



Fakulta elektrotechnická  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Obrazová analýza kamerových dat parkovacích stání

Autor práce: Bc. Tomáš Sak  
Vedoucí práce: Ing. Vladimír Pavlíček, Ph.D.

Plzeň 2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš SAK**  
Osobní číslo: **E13N0131P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**  
Název tématu: **Obrazová analýza kamerových dat parkovacích stání**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte analýzu problému parkovacích stání před budovou FEL/ZČU.
2. Vyberte vhodnou polohu umístění průmyslové kamery a nasnímejte testovací obrazová data celého parkoviště (jasný den, zataženo, déšť, sníh). Proveďte rozbor nutnosti snížení z více statických kamer (skládání obrazu) a diskutujte ekvalizaci obrazu.
3. Metodami číslicového zpracování obrazu proveďte vhodnou obrazovou analýzu dat za účelem detekce volných parkovacích míst a místa lokalizujte (úprava perspektivy, jas, prahování, detekce objektů apod.). Jako nástroje volte např. NI, OpenCV, příp. Matlab.
4. Vytvořenou obrazovou mapu parkovacích míst popište jednoduchou strukturou (např. sektory A-F + počet volných míst) vhodnou pro další zpracování, popište proces získání dat a použité algoritmy zpracování obrazu.
5. Dosažené výsledky zhodnoťte, diskutujte klady, zápory zvoleného řešení a možnosti další práce.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Vladimír Pavlíček, Ph.D.**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

# Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá řešením problematiky parkovacích stání před budovou FEL/ZČU. V rámci analýzy tohoto problému byl proveden rozbor umístění kamer pro pokrytí celé plochy parkoviště. Dále pak rozdělení parkovacích míst do devíti sektorů A-I, které korespondují se zornými poli jednotlivých kamer. V rámci otestování metod číslicového zpracování obrazu byla nasnímána testovací množina snímků jednoho ze sektorů. Následně byla tato testovací množina snímků podrobena metodám předzpracování obrazu pro úpravu perspektivy, jasu a prahování. Na takto předzpracovaných snímcích byla provedena obrazová analýza dat za účelem detekce volných parkovacích míst. Pro realizaci všech výše uvedených úkonů bylo využito programu *NI Vision Builder for Automated Inspection*.

## Klíčová slova

videodetekce, parkoviště, číslicové zpracování obrazu, kamera, vision builder

# Abstract

Sak, Tomáš. *Image processing on CCTV data from parking spaces [Obrazová analýza kamerových dat parkovacích stání]*. Pilsen, 2015. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Vladimír Pavlíček

---

This thesis describes the problem of parking lot in front of the FEL/UWB. During the analysis of this problem was realized placement of cameras to cover the entire area of parking lot. Furthermore, the distribution of parking spaces in nine sectors, described by letters A-I , which correspond to the fields of view of each camera. In the context of testing methods for digital image processing, test data was scanned of one of the sectors. Subsequently, the test data of images was submitted to image preprocessing methods for adjustment of perspective, treatment of brightness, and threshold the image. For such modified slides was performed image analysis of data for detection of free parking spaces and their localization. To realize all the above mentioned operations have been used the *NI Vision Builder for Automated Inspection* .

## Keywords

video detection, parking lot, digital image processing, camera, vision builder

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci 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 závěrečné 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 § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 10. května 2015

Bc. Tomáš Sak

.....

Podpis

## Poděkování

Tímto bych chtěl předně poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Vladimíru Pavlíčkovi Ph.D. za jeho cenné profesionální rady, odbornou pomoc a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Radku Holotovi Ph.D. za odborné konzultace k problematice digitálního zpracování obrazu.

# Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam symbolů a zkratk	x
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Inteligentní parkovací systémy</b>	<b>3</b>
2.1 Popis systému . . . . .	4
2.2 Detektory přítomnosti vozidla . . . . .	7
<b>3 Parkoviště FEL/ZČU</b>	<b>12</b>
3.1 Obrazová mapa parkovacích míst . . . . .	13
3.2 Popis kamery . . . . .	15
3.3 Software použitý pro analýzu volných parkovacích míst . . . . .	17
<b>4 Předzpracování obrazu</b>	<b>18</b>
4.1 Dolní skupina parkovacích stání . . . . .	19
4.2 Horní skupina parkovacích stání . . . . .	24
<b>5 Detekční metody</b>	<b>28</b>
5.1 Dolní skupina parkovacích stání . . . . .	29
5.2 Horní skupina parkovacích stání . . . . .	38
<b>6 Vizualizace naměřených dat a komunikace s FTP serverem</b>	<b>44</b>
<b>7 Časová náročnost průběhu inspekce</b>	<b>46</b>
<b>8 Závěr</b>	<b>47</b>
Reference, použitá literatura	49
Přílohy	52
<b>A Stavový automat</b>	<b>52</b>

<b>B</b>	<b>Procentuální obsazenost míst</b>	<b>53</b>
<b>C</b>	<b>Příklad parkovacích míst vyhodnocených jako neznámý stav</b>	<b>54</b>
C.1	Dolní skupina parkovacích stání . . . . .	54
C.2	Horní skupina parkovacích stání . . . . .	55
<b>D</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>56</b>

# Seznam obrázků

2.1	Inteligentní parkovací systém  Převzato z [12]  . . . . .	4
2.2	Instalace a výsledné provedení podpovrchového detektoru  Převzato z [13],[14]  .	5
2.3	Instalace a výsledné provedení povrchového detektoru  Převzato z [15]  . . . . .	5
2.4	Provedení informačních a navigačních tabulí  Převzato z [16],[17]  . . . . .	6
2.5	Příklad rozhraní webové a mobilní aplikace  Převzato z [18],[19]  . . . . .	6
2.6	Indukční smyčky a) schéma detektoru  Převzato z [20] b) narušení mag. pole přítomností vozidla  Převzato z [21]  . . . . .	8
2.7	Magnetometr a) deformace siločar způsobená přítomností vozidla  Převzato z [22] b) sonda  Převzato z [23]  . . . . .	8
2.8	Principy optické detekce vozidel  Převzato z [26],[27]  . . . . .	9
2.9	PIR detektor a) umístění  Převzato z [24] b) integrace do LED osvětlení parko- viště  Převzato z [25]  . . . . .	9
2.10	Umístění ultrazvukového detektoru  Převzato z [28],[29]  . . . . .	10
2.11	Videodetekce  Převzato z [40]  . . . . .	11
3.1	Blokový diagram realizace projektu usnadňujícího parkování . . . . .	12
3.2	Rozdělení parkovacích míst do sektorů A-I . . . . .	13
3.3	Pokrytí jednotlivých sektorů parkoviště kamerami . . . . .	14
3.4	Princip číslování parkovacích míst v sektoru . . . . .	15
3.5	Kamera Basler Ace acA1300-30gc  Převzato z [36]  . . . . .	15
3.6	Kamera VIVOTEK IP8355EH  Převzato z [37]  . . . . .	16
4.1	Neupravený obraz získaný přímo z kamery . . . . .	18
4.2	Blokový diagram předzpracování dolní skupiny parkovacích stání . . . . .	19
4.3	Geometrická transformace dolní skupiny parkovacích stání . . . . .	19
4.4	Aplikace masky na dolní skupinu parkovacích stání . . . . .	20
4.5	Dolní sekce parkovacích stání po extrakci pouze červené složky . . . . .	21
4.6	Detekce hran vozidel pro dolní parkovací stání . . . . .	22
4.7	HSV barevný model  Převzato z [39]  . . . . .	23
4.8	HSV prahování dolní sekce parkovacích stání . . . . .	23
4.9	Blokový diagram předzpracování horní skupiny parkovacích stání . . . . .	24
4.10	Geometrická transformace horní skupiny parkovacích stání . . . . .	24



4.11	Aplikace masky na horní skupinu parkovacích stání . . . . .	25
4.12	Princip činnosti morfologické operace eroze  Převzat z [31]  . . . . .	26
4.13	Předzpracování obrazu pomocí eroze horní skupiny parkovacích stání . . .	26
4.14	Úprava jasu horní skupiny parkovacích stání . . . . .	27
4.15	Princip barevného operátoru násobení vektoru skalárem  Převzat z [30]  . . . .	27
4.16	Předzpracování obrazu pomocí barevného operátoru násobení u horní skupiny parkovacích stání . . . . .	27
5.1	Blokový diagram detekčních metod dolní skupiny parkovacích stání . . . .	29
5.2	Měření intenzity u dolní skupiny parkovacích stání, červená složka . . . . .	30
5.3	Měření intenzity u dolní skupiny parkovacích stání, horní okraj, červená složka . . . . .	31
5.4	Detekce hran u dolní skupiny parkovacích stání, červená složka . . . . .	32
5.5	Porovnání x-ových souřadnic nalezených hran . . . . .	33
5.6	Součet pixelů vybrané intenzity dolní skupiny parkovacích stání, červená složka . . . . .	34
5.7	HSV prahování dolní skupiny parkovacích stání, červená složka . . . . .	34
5.8	Blokový diagram výpočtu obsazenosti u dolní skupiny parkovacích stání . .	35
5.9	Kalkulátor procentuálního obsazení parkovacího místa B1 . . . . .	36
5.10	Vyhodnocení obsazenosti parkovacího stání B1 a) obsazeno b) neznámý stav c) volno . . . . .	37
5.11	Blokový diagram detekčních metod horní skupiny parkovacích stání . . . .	38
5.12	Měření intenzity u horní skupiny parkovacích stání, červená složka . . . . .	39
5.13	Měření intenzity u horní skupiny parkovacích stání, eroze, červená složka .	39
5.14	Měření intenzity a procentuální součet pixelů vybrané intenzity u horní skupiny parkovacích stání, úprava jasu, červená složka . . . . .	40
5.15	Měření směrodatné odchylky intenzity všech tří kanálů barevného modelu RGB u horní skupiny parkovacích stání . . . . .	41
5.16	Blokový diagram výpočtu obsazenosti u dolní skupiny parkovacích stání . .	42
5.17	Kalkulátor procentuálního obsazení parkovacího místa B13 . . . . .	42
5.18	Výpočet celkového počtu volných míst . . . . .	43
6.1	Blokový diagram vizualizace naměřených dat a komunikace s FTP serverem	44
6.2	Vizualizace vyhodnocení stavu obsazenosti jednotlivých parkovacích stání .	45
C.1	Vstup vozidla do oblasti parkovacího místa B4 . . . . .	54
C.2	Nesprávné parkování přes dvě vyznačená parkovací místa B4 a B5 . . . . .	54
C.3	Vstup vozidla do oblasti parkovacího místa B18 . . . . .	55
C.4	Nesprávné parkování přes dvě vyznačená parkovací místa B18 a B19 . . . .	55

# Seznam tabulek

3.1	Počet parkovacích míst v jednotlivých sektorech A-I . . . . .	13
3.2	Specifikace kamery Basler Ace acA1300-30gc [Převzato z [36]] . . . . .	16
3.3	Specifikace kamery VIVOTEK IP8355EH [Převzato z [37]] . . . . .	17
5.1	Závislost procentuálního základu na výstupních hodnotách bloků <i>Logic Calculator B1R UP</i> a <i>Calculator Edges B1R UP</i> . . . . .	36
7.1	HW konfigurace použitého počítače . . . . .	46

# Seznam symbolů a zkratek

CCD .....	Charge-Coupled Device. Zařízení s vázanými náboji.
CMOS .....	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor. Technologie výroby polovodičů.
FEL/ZČU .....	Fakulta elektrotechnická Západočeské univerzity v Plzni.
FTP .....	File Transfer Protocol. Protokol pro přenos souborů.
GigE .....	Gigabit Ethernet. Gigabitový Ethernet
HSV .....	Hue-Saturation-Value. Barevný tón-Sytost barvy-Hodnota jasu.
HW .....	Hardware.
IP .....	Internet Protocol. Internetový protokol.
IP67 .....	Ingress Protection 67. Stupeň krytí 67.
IR detector .....	InfraRed. Infračervené.
JIS .....	Jednoduchý Identifikační Systém
JPEG .....	Joint Photographic Experts Group
microSD .....	micro Secure Digital. Zmenšený formát flash paměťové karty.
NI .....	National Instruments
OCR .....	Optical Character Recognition. Optické rozpoznávání obrazu
PC .....	Personal Computer. Osobní počítač.
PIR detector .....	Passive InfraRed detector. Pasivní infračervený detektor.
PLC .....	Programmable Logic Controller. Programovatelný logický automat
PoE .....	Power over Ethernet. Napájení přes rozhraní Ethernet.
RAM .....	Random Access Memory. Paměť s přímým přístupem.
RGB .....	Red-Green-Blue. Červená-Zelená-Modrá.
SMTP .....	Simple Mail Transfer Protocol. Protokol pro přenos zpráv elektronické pošty.
SUV .....	Sport Utility Vehicle. Sportovní Užitkové Vozidlo.
SW .....	Software.
SXGA- .....	Super eXtended Graphics Array.
USB .....	Universal Serial Bus. Univerzální sériová sběrnice
VBAI .....	Vision Builder for Automated Inspection
VDC .....	Volts of Direct Current. Hodnota stejnosměrného napětí ve voltech.

V x Š x H ..... Výška x Šířka x Hloubka.  
ZČU ..... Západočeská univerzita v Plzni.  
ZTP ..... Zvlášť Těžké Postižení

# 1

## Úvod

V dnešní době se využití automobilu, jako prostředku pro každodenní cestování, stává dostupné pro stále větší počet obyvatel. Dnes není zdaleka výjimkou, že každý člen rodiny vlastní jeden automobil. Celkově v České republice registrujeme ke dni 31.12.2014 skoro pět milionů osobních automobilů [10], tedy přibližně jeden osobní automobil na dvě osoby. To je také důvod, proč velká města začínají hojně zavádět tzv. inteligentní parkovací systémy.

Asi každý student nebo pracovník ZČU se potýkal s nepříjemnou situací hledání volného místa na parkovišti před budovou Fakulty elektrotechnické. Není se čemu divit, neboť Západočeská univerzita má více než patnáct tisíc studentů a pracovníků, kteří ke své přepravě využívají mimo jiné automobily [11]. Z tohoto důvodu vznikl návrh většího projektu, jež by měl pomáhat řidičům tento problém řešit.

Většina inteligentních parkovacích systému, s nimiž se běžně setkáváme například v parkovacích domech, či parkovištích obchodních domů, je založena na principu umístění detekčních senzorů pro každé vyhrazené parkovací místo zvlášť. Tato možnost sebou mnohdy nese úpravu podkladového materiálu parkoviště, což představuje navýšení celkových nákladů na zavedení systému. Tento projekt se však snaží detekovat obsazenost parkovacích stání pomocí kamerových dat, což jistě skrývá mnoho výhod i nevýhod, jimiž se práce dále zabývá.

Celkový projekt se skládá z tří diplomových prací. Tato práce má za úkol analyzovat problematiku parkovacích stání před budovou FEL/ZČU. Dále navrhnout vhodné umístění průmyslových kamer a jejich počet pro pokrytí celého prostoru parkoviště a rozdělení této plochy do jednotlivých sektorů pro další zpracování. Ovšem zásadním bodem této práce je návrh číslíkového zpracování obrazu a vhodných detekčních metod pro lokalizaci obsazených míst na parkovišti. K návrhu těchto metod byl použit program od firmy National Instruments, *Vision Builder for Automated Inspection*. Jedná se o interaktivní software, jež má zejména v průmyslových aplikacích mnoho využití. Výhodou tohoto programu je rychle konfigurovatelný kamerový test a jeho následné vyhodnocení dle zadaných kritérií, další nespornou výhodou je podpora implementace pro různé HW konfigurace.

Plynule navazující je práce na téma *HW implementace obrazové analýzy kamerových dat z parkovacích stání*, která se zabývá snímáním statického obrazu pomocí vhodného HW a následnou implementací detekčních algoritmů. Poslední částí celého projektu je vytvoření multiplatformní mobilní aplikace. Úkolem této aplikace je komunikace se serverem a následné informování uživatele o obsazenosti parkoviště, popřípadě navigace k volnému parkovacímu stání. Téma této diplomové práce je *Mobilní aplikace určená pro inteligentní parkovací systém*.

