúci sa objekt	37
Obrázok 4.10: Ukážka GUI vytvorenej aplikácie.....	38
Obrázok 4.11: Nastavenie parametrov kamery.....	39
Obrázok 4.12: Lokalizácia registračnej značky vozidla v manuálnom režime	40
Obrázok 4.13: Koniec prehrávaného záznamu	41
Obrázok 4.14: Aktuálne informácie o obraze zapísané do obrazu	42
Obrázok 5.1: Ukážka nevhodnej scény.....	44
Obrázok 5.2: Problém pri lokalizácii RZ.....	45
Obrázok 5.3: Priebeh ostrosti v skúmanej oblasti obrazu vo videách získaných referenčnými prejazdmi vozidla	46
Obrázok 5.4: Priebeh ostrosti v skúmanej oblasti obrazu vo videách získaných referenčnými prejazdmi po filtrovaní hodnôt	47
Obrázok 5.5: Rozdiel vo vzdialenosti vozidla pri prvom preostrení pri rôznych režimoch	48
Obrázok 5.6: Porovnanie priebehu ostrosti obrazu na konkrétnych snímkach.....	48

Obrázok 5.7: Priebeh ostrosti v sledovanej oblasti záujmu počas ostrenia 49

Zoznam tabuliek

Tabuľka 4.1: Príkazy pre ostrenie vo funkcii Ostri 25

Tabuľka 4.2: Voľba druhu príkazu nastavenia clony 25

Zoznam skratiek

ASCII - American Standard Code for Information Interchange, druh kódovania znakov do číselných hodnôt

COM - skratka pre komunikačný port

RZ - registračné značka

DivX - obrazový kodek pre spracovanie videa

GUI - grafické užívateľské rozhranie

LoG - Laplacián gausiánu

FPS - Frames per second – jednotka rýchlosti videa (snímky za sekundu)

Zoznam príloh

Na CD:

1. Projekt programu Microsoft Visual Studio 2013
2. Skompilovaná aplikácia + potrebné knižnice
3. Galéria videí referenčných prejazdov vozidla
4. Záznam sledovania reálnej premávky
5. Elektronická verzia práce v PDF