Se zavedením závorového systému u vjezdu na parkoviště FEL/ZČU se význam tohoto projektu stává ještě aktuálnější. Je to hlavně z důvodu, kdy semafor u vjezdu sice značí zelenou barvou možnost vjezdu, tedy výskyt volného parkovacího stání. Avšak volná místa mohou být v době největší vytíženosti v řádu jednotek a jejich nalezení se stává časově náročné.

## 2

# Intelligentní parkovací systémy

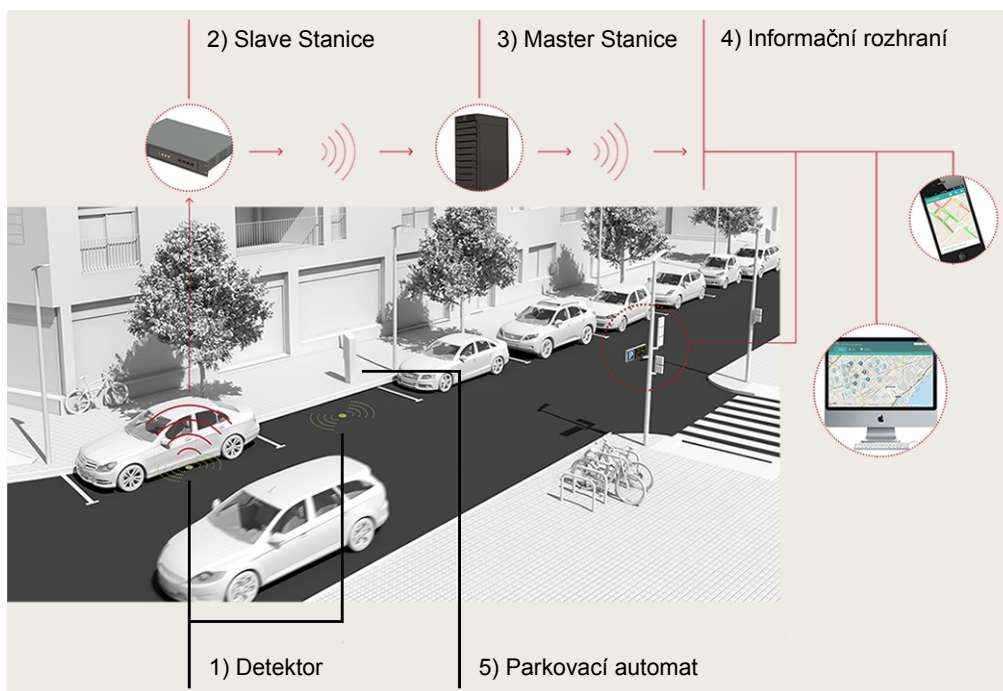
S příchodem 21. století se elektronické systémy začaly dostávat i do takových aplikací, kde bychom je v minulosti jen těžko očekávali. Rostoucí vliv elektroniky v automobilovém průmyslu zapříčinil, že se tomuto trendu začíná přizpůsobovat i prostředí, v němž se automobily pohybují. Vznikají inteligentní systémy, kde je vozidlo schopno komunikovat s jiným vozidlem, popřípadě s prostředím, ve kterém se nachází. Tyto systémy jsou již v dnešní době schopné monitorovat tvorbu kolon na komunikaci nebo upozornit řidiče na silniční uzavírky. V budoucnu se jistě toto pole působnosti rozšíří o mnoho užitečných aplikací. V testovacím provozu mnoha automobilek se objevují čistě autonomní automobily. Jejichž nasazení v reálném provozu je technicky uskutečnitelné, avšak chybí legislativní ošetření.

S nasazením elektroniky do dopravního prostředí se můžeme čím dál častěji setkávat i u tzv. chytrých parkovišť. Jedná se o inteligentní dopravní systémy, jež jsou schopny monitorovat obsazenost parkovacích stání, efektivně řidiče navigovat k volnému parkovacímu místu nebo při nebezpečných situacích nejkratší cestou ven z parkoviště. Výhodou těchto systémů je nejen informovanost řidiče, ale i významná úspora financí. Systém je plně autonomní, tzn. zvládá výběr parkovného nebo monitoring parkoviště. Tyto činnosti byly dříve vykonávány výhradně lidmi.

Většina v dnešní době instalovaných systémů funguje na podobném principu. Jedná se o soustavy detekčních zařízení, jež získané poznatky předávají dále k centrálnímu zpracování. Celý systém je plně modulární, což znamená, že je otevřený případným změnám nebo rozšířením. Základní funkcí systému je anonymní detekce obsazenosti parkovacích stání a následný online monitoring, který můžeme využít i pro dlouhodobější zpracování dat (např. vytíženost parkoviště v určitých hodinách, trend obsazování míst). Rozšířenou funkcí systému mohou být informační tabule o obsazenosti parkoviště nebo navigace k volnému parkovacímu stání, ať už pomocí webové/mobilní aplikace nebo směrových LED ukazatelů. Nepostradatelnou funkcí systému pro zpoplatněné parkoviště, je pak možnost platby bankovními či městskými kartami nebo např. mobilním telefonem.

## 2.1 Popis systému

Inteligentní parkovací systém se skládá z více funkčních bloků, některé z těchto bloků jsou pro funkci systému nezbytně nutné, jiné jsou volitelné podle typu aplikace (Obr. 2.1). V následující části této diplomové práce bude popsána funkčnost jednotlivých článků detekčního řetězce.



**Obr. 2.1:** Inteligentní parkovací systém |Převzato z [12]|

### 1. Detektor

Detektor je nezbytnou součástí inteligentních parkovacích systémů. Vyhodnocuje obsazenost jednotlivého parkovacího stání. Detektory lze rozlišit podle jejich umístění, pro každé parkovací místo jeden detektor (indukční, magnetické, ultrazvukové...) nebo pro více parkovacích míst jeden detektor (IP kamera). Dále pak dle umístění detektoru pod nebo nad povrchem vozovky. Instalace podpovrchového senzoru (Obr. 2.2) se provádí vývrtem do vozovky a následným zacelením asfaltovou směsí, takovéto umístění detektoru je vhodné z hlediska předcházení vandalismu. Náklady na jeho instalaci jsou však vyšší oproti instalaci senzoru na povrchu (Obr. 2.3). Ta se provádí pomocí lepení nebo šroubování k vozovce. Popisu jednotlivých typů detektorů a jejich výhod a nevýhod se věnuje následující kapitola.





**Obr. 2.2:** Instalace a výsledné provedení podpovrchového detektoru |Převzato z [13],[14]|



**Obr. 2.3:** Instalace a výsledné provedení povrchového detektoru |Převzato z [15]|

## 2. Slave stanice

Každý detektor po vyhodnocení obsazenosti místa komunikuje se slave stanicí. Tato komunikace probíhá ve většině případů bezdrátově, pomocí rádiového spojení. Napájení je zajištěno pomocí solárních panelů a baterií nebo klasicky z rozvodné sítě. Každá slave stanice má jasně určenou oblast detektorů, o jejichž obsluhu se stará. Zpravidla se jedná o přibližně 20 detektorů. Tyto stanice bývají nejčastěji umístěné na sloupech veřejného osvětlení nebo jinde v blízkosti detektorů.

## 3. Master stanice

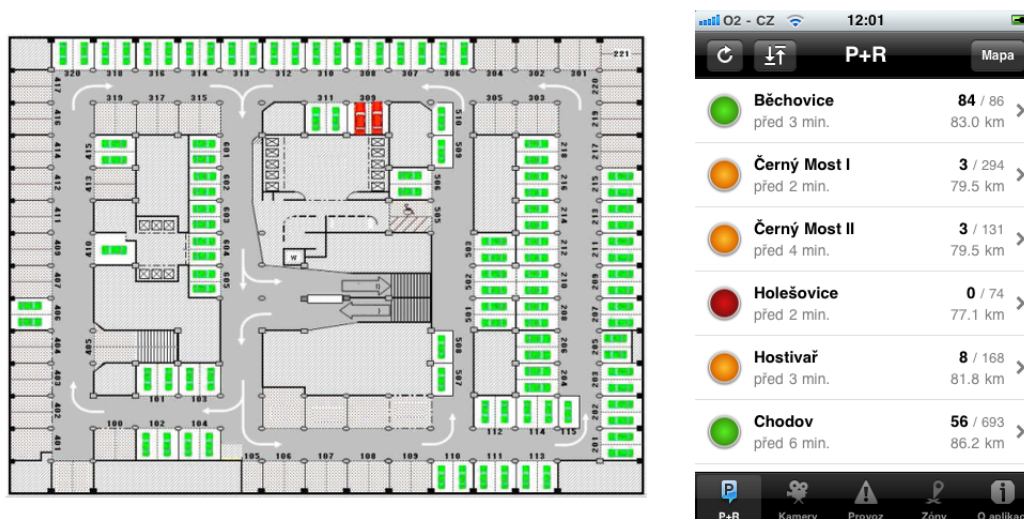
Master stanice se stará o příjem dat ze všech slave stanic a jejich následné zpracování. Takto zpracovaná data dále přeposílá na centrální server, jež zajišťuje vizualizaci obsazenosti parkovacích stání pro webové a mobilní aplikace. Samotná master stanice komunikuje také s lokálním proměnným dopravním značením. Poloha master stanice bývá zpravidla uprostřed parkovací plochy, aby vzdálenosti k jednotlivým slave stanicím byly rovnoměrné.

#### 4. Informační rozhraní

Za informační rozhraní můžeme považovat všechny prostředky, které se snaží řidiči předat informace o obsazenosti parkoviště. Mezi tato rozhraní řadíme lokální informační tabule a navigační LED tabule (Obr. 2.4), jejichž funkce je ryze informativní. Dále pak webové nebo mobilní aplikace (Obr. 2.5), které neslouží pouze k informování řidiče, ale i k jeho interakci s parkovištěm. Uživatel je schopen si pomocí těchto aplikací např. rezervovat parkovací stání na určitou hodinu nebo provést platbu za jeho využití.



Obr. 2.4: Provedení informačních a navigačních tabulí |Převzato z [16],[17]|



Obr. 2.5: Příklad rozhraní webové a mobilní aplikace |Převzato z [18],[19]|

## 5. Parkovací automat

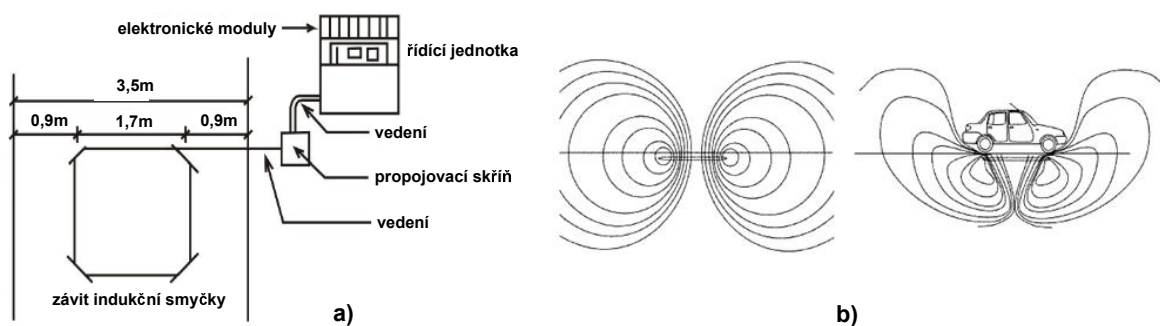
Parkovací automat slouží k výběru parkovného a je tedy volitelným prvkem inteligentního parkovacího systému. Umožňuje řidičům platit pomocí elektronických karet nebo mobilní aplikace. Nespornou výhodou je platba pouze za strávený čas na parkovišti. Při odjezdu na automatu pouze zvolíme místo, které jsme využili a automat sám dopočte cenu podle informací z detektoru. Odpadá zde předplácení si parkovacího místa dopředu na určitý čas, jež odhadujeme, že na parkovišti strávíme. Jak to funguje u běžných parkovacích automatů ve městech.

## 2.2 Detektory přítomnosti vozidla

Detektory přítomnosti vozidla jsou elektronická zařízení, jež pomocí senzorů provádí měření obsazenosti jednotlivých parkovacích stání. Detektory se dále dělí na *destruktivní* a *nedestruktivní*, podle toho jestli je k jejich instalaci nutný zásah do podkladové vrstvy parkoviště. Na každý instalovaný detektor jsou kladeny jisté požadavky v závislosti na prostředí, v kterém bude provozován. U většiny aplikací je požadováno krytí dle normy IP44 a deklarovaná funkčnost detektoru v teplotním rozmezí od -40 do 80 °C. Životnost povrchového, destruktivního detektoru musí být alespoň 8 let a u povrchového alespoň 3 roky, s možností výměny akumulátoru. Podle způsobu detekce se detektory dělí na **indukční**, **magnetické**, **ultrazvukové**, **optické** aj.

- **Indukční smyčky**

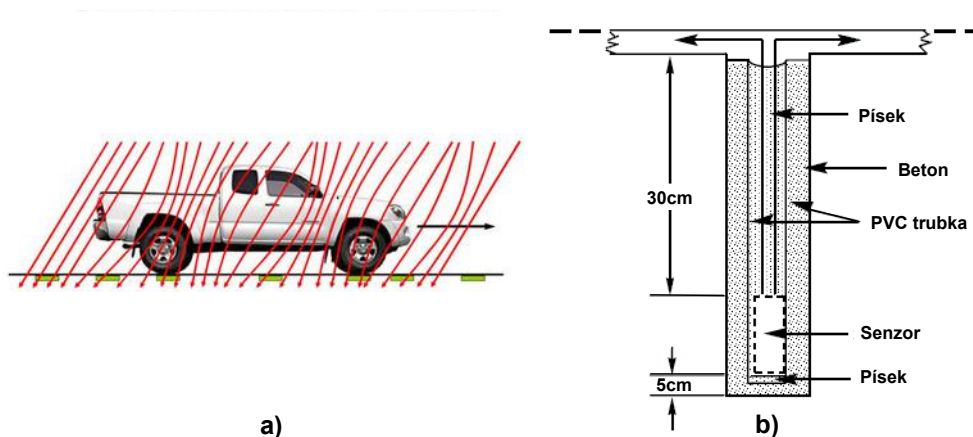
Indukční smyčky jsou nejběžnějším typem dopravního detektoru v České republice. Umísťují se výhradně pod povrchem vozovky. Tento detektor se skládá z jednoho nebo více závitů indukční smyčky, propojovací skříně a řídicí jednotky (Obr. 2.6a). Kabelový vodič, jež vytváří závity indukční smyčky, se umísťuje v hloubce 30-60 mm pod povrchem vozovky. Při umístění níže snížíme citlivost detekce. Smyčku si můžeme představit jako vzduchovou cívku, která je napájena z oscilátoru o frekvenci 20-150 kHz. Kolem závitů se tvoří homogenní magnetické pole. Přítomností kovové karoserie automobilu dochází k narušení tohoto pole a tím i ke změně indukčnosti cívky (Obr. 2.6b). Tato změna vyvolá pokles amplitudy, posuv fáze a navýšení kmitočtu oproti stavu, kdy vozidlo nebylo přítomno na parkovacím stání. Detektor pak vyhodnocuje jednu nebo více změn. Z principu detekce vyplývá, že materiál vozovky by neměl být elektricky vodivý. Pro přesnější detekci je nutné vyvarovat se dlouhým přírodním kabelům z hlediska jejich nezanedbatelné indukčnosti, která je v sérii s indukčností cívky. Hlavními výhodami pro použití indukční smyčky jsou nízká cena, přizpůsobitelná konstrukce a možnost klasifikace získaných dat (osobní automobil x nákladní automobil). Nevýhodou je pak omezená funkce u vozovek s železobetonovou konstrukcí.



**Obr. 2.6:** Indukční smyčky a) schéma detektoru [Převzato z [20]] b) narušení mag. pole přítomností vozidla [Převzato z [21]]

• **Magnetometry**

Magnetometr je destruktivní dopravní detektor, který měří vertikální a horizontální složky magnetického pole Země. V případě, že se vozidlo nachází v měřené oblasti, dochází k zvýšení hustoty siločar magnetického pole (Obr. 2.7a). Kovová karoserie zdeformuje siločáry tak, aby procházely co nejvíce skrz vozidlo. Magnetometr je složen z jedné nebo více válcových sond, které mají v průměru 5-11cm a jsou zapuštěny navrtáním do vozovky v hloubce 30cm (Obr. 2.7b). Sondy jsou spojeny přívodním kabelem s propojovacím boxem. Dále pak signál ze senzoru směřuje do řídicí jednotky. Tyto detektory mají omezené použití v oblasti rovníku, kde je malý náklon siločar. Ve srovnání s indukčními smyčkami jsou více mechanicky odolné a vyžadují menší zásah do vozovky při instalaci.

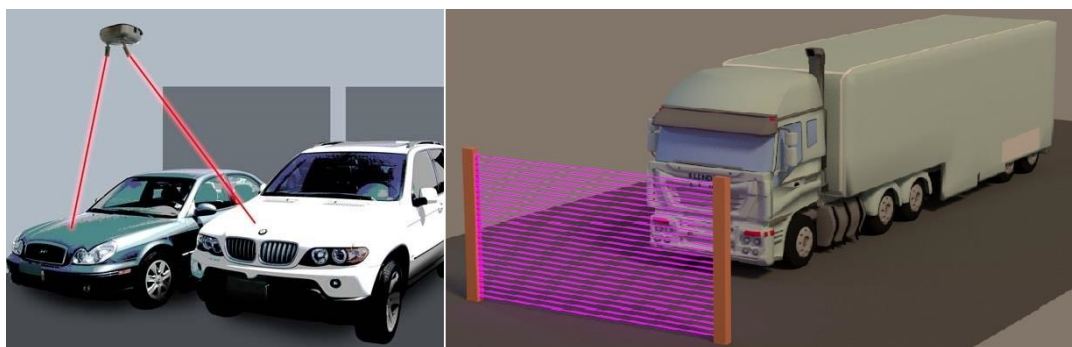


**Obr. 2.7:** Magnetometr a) deformace siločar způsobená přítomností vozidla [Převzato z [22]] b) sonda [Převzato z [23]]



• **Optické detektory**

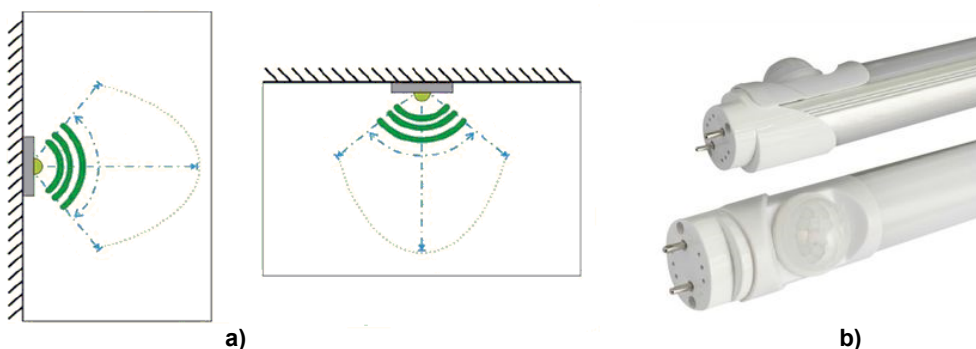
Tento typ detektoru vysílá optický (infračervený nebo laserový) paprsek a následně vyhodnocuje jeho příjem. Principiálně se jedná o optické závory, u kterých dojde vlivem přítomnosti vozidla k přerušení toku paprsku a tím k detekci obsazenosti určitého parkovacího stání (Obr. 2.8). Umístění těchto detektorů je nedestruktivní a lze ho volit jak ve vertikální tak v horizontální poloze. Vertikální poloha detektoru má výhodu v možnosti měření výšky vozidla, která může být využita k určení typu vozidla. Nevýhodou těchto detektorů je náchylnost na změny počasí, proto je jejich uplatnění výhradně omezeno na kryté parkovací prostory.



Obr. 2.8: Principy optické detekce vozidel |Převzato z [26],[27]|

• **PIR detektory**

Již z názvu vyplývá, že u tohoto typu detektoru nedochází k žádnému vyzařování. Pasivní infračervený detektor funguje na principu pyroelektrického jevu, detekuje změnu teploty (tepelné energie) při příjezdu vozidla. Při změně hodnoty dopadajícího infračerveného záření na povrch pyroelektrického materiálu, dojde ke změně elektrického povrchového náboje. Pyroelektrický snímač pracuje ve velkém rozsahu vlnových délek, proto je nutná aplikace filtru pro námi zvolené vlnové délky. Stejně jako u optických detektorů není nutný zásah do vozovky a lze zvolit jak boční tak stropní umístění detektoru (Obr. 2.9).



Obr. 2.9: PIR detektor a) umístění |Převzato z [24] b) integrace do LED osvětlení parkoviště |Převzato z [25]|

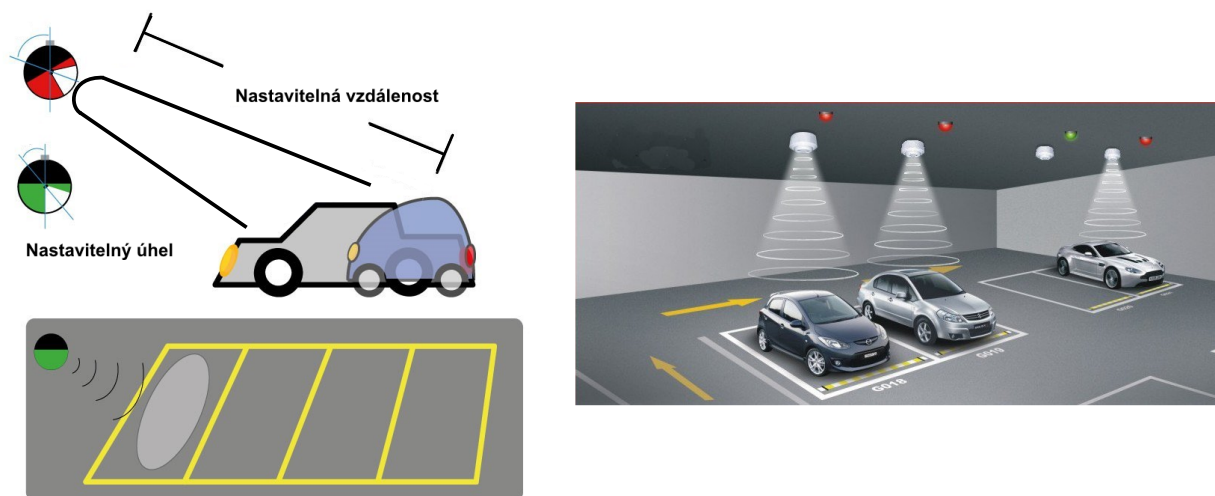
• **Ultrazvukové detektory**

S ultrazvukovými detektory se můžeme setkat nejčastěji v podzemních garážích a parkovacích domech. Je to zapříčiněno tím, že tyto prostory mají relativně stálou teplotu prostředí a nedochází zde k nepříznivým podmínkám vlivem změny počasí (vítr, déšť, mlha). Detekce volných parkovacích míst spočívá v pravidelném vysílání ultrazvukových vln a jejich následném příjmu po odrazu od překážky (Obr. 2.10). Měří se čas mezi vysláním a příjmem, ten je následně převeden na vzdálenost. I tento druh detekce umožňuje klasifikaci zaparkovaných vozidel, při stropním umístění detektoru. Šíření zvuku je závislé na teplotě vzduchu (rov. 2.1). Proto je nutné tento fakt vzít na vědomí a pro přesnou detekci začlenit do měřicí smyčky také teploměr.

$$v = 331,82 + 0,61 \cdot t \quad [m \cdot s^{-1}] \tag{2.1}$$

kde:

$v$  - rychlost zvuku v prostředí  
 $t$  - teplota prostředí



**Obr. 2.10:** Umístění ultrazvukového detektoru |Převzato z [28],[29]|

• **Videodetekce**

Posledním způsobem je tzv. videodetekce, která byla využita pro analýzu obsazenosti parkoviště ZČU/FEL (Obr. 2.11). Jedná se o digitalizaci statického obrazu, kde je nutné nejdříve neupravený obraz předzpracovat (přizpůsobit detekčním metodám). Následně pak pomocí vhodného SW definovat virtuální smyčky, jejichž poloha koresponduje s umístěním parkovacích stání v obraze. Právě v oblasti těchto smyček se aplikují jednotlivé detekční metody. Tento způsob detekce má jistě nespornou

výhodu právě ve variabilitě celého systému. IP kameru, jež se stará o snímání parkoviště je vhodné umístit na vyvýšené místo, nejčastěji sloupy veřejného osvětlení či okolní budovy. Není tedy potřeba jakýkoliv zásah do vozovky. Naopak nevýhodou je závislost celého detekčního systému na viditelnosti kamery, která se může při nepříznivém počasí zhoršit (mlha, sněhová pokrývka, hustý déšť).

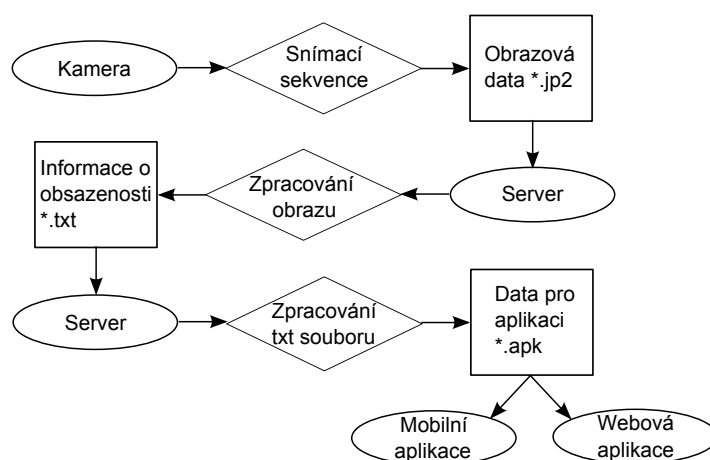


**Obr. 2.11:** Videodetekce |Převzato z [40]|

### 3

## Parkoviště FEL/ZČU

Z důvodu velké vytíženosti parkoviště před budovou FEL/ZČU se začalo uvažovat o projektu, jež by pomohl k lepší orientaci řidičů při hledání volných parkovacích stání (Obr. 3.1). Tento problém se ještě více prohloubil s instalací závor u vjezdu na parkoviště (Obr. 3.2, sektor Z). Princip tohoto zařízení spočívá v identifikaci řidiče pomocí JIS karty, jež slouží pro otevření závory. Následným průjezdem vozidla dojde k jeho započtení do momentální obsazenosti parkoviště. Pokud je kapacita parkoviště naplněna, systém automaticky změní barvu na vstupním semaforu ze zelené na červenou. V tomto případě už není umožněn vjezd na parkoviště dalšímu vozidlu. Výjimkou je vjezd na povolení, jež lze získat domluvou po intercomu s vrátnicí FEL/ZČU. Na výjezdu z parkoviště je umístěna indukční smyčka (Obr. 2.6), která detekuje kovovou karosérii vozidla a následně dochází k otevření závory a odečtení jednoho zaparkovaného vozidla z celkové obsazenosti parkoviště. Při plném obsazení parkoviště dochází ke změně barvy semaforu z červené na zelenou. Posledně zmíněný případ je jeden z hlavních důvodů myšlenky na realizaci systému pro detekci volných parkovacích stání. Neboť při celkovém počtu 234 parkovacích stání na parkovišti (za závorami) před budovou FEL/ZČU, je velmi časově a psychicky náročné hledání právě toho jediného volného.



Obr. 3.1: Blokový diagram realizace projektu usnadňujícího parkování

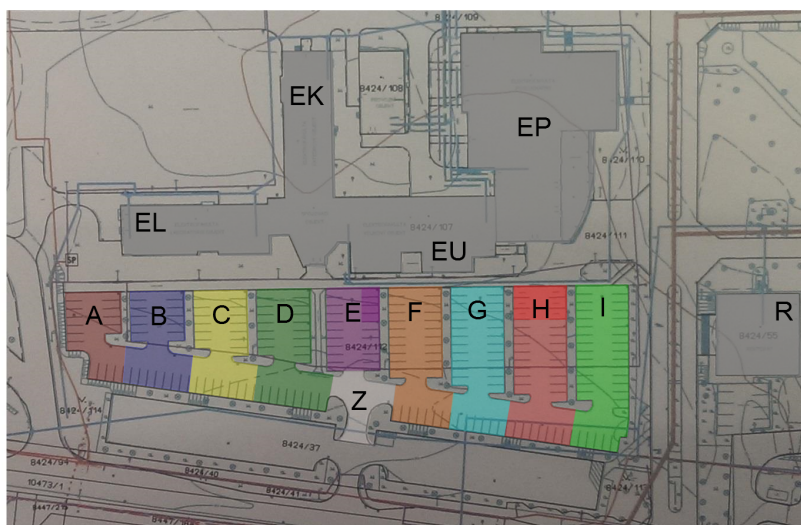


### 3.1 Obrazová mapa parkovacích míst

Po zvážení ekonomických hledisek a časové náročnosti realizace projektu byla jako nejlepší varianta zvolena videodetekce (Obr. 2.11). S tímto rozhodnutím přišlo několik problémů, jež bylo před následnou realizací nutno vyřešit. Prvním z těchto problémů bylo rozdělení parkoviště do příslušných sektorů pro lepší navigaci a s tím související vhodné umístění kamer, tak aby bylo zaručeno pokrytí celého parkoviště. Po zralé úvaze bylo navrženo devět parkovacích sektorů A-I (Obr. 3.2). Kromě sektoru E se všechny ostatní skládají z dolní a horní skupiny parkovacích stání. U sektorů E a H jsou zvýrazněné menší oblasti. Tyto oblasti jsou vyhrazeny v sektoru E pro zaměstnance děkanátu FEL/ZČU (4 místa) a v sektoru H pro držitele průkazu ZTP (6 míst) (Tab. 3.1).

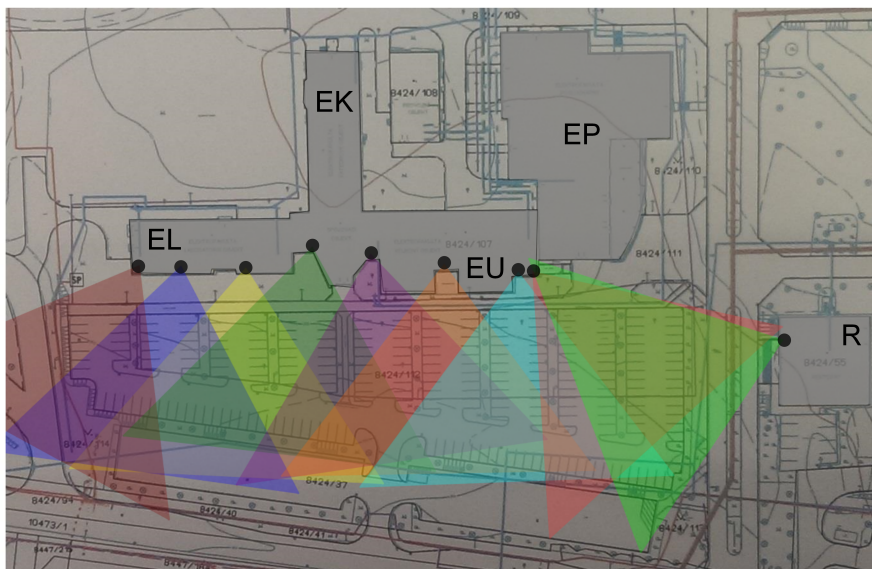
Sektor	Počet parkovacích míst
A	35
B	27 + 6
C	32
D	29
E	16 + 4
F	26
G	23
H	20
I	16
Celkem	234

Tab. 3.1: Počet parkovacích míst v jednotlivých sektorech A-I



Obr. 3.2: Rozdělení parkovacích míst do sektorů A-I

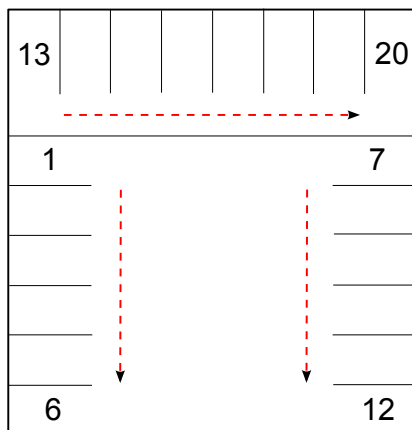
Každý z těchto sektorů bude snímat samostatná kamera, pravděpodobně VIVOTEK IP8355EH (Obr. 3.6). Fyzické umístění těchto kamer nebylo v rámci diplomové práce realizováno, neboť v době sepsání nebyly kamery k dispozici. Návrh na umístění kamer byl vypracován s ohledem na co nejlepší pokrytí parkoviště. S tím, že překrývání zorných polí jednotlivých kamer je velkou výhodou pro následné rozhodování o obsazenosti daného parkovacího stání. Jelikož u nerozhodných případů bude možné aplikovat detekční metody ve dvou pohledech na danou situaci, což dopomůže k zpřesnění výpočtu. Pro budoucí umístění kamer byla zvolena střecha budovy FEL/ZČU, především její část s laboratořemi (EL) a učebnami (EU). Jak je vidět z příloženého návrhu rozmístění kamer (Obr. 3.3), sektory H a I jsou snímány pouze jednou kamerou z části EU. To je zapříčiněno tím, že část v níž se nachází přednáškové sály (EP) je nižší a z její střechy by nebyl dostatečný výhled. Z tohoto důvodu bylo navrženo umístit jednu kameru na střechu rektorátu ZČU (R) pro lepší kontrolu nad sektorem I. V návrhu (Obr. 3.3) je počítáno s maximálním horizontálním zorným úhlem kamer 80°.



**Obr. 3.3:** Pokrytí jednotlivých sektorů parkoviště kamerami

K nasnímání testovacích obrazových dat pro detekční algoritmy byla využita kamera Basler Ace acA1300-30gc (Obr. 3.5). Jelikož se nejedná o venkovní kameru, snímání probíhala z pátého patra budovy FEL/ZČU, přesněji z laboratoře EL511. Z tohoto místa lze dobře pokrýt sektor B, proto jsou všechny následné metody předzpracování a detekce volných parkovacích míst aplikovány právě v tomto prostoru. Číslování parkovacích míst jsem zvolil podle následujícího schématu (Obr. 3.4). Snímání probíhalo sekvenčně v deseti sekundových intervalech, vždy po dobu přibližně jedné hodiny. Pro získání adekvátních obrazových dat proběhla 4 snímání. Bohužel se nepodařilo nasnímat sektor v době sněhové pokrývky, neboť klimatické podmínky nebyly příznivé a souvislá vrstva sněhu nevydržela nikdy déle než jeden pracovní den. Druhým důvodem byla nemožnost stálého umístění

kamery v laboratoři EL511, jelikož kamera byla využita i v jiných projektech. Ve výsledku bylo nasnímáno přibližně 1200 snímků, z nichž byla vybrána množina sta snímků pro otestování detekčních algoritmů. Z průběhu testovací množiny detekčními algoritmy bylo sestřiháno názorné video, které je součástí příloženého CD (Příloha.D).



Obr. 3.4: Princip číslování parkovacích míst v sektoru

### 3.2 Popis kamery

Kamera Basler Ace acA1300-30gc (Obr. 3.5) je určena především pro aplikace strojového vidění. Díky připojení pomocí gigabitového Ethernetu, lze kameru použít ve stávající síťové infrastruktuře i na větší vzdálenosti. Pro potřebu připojení více kamer k jednomu počítači, lze využít aktivních síťových prvků. Tato funkce bude využitelná při pokrytí všech sektorů parkoviště FEL/ZČU více kamerami. U kamery lze také využít napájení po Ethernetu (PoE), bez nutnosti vést napájecí napětí k přístroji samostatným přívodním kabelem. U kamery z řady Basler Ace jsou mimo jiné podporovány standardy GenICam a GigE Vision, lze ji tedy využít ve většině programů pro záznam a zpracování obrazu (Tab. 3.2).



Obr. 3.5: Kamera Basler Ace acA1300-30gc |Převzato z [36]|

Rozlišení (V x H)	1296 x 966 px
Snímací frekvence	30 fps
Velikost senzoru	1/3"
Druh senzoru	Progressive Scan CCD
Komunikační rozhraní	GigE
Napájení	12 VDC nebo PoE
Spotřeba	2 - 3 W
Rozměry (V x Š x H)	60,3 x 29 x 29 mm
Hmotnost	90 g

**Tab. 3.2:** Specifikace kamery Basler Ace acA1300-30gc |Převzato z [36]|

Do budoucna se uvažuje s nákupem venkovních IP kamer pro pokrytí celé parkovací plochy. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce byla vybrána kamera VIVOTEK IP8355EH (Obr. 3.6). Tato kamera je díky svému vodě (IP67) a prachu odolnému krytu ideální pro venkovní použití. Pro zvýšení kvality obrazu i při špatných světelných podmínkách, je kamera osazena integrovaným IR přísvecením až do vzdálenosti třiceti metrů a automatickým zaostřením obrazu. Ukládání snímaných dat je možné realizovat na vloženou microSD kartu. Další výhodou této kamery je její konektivita. Zařízení zvládá komunikaci s FTP serverem, ale i SMTP komunikaci pomocí emailu, jenž může obsahovat snímek nebo krátký záznam z kamery. Velké množství způsobů komunikace u této kamery hrálo při výběru zásadní roli, neboť pro bezchybnou funkci celého systému je právě variabilita komunikace zásadní (Tab. 3.3). Neméně zásadní pro pokrytí celého parkoviště s co nejmenším počtem použitých kamer je i úhel, pod kterým je kamera schopna snímat. Vybraná kamera dosahuje maximálního horizontálního úhlu 80°. Deklarovaná funkčnost kamery je pro teplotní rozmezí -50 - 50°C.



**Obr. 3.6:** Kamera VIVOTEK IP8355EH |Převzato z [37]|

Rozlišení (V x H)	1280 x 1024 px
Snímací frekvence	30 fps
Velikost senzoru	1/3"
Druh senzoru	Progressive CMOS
Komunikační rozhraní	RJ-45 10 Base-T / 100BaseTX Ethernet
Napájení	12 VDC, 24 VDC nebo PoE
Spotřeba	11 - 30 W
Rozměry (V x Š x H)	85 x 85 x 219 mm
Hmotnost	1911 g

**Tab. 3.3:** Specifikace kamery VIVOTEK IP8355EH |Převzato z [37]|

### 3.3 Software použitý pro analýzu volných parkovacích míst

Pro předzpracování obrazu a následné použití detekčních metod byl využit software od firmy *National Instruments*. Hlavní část diplomové práce byla realizována pomocí programu *Vision Builder for Automated Inspection*, který je speciálně zaměřen na digitální zpracování obrazových dat. Tento program obsahuje více než 100 různých nástrojů pro využití v aplikacích strojového vidění. Těmito nástroji jsou např. vyhledávání geometrických tvarů v obraze, optické rozeznávání znaků (OCR) a další metody které jsou schopné lokalizovat, spočítat, změřit, identifikovat nebo jinak klasifikovat vybrané objekty. Dále lze snímat obraz pomocí připojené kamery. Podporuje všechny běžné sběrníkové standardy pro připojení zařízení pro snímání obrazu (USB, GigE, IEEE 1394). Umožňuje také komunikaci se vzdálenými zařízeními, jako jsou FTP servery nebo PLC integrované systémy. Komunikace může probíhat pomocí protokolů Ethernetu nebo po sériové lince.

Druhým využitým programem je *NI Vision Assistant*, který rozšiřuje paletu použitelných nástrojů ve VBAI o matematické operace nebo morfologické transformace. Pomocí tohoto programu byla také pořízena testovací množina obrazových dat parkovacích stání. Výhodou výše uvedených programů je možnost spolupráce s univerzálním programovacím jazykem LabVIEW a následné využití multiplatformní otevřené knihovny pro práci s obrazem, OpenCV. Tato knihovna je zaměřena především na zpracování obrazu v reálném čase.

Pro zachycení průběhu vyhodnocování byl použit program *CamStudio*, jehož výstup byl upraven na výslednou videosekvenci (Příloha.D) pomocí programu *Movie Maker*.

První věcí při tvorbě inspekce je návrh stavového automatu, jež reprezentuje námi řešenou úlohu (Příloha. A). Každý stav v tomto automatu obsahuje jednotlivé funkční bloky zpracování obrazu. Tyto bloky se liší podle funkčnosti každého stavu. Funkčnost každého stavu a jím obsažených bloku bude popsána v následujících kapitolách o předzpracování obrazu a detekčních metodách.



# 4

## Předzpracování obrazu

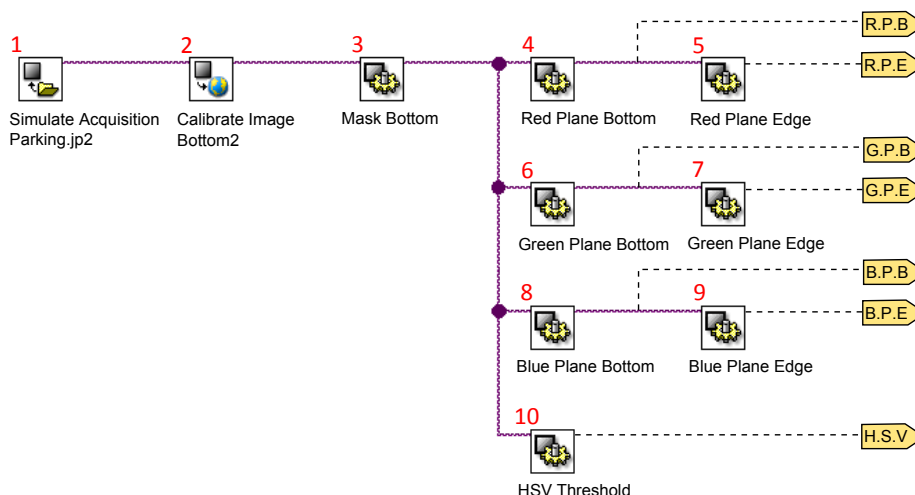
Pomocí kamery (Obr. 3.5) je snímán obraz (Obr. 4.1) o poměru stran 4:3, jehož rozlišení je 1280x960 (SXGA-). Tento obrázek je dále uložen ve formátu *JPEG2000*, který umožňuje při stejném kompresním poměru lepší kvalitu než formát *JPEG*. Před následným použitím detekčních metod je nutné tento obraz předzpracovat. Do předzpracování řadíme geometrickou transformaci vybraného obrazu, úpravu jeho barevných složek a jasu. Dále pak maskování nechtěných ploch obrazu, zvýraznění hran objektů a mnoho dalších metod. Snímaná část parkoviště (Obr. 4.1) byla rozdělena na dolní a horní sekci parkovacích míst a byly zde aplikovány následující metody předzpracování obrazu.



Obr. 4.1: Neupravený obraz získaný přímo z kamery

## 4.1 Dolní skupina parkovacích stání

Posloupnost jednotlivých metod předzpracování obrazu u dolní skupiny parkovacích stání vyjadřuje blokový diagram (Obr. 4.2). Žluté šipky charakterizují výstupy jednotlivých metod. Tyto výstupy jsou dále využity při aplikaci detekčních metod.



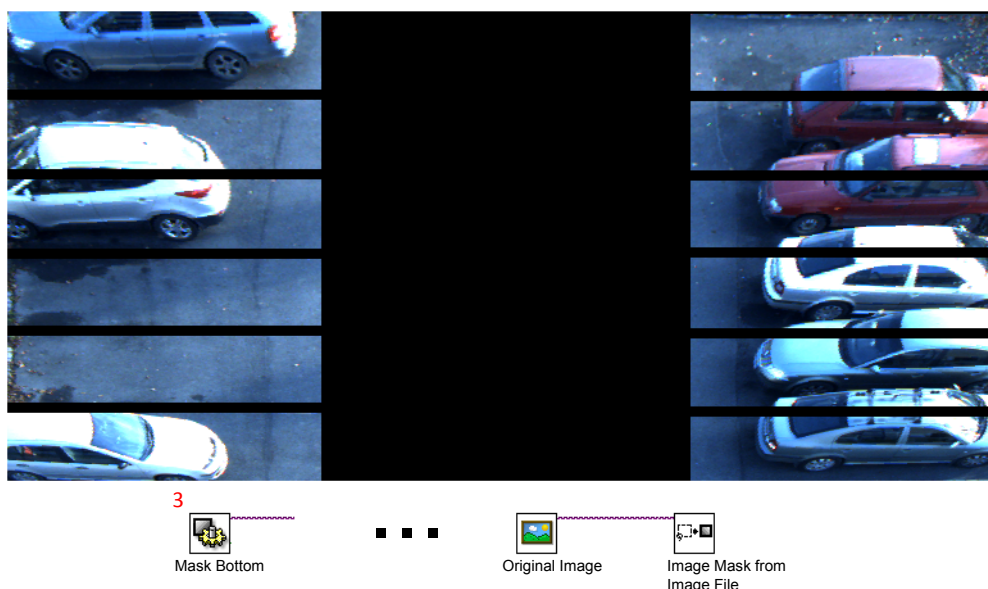
**Obr. 4.2:** Blokový diagram předzpracování dolní skupiny parkovacích stání

Pro načtení obrazu, ve kterém chceme detekovat volná parkovací stání, použijeme blok *Simulate Acquisition* (Obr. 4.2, blok č.1). Následuje geometrická kalibrace, kterou znázorňuje blok *Calibrate Image* (Obr. 4.2, blok č.2). V tomto kroku dochází k transformaci plochy dolních parkovacích stání z lichoběžníku (úhlové zkreslení kamery) na obdélník. Ve výsledku je dosaženo toho, že každé parkovací místo má stejné rozměry i plochu. Tento efekt je velmi výhodný pro následné použití detekčních metod. Celá transformace je založena na umístění čtyř bodů do rohů vybrané oblasti a získání souřadnic těchto bodů. Následuje pak transformace těchto bodů do reálných souřadnic, jež jsou určeny právě tak, aby tvořili obdélník (Obr. 4.3).



**Obr. 4.3:** Geometrická transformace dolní skupiny parkovacích stání

Dalším blokem je *Mask Bottom* (Obr. 4.2, blok č.3), který umožňuje využití funkcí z programu *NI Vision Assistant*. Tento program nabízí spoustu možností k úpravě obrazu. Jednou z nich je blok *Image Mask*, který slouží k vymaskování oblasti, jež není pro naši analýzu nezbytně nutná. Maskování funguje na principu přeložení dvou obrázků přes sebe. Jeden je podkladový námi geometricky transformovaný obrázek a druhý je maska (Příloha.D). Maska je tvořena dvoubitovou mapou, černá oblast znázorňuje plochy, které budou vymaskovány (Obr. 4.4).

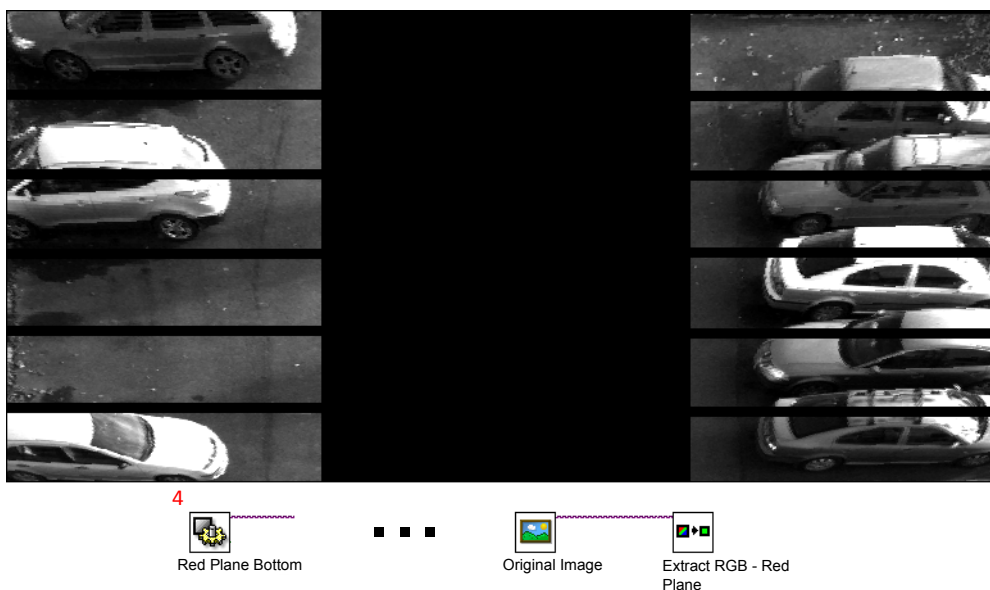


**Obr. 4.4:** Aplikace masky na dolní skupinu parkovacích stání

Nyní následuje sekce dvou bloků *Red Plane Bottom* (Obr. 4.2, blok č.4) a *Red Plane Edge* (Obr. 4.2, blok č.5), která se bude opakovat pro všechny tři barvy z barevného modelu RGB. Proto bude tato sekce popsána pouze pro první vybranou barvu a to červenou, princip se pro následující dvě barvy (zelenou a modrou) nijak neliší (Obr. 4.2, blok č.6-9). V bloku *Red Plane Bottom* se využívá *Vision Assistantu* pro extrahování pouze červené složky z obrázku. Pro tuto činnost je zde blok *Extract RGB*, v němž zvolíme **extract red plane** (Obr. 4.5).

Druhý blok *Red Plane Edge* v této sekci má za úkol zvýraznit hrany zaparkovaných vozidel. Nejdříve je obrázek vyfiltrován pomocí vyhlazovacího mediánového filtru (*Smoothing-Median*) o velikosti 7x7 pixelů (Obr. 4.6a). Tímto filtrem docílíme odstranění náhodného impulzního šumu, zejména pokud se jedná o šum typu **salt and pepper** s velkými rozdíly v jasů. Mediánový filtr pracuje s čtvercovým okolím každého pixelu, většinou o lichém počtu prvků. Lichý počet prvků proto, že jasové hodnoty vybraného pixelu a pixelů okolních jsou seřazeny vzestupně a vybírá se prostřední hodnota jasu. Pro názorné pochopení funkčnosti mediánového filtru uvádím příklad na matici s rozměry 3x3 (rov. 4.1).





**Obr. 4.5:** Dolní sekce parkovacích stání po extrakci pouze červené složky

$$f(i, j) = \begin{pmatrix} 129 & 135 & 115 \\ 117 & 127 & 135 \\ 125 & 122 & 119 \end{pmatrix} \tag{4.1}$$

Vzestupným seřazením prvků matice (rov. 4.1) dostaneme posloupnost [115, 117, 119, 122, 125, 127, 129, 135, 135]. Prostředním prvkem je tedy jasová hodnota 125.

Druhým krokem je detekce hran vozidel. Hrana je definována jako změna jasové funkce. Největší hodnota této změny (derivace) je ve směru kolmém na hranu. Tato derivace je aproximována pomocí konvoluce s vhodným operátorem. Zde je využit Sobelův operátor, který je zastoupen blokem *Edge Detection-Sobel*. Sobelův operátor je charakterizován maticí 3x3 pro 8 směrů. Směr je udáván podle světových stran. První tři konvoluční masky (rov. 4.2) v pořadí *sever*, *severovýchod*, *východ*, následující lze snadno získat pootočením. V našem případě byla použita první konvoluční maska pro severní směr. Největší váha je dána centrální buňce, čímž by mělo docházet k snadnější lokalizaci hran (Obr. 4.6b).

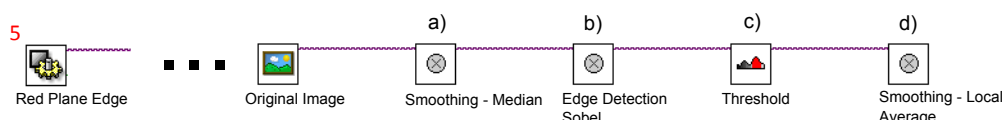
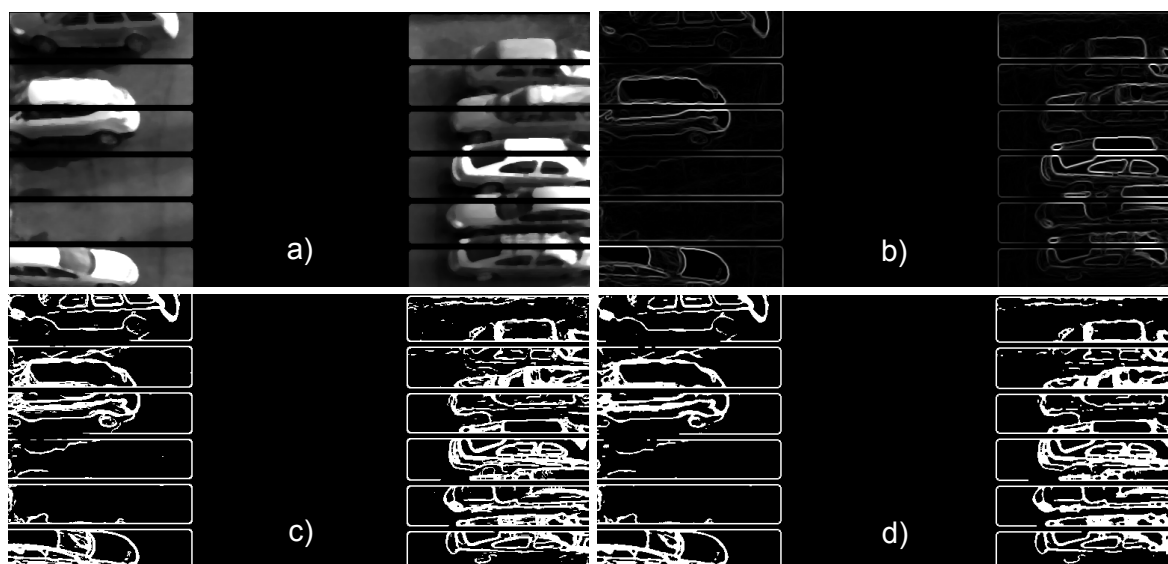
$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{4.2}$$

Následuje blok *Threshold*, ve kterém dochází k manuálnímu prahování, čímž je dosaženo zvýraznění hran (Obr. 4.6c). Prahováním obecně dochází k rozdělení vstupu do dvou skupin, podle hodnoty prahu (rov. 4.3). Hodnota prahu (10) byla zvolena empiricky na základě jasového histogramu, neboť u automatických metod prahování nebylo dosaženo uspokojivých výsledků. Práh lze určit jako jednu hodnotu, pak je výsledný obraz binární nebo pro každou barevnou složku zvlášť.

$$f(x) = \begin{cases} A, & \text{pro } x < \text{práh} \\ B, & \text{pro } x \geq \text{práh} \end{cases} \quad (4.3)$$

Posledním blokem v této sekce je výstupní vyhlazovací filtr, tentokrát typu Local Average (*Smoothing - Local Average*). Funkce tohoto filtru je založena na nahrazení jasové hodnoty každého pixelu průměrnou hodnotou jasové hodnoty pixelů v jeho okolí, včetně sebe samého. Stejně jako ostatní konvoluční filtry, je i tento založen na jádře, které reprezentuje tvar a velikost jeho okolí. Čím větší je zvolené jádro, tím větší je míra vyhlazení. V našem případě bylo zvoleno jádro o velikosti 3x3 pixely (rov. 4.4). Následkem použití tohoto filtru dochází k odstranění šumu vzniklého po prahování (Obr. 4.6d).

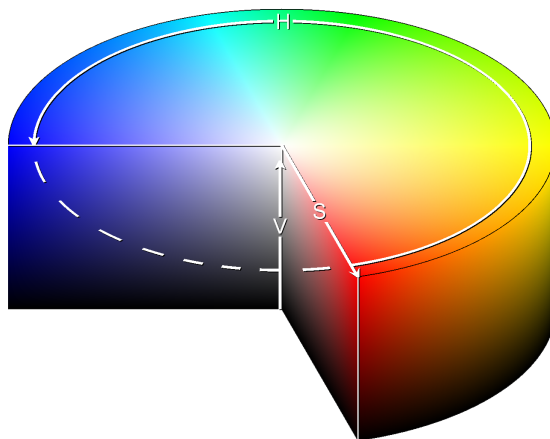
$$\begin{pmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{pmatrix} \quad (4.4)$$



**Obr. 4.6:** Detekce hran vozidel pro dolní parkovací stání

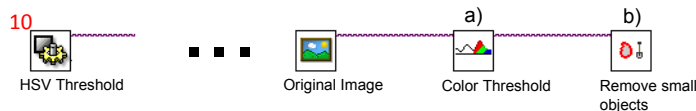
Poslední zbývající metodou v předzpracování sekce dolních parkovacích stání je *HSV Threshold* (Obr. 4.2, blok č.10). Toto prahování je založeno na barevném modelu HSV. Jako vstupní data tedy slouží transformovaný obraz se všemi složkami barevného modelu RGB (Obr. 4.4). HSV barevný model se skládá ze tří složek: H-Hue(Barevný tón), S-Saturation(Sytost barvy) a V-Value(Hodnota jasu) (Obr. 4.7). Princip prahování je opět založen na rovnici (rov. 4.3), ovšem zde jsou zvoleny 3 prahy, pro každou složku barevného modelu jedna. Z důvodu velké barevné odlišnosti parkujících vozidel, nelze toto prahování

založit na složkách barevného tónu ani sytosti barvy, proto jsou zde hranice prahu nastaveny pro celý rozsah (0-255). Hodnota jasu však umožňuje odlišit vozidla od podkladu, proto zde byl empiricky podle jasového histogramu zvolen rozsah (200-255). Výstupem je opět binární znázornění tohoto prahování (Obr. 4.8a).



Obr. 4.7: HSV barevný model [Převzato z [39]]

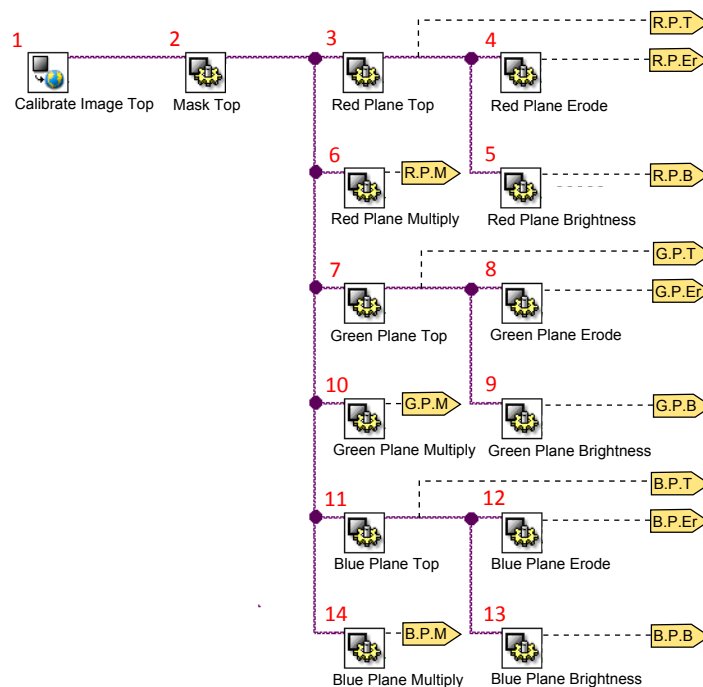
Druhým blokem v této sekci *NI Vision Assistantu* je metoda *Remove small obejcts*. Tato metoda je založena na vyhledání spojitě oblasti v binárním obraze (hodnota jasu 255 - bílá), jež nedosahuje předem stanovené velikosti. Tyto nalezené oblasti jsou následně z obrazu odstraněny. Dochází tedy v jisté míře k filtrování šumu vzniklého prahováním s výhodou toho, že nedojde k zkreslení původního obrazu jako u použitých konvolučních filtrů (Obr. 4.8b).



Obr. 4.8: HSV prahování dolní sekce parkovacích stání

## 4.2 Horní skupina parkovacích stání

Posloupnost jednotlivých metod předzpracování obrazu u horní skupiny parkovacích stání je vyjádřena blokovým diagramem (Obr. 4.9). Stejně jako u metod předzpracování obrazu dolní skupiny parkovacích stání, i zde žluté šipky charakterizují výstupy jednotlivých metod.



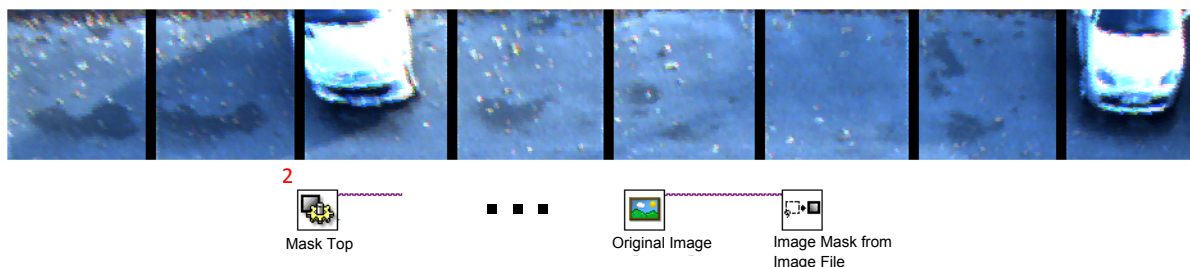
**Obr. 4.9:** Blokový diagram předzpracování horní skupiny parkovacích stání

Předzpracování horní skupiny parkovacích stání se liší v přímém pohledu na zaparkovaná vozidla. Proto jsou zde použity jiné metody než u dolní skupiny parkovacích stání. V čem se předzpracování neliší, je geometrická transformace (Obr. 4.9, blok č.1), která funguje na stejném principu jako u dolní skupiny. A jejím použitím je opět docíleno stejné velikosti jednotlivých parkovacích míst (Obr. 4.10).



**Obr. 4.10:** Geometrická transformace horní skupiny parkovacích stání

Následuje blok *Mask Top* (Obr. 4.9, blok č.2), ve kterém dochází k aplikaci masky (Příloha.D). Použitím tohoto bloku dojde k vymaskování nepotřebných oblastí a zbyde nám pouze sektor vyhrazený pro parkování (Obr. 4.11).



**Obr. 4.11:** Aplikace masky na horní skupinu parkovacích stání

Po vymaskování nezajímavých částí obrazu následuje sekce čtyř bloků, jež se opět opakuje pro všechny tři barvy z barevného modelu RGB. Stejně jako u dolní skupiny parkovacích stání, bude tato sekce popsána pouze pro jednu barvu a to červenou (R). Stejný postup bloků se opakuje i pro dvě zbývající barvy zelenou (G) a modrou (B). Prvním blokem v sekci je *Red Plane Top* (Obr. 4.9, blok č.3), který svoji funkcí koresponduje s blokem *Red Plane Bottom*. Dochází zde k extrakci pouze červené složky z původního vymaskovaného barevného obrázku.

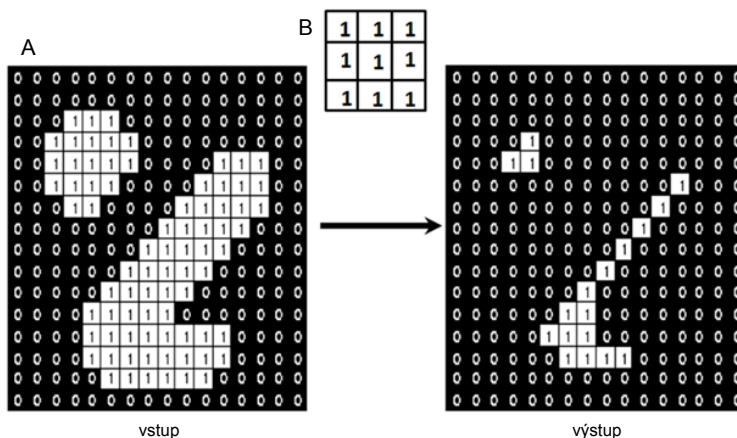
Prvním blokem, který se liší od předzpracování v dolní skupině parkovacích stání je *Red Plane Erode* (Obr. 4.9, blok č.4). V tomto bloku dochází k erozi obrazu. Tato operace je v metodách zpracování obrazu duální morfologickou transformací k dilataci. Binární eroze se využívá k zjednodušení obrazu. Její princip je založen na překrývání původního obrazu se zvoleným strukturním prvkem. Eroze pomocí strukturního prvku B je množina všech možných pozic strukturního prvku, ve kterých se B nekryje z původním obrazem A (rov. 4.5)<sup>[35]</sup>.

$$A \ominus B = \{p \in \mathbb{E}^2 : p = a + b \in A \text{ pro } \forall b \in B\} \tag{4.5}$$

kde:

- A* - původní obraz
- B* - strukturní element
- p* - každý bod v obraze
- $\mathbb{E}^2$  - 2D euklidovský prostor
- a* - prvek původního obrazu A
- b* - prvek strukturního elementu B

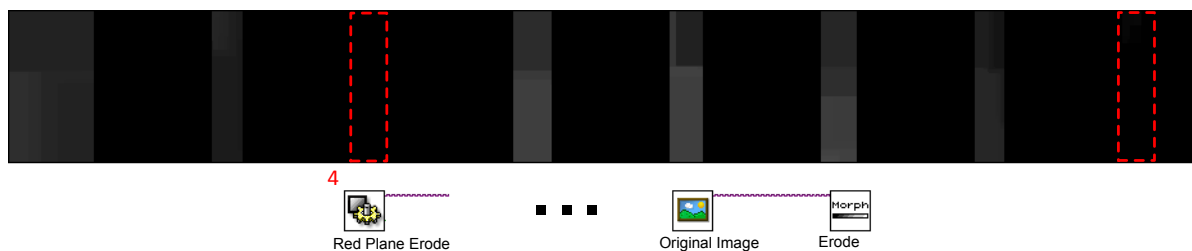
Z obrazu tedy zmizí objekty jež jsou menší, než strukturní prvek. Princip činnosti morfologické operace eroze názorně zobrazuje (Obr. 4.12). V tomto případě byla strukturním prvkem zvolena jednotková matice 3x3.



**Obr. 4.12:** Princip činnosti morfologické operace eroze [Převzato z [31]]

Pro naše účely byla tato metoda zvolena s ohledem na to, že každé vozidlo má ve své karoserii výrazně tmavé prvky. Dostatečným počtem iterací dosáhneme úplné eroze (všechny pixely mají hodnotu 0 - černá) v oblastech, kde jsou zaparkovaná vozidla. Tento jev lze pozorovat na pozicích 3 a 8 (Obr. 4.13). Strukturním prvkem byla zvolena jednotková matice o velikosti 7x7 (rov. 4.6) a počet iterací byl empiricky stanoven na čtrnáct.

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{4.6}$$



**Obr. 4.13:** Předzpracování obrazu pomocí eroze horní skupiny parkovacích stání

Další blok v této sekci *Red Plane Brightness* (Obr. 4.9, blok č.5) využívá stejně jako předchozí blok *Red Plane Erode* programu *NI Vision Assistant*. Jak už název napovídá, v tomto bloku dochází k úpravě jasu zvoleného obrazu. Blok *Brightness* nám umožňuje nastavení tří parametrů a to jasu, kontrastu a gamma korekce. V následujícím kroku se opět soustředíme na hledání černých části obrázku, proto je hodnota jasu nastavena na

minimální hodnotu 0, hodnota kontrastu na maximální hodnotu 89 a gamma korekce má hodnotu 0,3 (Obr. 4.14).



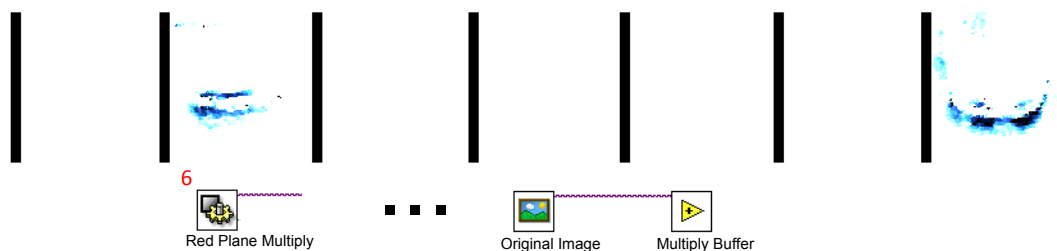
Obr. 4.14: Úprava jasu horní skupiny parkovacích stání

Posledním blokem v této sekci je *Red Plane Multiply* (Obr. 4.9, blok č.6). V tomto bloku dochází k operaci násobení dvou obrázků. Jedním z nich je původní barevný vymaskovaný obraz (Obr. 4.9, blok č.2) a druhým obraz získaný po extrakci červené složky (Obr. 4.9, blok č.3). Jelikož zde máme jeden obrázek se třemi barevnými složkami a druhý pouze s jednou, dochází k násobení vektoru skalárem. Při násobení vektoru skalárem větším než jedna dochází ke zesvětlení původního barevného obrázku (Obr. 4.15a), při násobení menším číslem než jedna dochází k jeho ztmavení (Obr. 4.15b).



Obr. 4.15: Princip barevného operátoru násobení vektoru skalárem [Převzato z [30]]

Po přenásobení, tedy získáme kontury tmavých oblastí obrázku (Obr. 4.9, blok č.3), jež mají jasovou hodnotu menší než jedna nebo velmi blízkou jedné (Obr. 4.16).



Obr. 4.16: Předzpracování obrazu pomocí barevného operátoru násobení u horní skupiny parkovacích stání

# 5

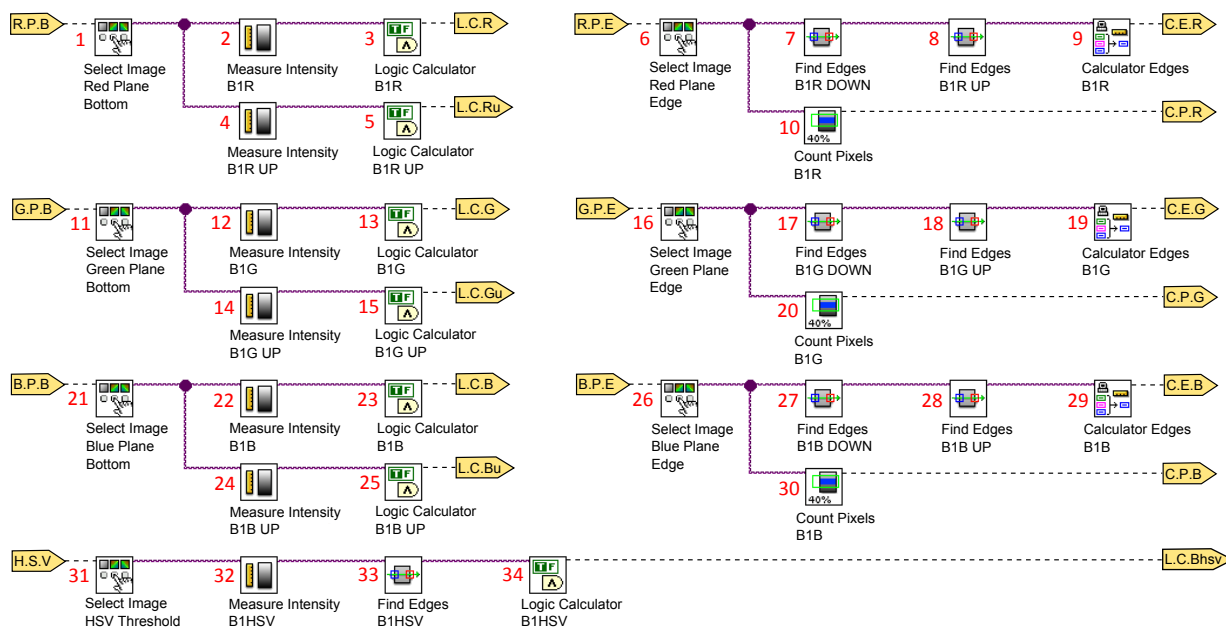
## Detekční metody

Úkolem detekčních metod je vyhodnocení obsazenosti jednotlivých parkovacích stání. Vstupem pro tyto metody jsou obrazová data získaná pomocí předzpracování obrazu. Princip vyhodnocování je založen na určení procentuální obsazenosti parkovacího místa. Toto číslo je vypočteno na základě kombinace výstupních stavů jednotlivých metod. Každá metoda má nastaveny výstupní podmínky. Pokud jsou tyto podmínky dodrženy, výstupní status této metody je PASS (log.1). Jestliže podmínky dodrženy nejsou, na výstupu metody je stav FAIL (log.0). V případě, že jsou splněny všechny podmínky u všech detekčních metod je parkovací místo na 100% volné. V opačném případě je na 0% volné. Existuje zde však i neznámý stav, který byl zvolen v rozmezí 40-60%. Tento stav je zde zaveden z důvodu lepší optimalizace detekčního systému a spadají do něj převážně situace, kdy vozidlo vstupuje nebo opouští parkovací stání (Příloha.C).



## 5.1 Dolní skupina parkovacích stání

Pro popis detekčních metod u dolní skupiny parkovacích stání jsem zvolil místo B1 (Obr. 3.2),(Obr. 3.4). Metody se liší pro jednotlivá místa jen v drobných detailech. Tyto drobné odchylky budou popsány vždy u příslušné metody. Posloupnost jednotlivých detekčních metod u dolní skupiny parkovacích stání vyjadřuje blokový diagram (Obr. 5.1). Žluté šipky zde charakterizují jak vstupy tak výstupy jednotlivých metod.



Obr. 5.1: Blokový diagram detekčních metod dolní skupiny parkovacích stání

Celý proces začíná výběrem vstupního předzpracovaného obrázku *Red Plane Bottom* (Obr. 4.2, blok č.4), jež realizuje blok *Select Image Red Plane Bottom* (Obr. 5.1, blok č.1). Následuje blok *Measure Intensity B1R* (Obr. 5.1, blok č.2), ve kterém dochází k měření intenzity a směrodatné odchylky barevného výstupu. U obrázků, které obsahují pouze jednu barevnou složku v tomto případě červenou, je intenzita závislá pouze na této složce. Proto měření probíhá následně i pro zelenou (Obr. 5.1, blok č.12) a modrou obrazovou složku (Obr. 5.1, blok č.22) barevného modelu RGB. Pro černý bod vybrané oblasti nabývá intenzita hodnoty 0, naopak pro bílý hodnoty 255. Směrodatná odchylka je často používaná metoda v teorii pravděpodobnosti a určuje, jak moc jsou hodnoty odchýleny od aritmetického průměru hodnot (rov. 5.1)[38]. Pokud je odchylka malá, jsou si prvky ve vybrané oblasti navzájem podobné, naopak velké hodnoty směrodatné odchylky značí velkou diverzitu jednotlivých prvků. Pokud je tedy parkovací stání prázdné, povrch vozovky vykazuje malou směrodatnou odchylku, protože všechny prvky v oblasti jsou podobné. Naopak při zaparkování vozidla dochází k velkému rozdílu intenzit jednotlivých bodů v oblasti, jelikož vozidlo je od vozovky minimálně v některých částech barevně různé. Pro porovnání uvádím hodnotu směrodatné odchylky intenzit v oblasti B1 (50,4), B5 (10,9) a B10 (88,4). Oblasti, v kterých dochází k měření intenzity, jsou u všech parkovacích míst

stejně velké (Obr. 5.2).

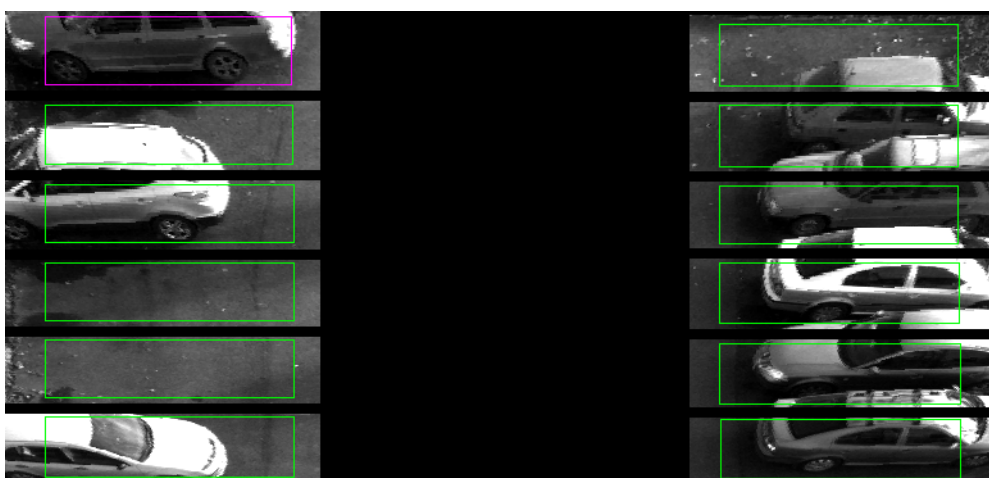
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.1)$$

kde:

$\sigma$  - směrodatná odchylka

$x_i$  - prvek ze souboru hodnot  $X$

$\bar{x}$  - průměrná hodnota



**Obr. 5.2:** Měření intenzity u dolní skupiny parkovacích stání, červená složka

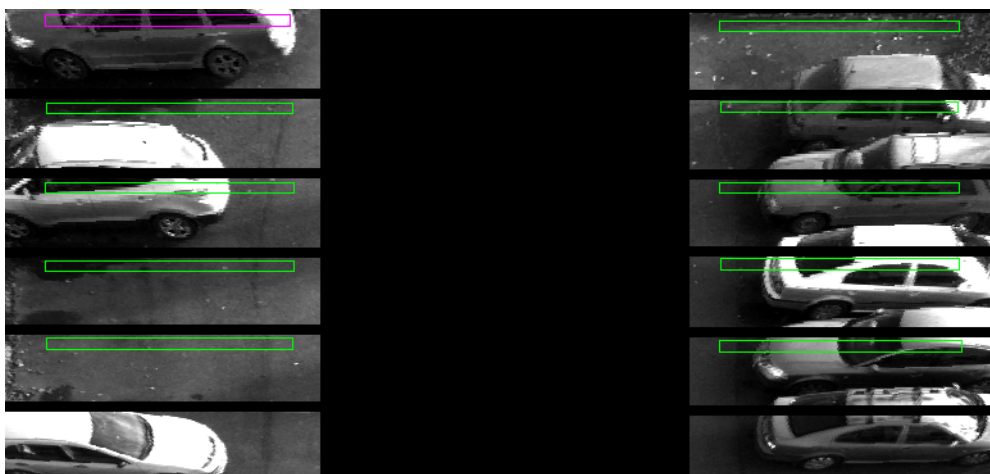
Dalším blokem je *Logic Calculator B1R* (Obr. 5.1, blok č.3). V tomto bloku jsou vyhodnoceny naměřené údaje z předešlého kroku. Prvním operandem v logickém kalkulátoru je směrodatná odchylka intenzity, jejíž hodnota musí být menší než 50. V oblasti B1 má směrodatná odchylka hodnotu 50,4. Podmínka tedy není splněna, výstupním stavem této podmínky je FALSE (log.0). Druhým operandem je minimální intenzita. U tohoto operandu je pro splnění podmínky nutné, aby minimální hodnota intenzity byla větší než 5. V případě pozice B1 je tato hodnota rovna 0, výstupním stavem podmínky je opět FALSE. Podmínka vztahovaná k minimální intenzitě je aplikována v důsledku nalezení tmavých částí karoserií zaparkovaných aut. Výsledný stav celého logického kalkulátoru získáme bitovým součinem výstupních stavů jednotlivých operandů. V našem případě je výsledný stav FAIL (rov. 5.2).

$$\begin{aligned} \sigma = 50,4 \not\leq 50 &\Rightarrow FALSE \\ \alpha = 0 \not\geq 5 &\Rightarrow FALSE \\ FALSE \ \&\& \ FALSE &\Rightarrow FAIL \end{aligned} \tag{5.2}$$

kde:

$\sigma$  - směrodatná odchylka intenzity  
 $\alpha$  - minimální hodnota intenzity

Následující dva bloky *Measure Intensity B1R UP* (Obr. 5.1, blok č.4) a *Logic Calculator B1R UP* (Obr. 5.1, blok č.5) mají naprosto stejnou funkci jako předešlé dva bloky (Obr. 5.1, blok č.2),(Obr. 5.1, blok č.3). S rozdílem v oblasti, na níž jsou použity. Jedná se o horní okraj parkovacího stání. Tato metoda je zavedena z důvodu překryvu jednotlivých vozidel, jež je při bočním pohledu kamery nevyhnutelný. Vozidlo typu SUV zaparkované na pozici B3 zasahuje poměrně velkou částí do parkovacího stání B2. Proto je nutné aplikovat samostatnou metodu měření intenzity pro horní okraj parkovacího stání, čímž můžeme kompenzovat zkreslující úhel záběru kamery. Metoda je použita u všech parkovací stání vyjma dvou v dolní řadě (B6,B12). U těchto míst není zásah vozidla do vedlejšího parkovacího místa zapříčiněný zkreslujícím úhlem kamery možný, jelikož se jedná o krajní místa nejbližše kameře (Obr. 5.3).



**Obr. 5.3:** Měření intenzity u dolní skupiny parkovacích stání, horní okraj, červená složka

U operandu směrodatné odchylky intenzity byla změněna hranice podmínky, hodnota musí být menší než 60 pro splnění podmínky. Toto navýšení je zapříčiněno zmenšením oblasti, ve které probíhá detekce. Pro oblast B1 byla naměřena hodnota směrodatné odchylky

rovna 70,3 a hodnota minimální intenzity v oblasti rovna 0. Podmínka tedy opět nebyla splněna ani jedna. Výsledným stavem logického kalkulátoru je hodnota FAIL (rov. 5.3).

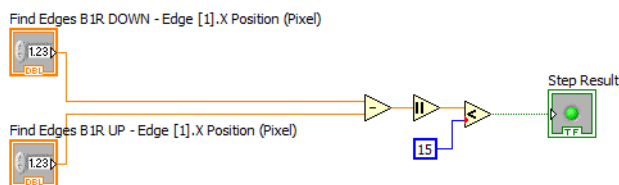
$$\begin{aligned} \sigma = 70,3 \not\leq 60 &\Rightarrow FALSE \\ \alpha = 0 \not\geq 5 &\Rightarrow FALSE \\ FALSE \ \&\& \ FALSE &\Rightarrow FAIL \end{aligned} \tag{5.3}$$

Po tomto dvojbloku následuje výběr nových předzpracovaných obrazových dat, o který se stará blok *Select Image Red Plane Edge* (Obr. 5.1, blok č.6), je vybrán obrázek *Red Plane Edge* (Obr. 4.2, blok č.5), který znázorňuje hrany zaparkovaných vozidel. Funkcí bloků *Find Edges B1R DOWN* (Obr. 5.1, blok č.7) a *Find Edges B1R UP* (Obr. 5.1, blok č.8) je nalezení hran vozidla. Obě tyto metody fungují na stejném principu, hledají hrany v přechodu z tmavé oblasti do světlé. Vzhledem k tomu, že předzpracovaná data nejsou zcela bez šumu, je nutné hledat nejlepší hranu, nikoliv první. Metody hledání hran reprezentují v obrázku (Obr. 5.4) dvě šipky na rozhraní dvou parkovacích stání. V dané přímce po směru šipky dochází k vyhledávání hran, hrana je nalezena na základě změny hodnoty intenzity obrazových bodů. Pokud je hrana v dané oblasti nalezena, výstupním stavem bloku je PASS. Naopak pokud k detekci hrany nedojde, výstupním stavem je FAIL.



**Obr. 5.4:** Detekce hran u dolní skupiny parkovacích stání, červená složka

Dalším blokem je *Calculator Edges B1R* (Obr. 5.1, blok č.9). Tento kalkulátor slouží k porovnání souřadnic na ose x u nalezených hran. Dochází zde k odečtu x-ových souřadnic nalezených hran v absolutní hodnotě (Obr. 5.5).



**Obr. 5.5:** Porovnání x-ových souřadnic nalezených hran

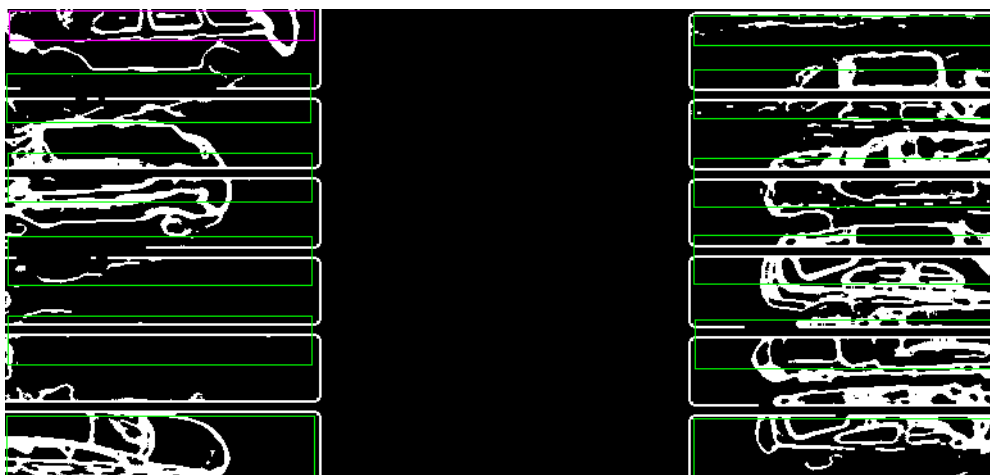
Pokud je tato hodnota menší než patnáct. Kalkulátor vyhodnotí hrany na rozmezí parkovacích míst jako jedno vozidlo. Toto vyhodnocení je důležité pro další zpracování, neboť přispívá k určení, zdali jedno vozidlo přesahuje do dvou parkovacích míst vlivem zkresleného snímání. Pokud je nalezena pouze jedna hrana jako v případě místa B1, kalkulátor vyhodnotí situaci jako FAIL, stejně tak pokud není nalezena hrana žádná nebo pokud je rozdíl v x-ových souřadnicích nalezených hran vyšší než patnáct. Na pozici B3 je názorně vidět nalezení hran v rozmezí x-ových souřadnic a tím detekce vozidla zasahujícího do vedlejšího parkovacího stání. Tyto metody nejsou opět aplikovány na pozicích B6 a B12.

Poslední blok v této sekci detekčních metod, jež využívají jako podklad předzpracovaný obrázek *Red Plane Edge* (Obr. 4.2, blok č.5), je *Count Pixels B1R* (Obr. 5.1, blok č.10). Jak už název napovídá, dochází zde k počítání jednotlivých pixelů určité intenzity ve vybrané oblasti. U dvoubitových obrazových map je snadné nastavení prahu intenzity obrazových bodů, které hodláme detekovat, v tomto případě počítat. Zvolíme tedy pixely s hodnotou jasu větší než nula, neboť chceme detekovat bílé obrysy vozidel. Velikosti oblastí se liší v závislosti na vzdálenosti parkovacího stání od pozice kamery (Obr. 5.6). Čím dále tato oblast od kamery je, tím je oblast menší. To je opět zapříčiněno úhlem, pod kterým snímáme. Pro úspěšné vyhodnocení této metody (výsledek PASS) je nutné, aby procentuální zastoupení bílých pixelů ve vybrané oblasti bylo menší než 22%. Tato hodnota byla zvolena empiricky na základě vyhodnocení testovací množiny nasnímaných dat a s přihlédnutím k tomu, že oblasti zasahují do vyznačených pruhů určených pro oddělení parkovacích míst. V případě místa B1 bylo spočítáno procentuální zastoupení bílé složky v oblasti na 24,95%. Metoda je tedy vyhodnocena jako FAIL (rov. 5.4).

$$\beta = 24,95\% \not\leq 22\% \Rightarrow FAIL \tag{5.4}$$

kde:

$\beta$  - procentuální zastoupení bílé složky



**Obr. 5.6:** Součet pixelů vybrané intenzity dolní skupiny parkovacích stání, červená složka

Všechny doposud uvedené kroky jsou totožné i pro další dvě složky barevného modulu RGB. Zelená složka je v blokovém diagramu popsána bloky (Obr. 5.1, blok č.11-20), modrá pak (Obr. 5.1, blok č.21-30).

Následující blok *Select Image HSV Threshold* (Obr. 5.1, blok č.31) realizuje načtení obrázku *HSV Threshold* (Obr. 4.2, blok č.10). Na těchto předzpracovaných obrazových datech jsou aplikovány metody *Measure Intensity B1HSV* (Obr. 5.1, blok č.32) a *Find Edges B1HSV* (Obr. 5.1, blok č.33). První metodou dochází opět k měření intenzity ve vybrané oblasti, tato oblast koresponduje u všech parkovacích stání s oblastí vyznačenou bílými parkovacími pruhy (Obr. 5.7).



**Obr. 5.7:** HSV prahování dolní skupiny parkovacích stání, červená složka

Pro úspěšné vyhodnocení této metody je nutné, aby směrodatná odchylka naměřené intenzity nebyla větší než 50, pro oblast B1 byla naměřena hodnota 106,5. Výsledek tohoto bloku je tedy FAIL. Druhá metoda má za úkol nalezení hran, v tomto případě opět v horní oblasti jednotlivých parkovacích míst. Hledání probíhá tentokrát pro všechny hrany. Zásadním pro vyhodnocení této metody je nalezený počet hran. S přihlédnutím

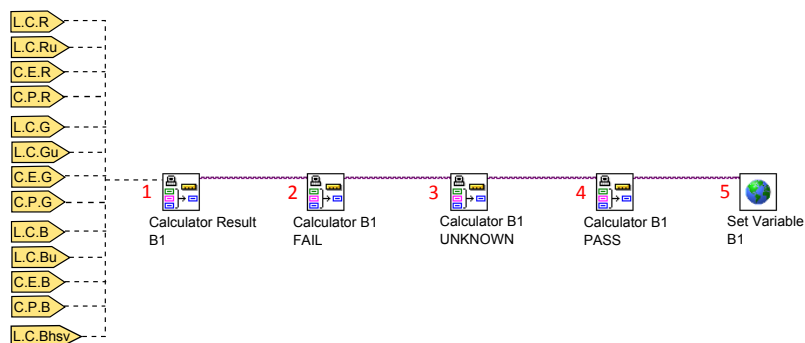
na objevující se šum je pro úspěšné vyhodnocení tohoto bloku možné nalezení jedné hrany. Při nalezení dvou a více hran je výstupem bloku stav FAIL. Pro parkovací místo B1 bylo nalezeno 15 hran, výsledný stav je proto FAIL. Následuje blok *Logic Calculator B1HSV* (Obr. 5.1, blok č.34) ve kterém dochází k logickému součtu výsledných stavů předešlých dvou metod. Jelikož obě skončily jako FAIL i výsledný stav kalkulátoru je FAIL (rov. 5.5).

$$\begin{aligned} \sigma = 106,5 \not\leq 50 &\Rightarrow FALSE \\ \gamma = 15 \not\leq 1 &\Rightarrow FALSE \\ FALSE \parallel FALSE &\Rightarrow FAIL \end{aligned} \tag{5.5}$$

kde:

- $\sigma$  - směrodatná odchylka intenzity
- $\gamma$  - počet nalezených hran

Posloupnost bloků, které se starají o výpočet obsazenosti jednotlivých parkovacích stání dolní skupiny, je znázorněna blokovým diagramem (Obr. 5.8). V tomto případě žluté šipky charakterizují výstupy jednotlivých detekčních metod, na základě kterých je vypočtena celková obsazenost parkovacího místa.



**Obr. 5.8:** Blokový diagram výpočtu obsazenosti u dolní skupiny parkovacích stání

V bloku *Calculator Result B1* (Obr. 5.8, blok č.1) jsou vypočtena konečná procenta obsazenosti parkoviště. Výpočet je založen na výstupních stavech jednotlivých bloků, které jsou převedeny do číselné podoby (PASS - 1, FAIL - 0). Následuje jejich sečtení a vynásobení s hodnotou procentuálního základu. Procentuální základ je určen v závislosti na počtu použitých metod a jejich váhy ve výsledném součtu. Primárně je použito 10 detekčních metod (blok *Calculator Edges* není započítán), proto je výchozí procentuální základ nastaven na hodnotu 10 (100/10). Pokud dospějeme k výsledku, že vozidlo zasahuje vlivem zkreslení kamery do sousedního vyhrazeného místa. Je váha detekčních

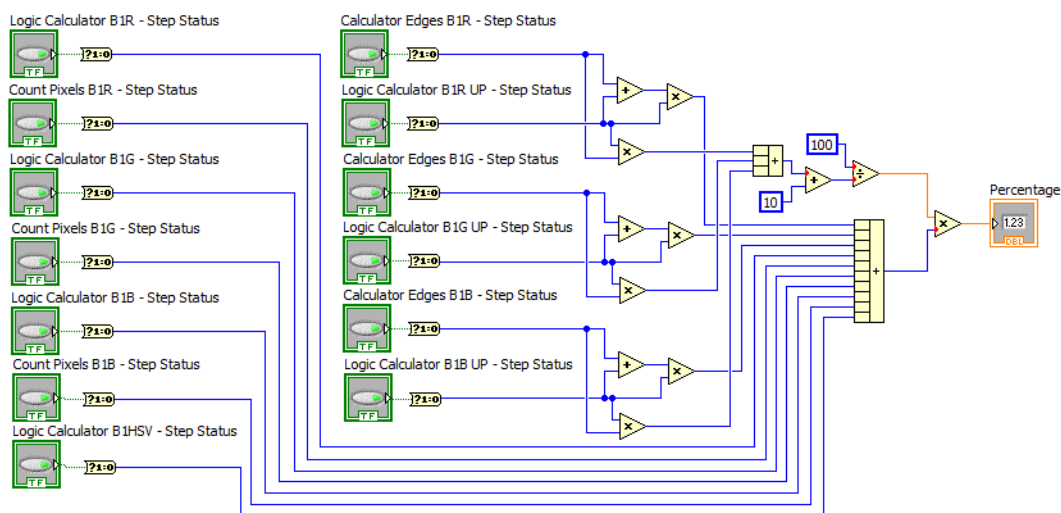


metod na horní straně parkovacích stání zdvojnásobena, v důsledku kompenzace tohoto zkreslení (Tab. 5.1).

Logic Calculator B1R UP	Calculator Edges B1R	Váha výstupní hodnoty	Procentuální základ
0	0	0	10
0	1	0	10
1	0	1	10
1	1	2	11

**Tab. 5.1:** Závislost procentuálního základu na výstupních hodnotách bloků *Logic Calculator B1R UP* a *Calculator Edges B1R UP*

Z tabulky je zřejmé, že v případě kdy se výstupní stavy bloků *Calculator Edges B1R* a *Logic Calculator B1R UP* (Obr. 5.1, blok č.5) rovnají jedné, dochází ke změně váhy hodnoty, jež vstupuje do výsledného součtového bloku. Váha této hodnoty je dvojnásobná a hodnota procentuálního základu roste o 1. Stejně tak je vidět, že pokud výstupní hodnota bloku *Logic Calculator B1R UP* je rovna 0, do výsledného součtového bloku vstupuje také 0. Blok *Calculator Edges E1R* je pouze pomocný a sám o sobě není do výsledného součtu započítán. Stejný princip je zachován i u funkčně stejných bloků pro dvě zbývající barvy. V důsledku výstupního stavu FAIL u všech dílčích metod detekce vozidel, byla pro místo B1 byla vypočtena 0% pravděpodobnost toho, že je volné (Obr. 5.9).

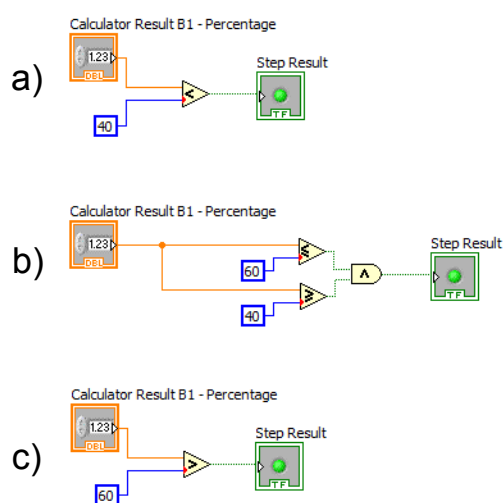


**Obr. 5.9:** Kalkulátor procentuálního obsazení parkovacího místa B1

Následující tři bloky v tomto stavu se starají o vyhodnocení procentuální hodnoty obsazenosti získané v kalkulátoru a určují, zdali je dané parkovací stání obsazené, volné nebo se nachází v neznámém stavu. Prvním blokem je *Calculator B1 FAIL* (Obr. 5.8, blok č.2). Pokud je procentuální hodnota obsazenosti menší než 40% (Obr. 5.10a), místo



je na méně než 40% volné, proto je vyhodnoceno jako obsazené, výsledek kalkulátoru je hodnota PASS. Stavový automat přechází do následného stavu FAIL (Příloha.A). Příklad, kdy se hodnota pohybuje v rozmezí 40-60% (Obr. 5.10b), je řešen blokem *Calculator B1 UNKNOWN* (Obr. 5.8, blok č.3). V tomto případě je výsledkem neznámý stav parkovacího stání a v rámci stavového automatu dochází k přesunu do stavu UNKNOWN (Příloha.A). Do tohoto stavu lze zahrnout situace příjezdu a odjezdu vozidla z parkovacího stání nebo špatné parkování přes dvě vyhrazená místa(Příloha.C). Do posledního bloku *Calculator B1 PASS* (Obr. 5.8, blok č.4) spadají procentuální hodnoty větší než 60% (Obr. 5.10c). Což znamená, že místo je z více než z 60% volné a následující stav stavového automatu je PASS (Příloha.A).



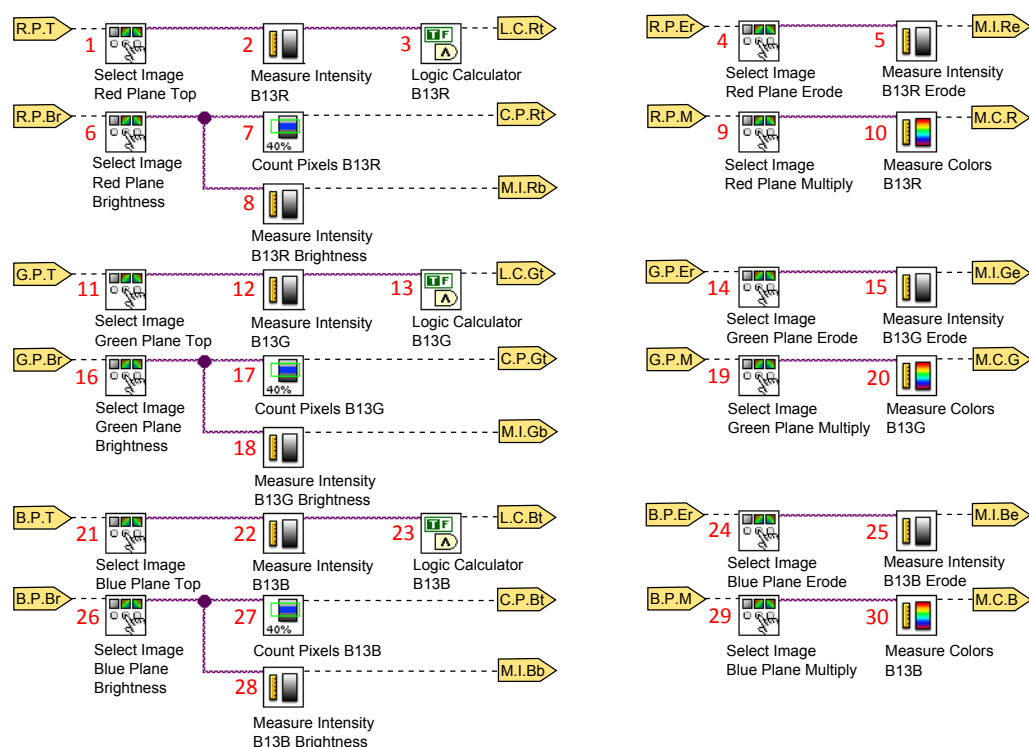
**Obr. 5.10:** Vyhodnocení obsazenosti parkovacího stání B1 a) obsazeno b) neznámý stav c) volno

Přechod v rámci stavového automatu závisí právě na těchto třech posledních blocích. Pokud by ani jeden z těchto bloků nebyl vyhodnocen jako PASS, následuje přechod do stavu B2, který je nastaven jako výchozí. Tato situace by však neměla při správném chodu programu nastat (Příloha.A).

Posledním blokem *Set Variable B1* (Obr. 5.8, blok č.5) dochází k uložení hodnoty procentuální obsazenosti a výstupního stavu bloku *Calculator B1 PASS* do proměnných. Tento krok je nutný v případě, že s touto hodnotou chceme pracovat i v ostatních stavech stavového automatu.

## 5.2 Horní skupina parkovacích stání

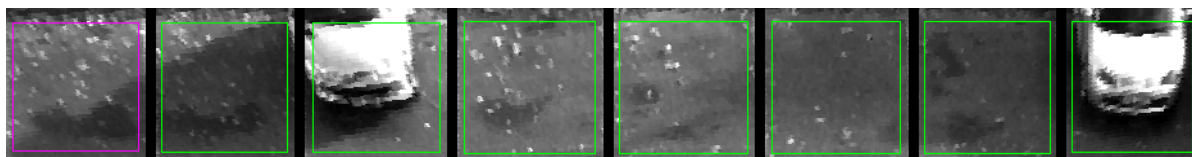
Použité detekční metody u horní skupiny parkovacích stání se od dolní skupiny liší jen v detailech. Největší rozdíl je z hlediska předzpracování obrazu, kvůli přímému (nikoliv bočnímu jako u dolní skupiny) pohledu kamery na parkovací místa. Pro popis detekčních metod v horní skupině parkovacích stání bylo zvoleno první místo v řadě na pozici B13 (Obr. 3.2),(Obr. 3.4). Metody se liší pro jednotlivá místa jen v drobných detailech. Tyto drobné odchylky budou popsány vždy u příslušné metody. Posloupnost jednotlivých detekčních metod u horní skupiny parkovacích stání je popsána blokovým diagramem (Obr. 5.11). Stejně jako u detekčních metod dolní skupiny parkovacích stání, žluté šipky zde charakterizují jak vstupy tak výstupy jednotlivých metod.



Obr. 5.11: Blokový diagram detekčních metod horní skupiny parkovacích stání

Obdobně jako u dolní skupiny parkovacích stání je před každou detekční metodou nutné vybrat předzpracovaný obrázek, na němž budou tyto metody aplikovány. V bloku *Select Image Red Plane Top* (Obr. 5.11, blok č.1) dochází k načtení předzpracovaného obrázku *Red Plane Top* (Obr. 4.9, blok č.3). Následují bloky pro měření intenzity *Measure Intensity B13R* (Obr. 5.11, blok č.2) a logický kalkulátor *Logic Calculator B13R* (Obr. 5.11, blok č.3). Funkce těchto bloků se nijak neliší od bloků použitých u dolní skupiny parkovacích stání (Obr. 5.1, blok č.2), (Obr. 5.1, blok č.3). Dochází zde tedy opět k měření směrodatné odchylky intenzity a minimální intenzity v určené oblasti (Obr. 5.12). Vyhodnocení podmínek v kalkulátoru je založeno na stejných hranicích jako v předešlém případě (rov. 5.2). Hodnota minimální intenzity naměřená ve vybrané oblasti parkovacího místa na pozici B13 je 34, hodnota směrodatné odchylky na témže místě je 29,9.

Obě hodnoty tedy splňují předepsané podmínky. Výstupem logického kalkulátoru je stav PASS.



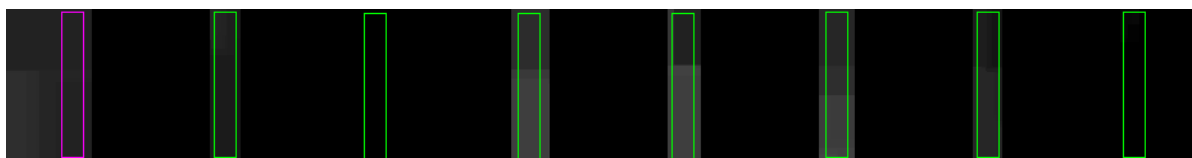
**Obr. 5.12:** Měření intenzity u horní skupiny parkovacích stání, červená složka

Nadcházejícím blokem *Select Image RED Plane Erode* (Obr. 5.11, blok č.4) je vybrán obrázek *Red Plane Erode* (Obr. 4.9, blok č.4). Následuje opět blok v kterém se provádí měření intenzity *Measure Intensity B13R Erode* (Obr. 5.11, blok č.5). Jelikož pro vyhodnocení tohoto měření máme pouze jednu podmínku, nepotřebujeme k určení výstupního stavu blok logického kalkulátoru, ale k vyhodnocení dochází přímo v bloku měření intenzity. Ke splnění podmínky pro výstupní stav PASS (VOLNO) této detekční metody, je zapotřebí, aby se průměrná intenzita ve vybrané oblasti pohybovala v rozmezí 20-255. Toto rozmezí bylo zvoleno na základě principu morfologické transformace, binární eroze. Na pozicích B15 a B20, která jsou obsazena zaparkovanými vozidly, došlo k úplné erozi. Průměrná intenzita v těchto místech je nulová (Obr. 5.13). V popisované oblasti B13 dosáhla průměrná intenzita hodnoty 34,2. To znamená, že koresponduje se zvoleným rozmezím. Výstupem této detekční metody je také stav PASS (rov. 5.6). U metody *Measure Intensity B13G Erode* (Obr. 5.11, blok č.15) je rozmezí průměrné intenzity nastaveno na 50-255, u *Measure Intensity B13B Erode* (Obr. 5.11, blok č.25) pak 40-255, Tato změna je dána různou intenzitou jednotlivých barevných kanálu RGB modelu, která se v tomto případě markantně projeví.

$$\delta = 34,2 > 22 \Rightarrow PASS \tag{5.6}$$

kde:

$\delta$  - průměrná hodnota intenzity

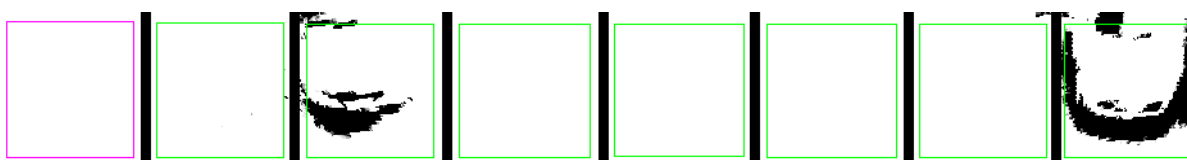


**Obr. 5.13:** Měření intenzity u horní skupiny parkovacích stání, eroze, červená složka

K aplikaci dalších metod je potřeba změnit podkladový snímek na *Red Plane Brightness* (Obr. 4.9, blok č.5), což je realizováno blokem *Select Image Red Plane Brightness* (Obr. 5.11, blok č.6). Po této změně je proveden v předem určených oblastech výpočet obrazových bodů dané intenzity *Count Pixels B13R* (Obr. 5.11, blok č.7) a měření intenzity *Measure Intensity B13R Brightness* (Obr. 5.11, blok č.8). V bloku *Count Pixels B13R* dochází k sečtení všech pixelů, jež dosahují hodnotu intenzity 255 (nejvyšší intenzita, bílá barva). Pro vyhodnocení této metody s výsledkem volného parkovacího místa je nutné, aby počet těchto pixelů v uvedené oblasti překročil 98%. Stoprocentní hranice není zavedena z důvodu možnosti nedostatečného odfiltrování šumu. V případě parkovacího místa B13 bylo pro danou hodnotu intenzity zjištěno, že v oblasti se nenachází obrazové body jiné intenzity, hodnota procentuálního zastoupení této intenzity v dané oblasti je 100%. Vzhledem k nastavené hranici na 98%, je výsledek této metody PASS (rov. 5.7). Druhou metodou, jež je aplikována na stejná obrazová data ve stejných oblastech je *Measure Intensity B13R Brightness*. U této metody dochází opět k měření intenzity. S tím, že vypočtená směrodatná odchylka intenzity obrazových bodů ve vyhrazené oblasti musí pro úspěšné vyhodnocení této metody nabývat hodnot menších než 50 (rov. 5.8). Opět je zde brán zřetel na možný vstup šumové složky. U parkovacího místa B13 byla naměřená hodnota směrodatné odchylky intenzity rovna nule. To koresponduje se stoprocentním pokrytím barvy jedné intenzity (Obr. 5.14).

$$\beta = 100\% > 98\% \Rightarrow PASS \tag{5.7}$$

$$\sigma = 0 < 50 \Rightarrow PASS \tag{5.8}$$



**Obr. 5.14:** Měření intenzity a procentuální součet pixelů vybrané intenzity u horní skupiny parkovacích stání, úprava jasu, červená složka

Činností bloku *Select Image Red Plane Multiply* (Obr. 5.11, blok č.9) je načtení snímku *Red Plane Multiply* (Obr. 4.9, blok č.6), v rámci kterého dochází k použití další detekční metody. Touto metodou je *Measure Colors B13R* (Obr. 5.11, blok č.10), která realizuje měření směrodatných odchylek intenzity jednotlivých barevných kanálů modelu RGB (Obr. 5.15). Pro všechny tři barevné kanály byla zvolena jednotná hranice pro úspěšné vyhodnocení metody. Hraniční hodnota byla stanovena na základě barevného histogramu obrazové testovací množiny na číslo 15. V případě parkovacího stání B13, byla hodnota směrodatné odchylky všech tří barevných kanálů rovna nule (rov. 5.9). Naměřené hodnoty u všech tří kanálů splňují podmínku hodnoty směrodatné odchylky menší než 15. Proto je tato metoda vyhodnocena jako PASS.

Všechny do teď uvedené detekční metody pro horní skupinu parkovacích stání se opakují i pro zbylé dva kanály barevného modelu RGB (Obr. 5.11, blok č.11-30), bez výraznějších změn. Pokud se metody pro jednotlivé barevné kanály v něčem liší, bylo tu u příslušné metody uvedeno.

$$\sigma_R = 0 < 15 \Rightarrow TRUE$$

$$\sigma_G = 0 < 15 \Rightarrow TRUE$$

$$\sigma_B = 0 < 15 \Rightarrow TRUE$$

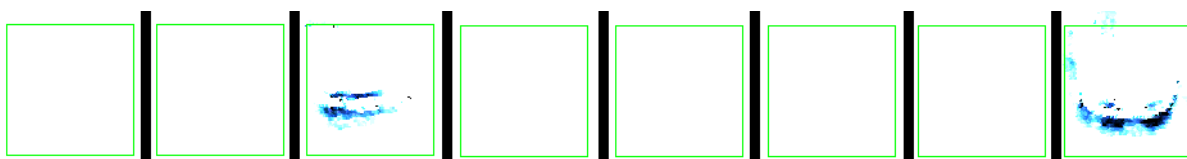
$$TRUE \ \&\& \ TRUE \ \&\& \ TRUE \Rightarrow PASS \tag{5.9}$$

kde:

$\sigma_R$  - Směrodatná odchylka intenzity červeného složky

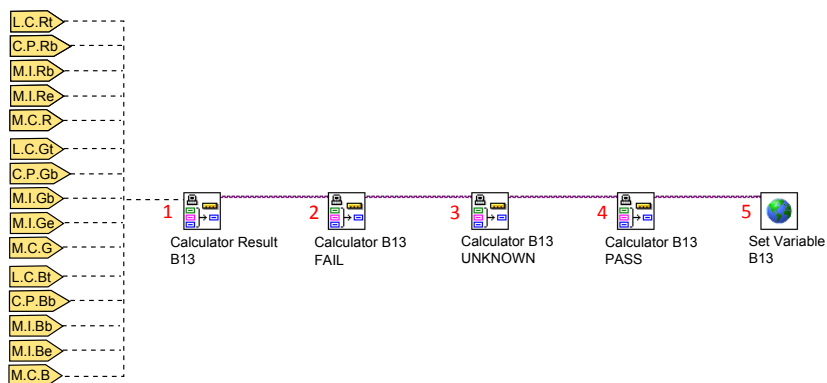
$\sigma_G$  - Směrodatná odchylka intenzity zelené složky

$\sigma_B$  - Směrodatná odchylka intenzity modré složky



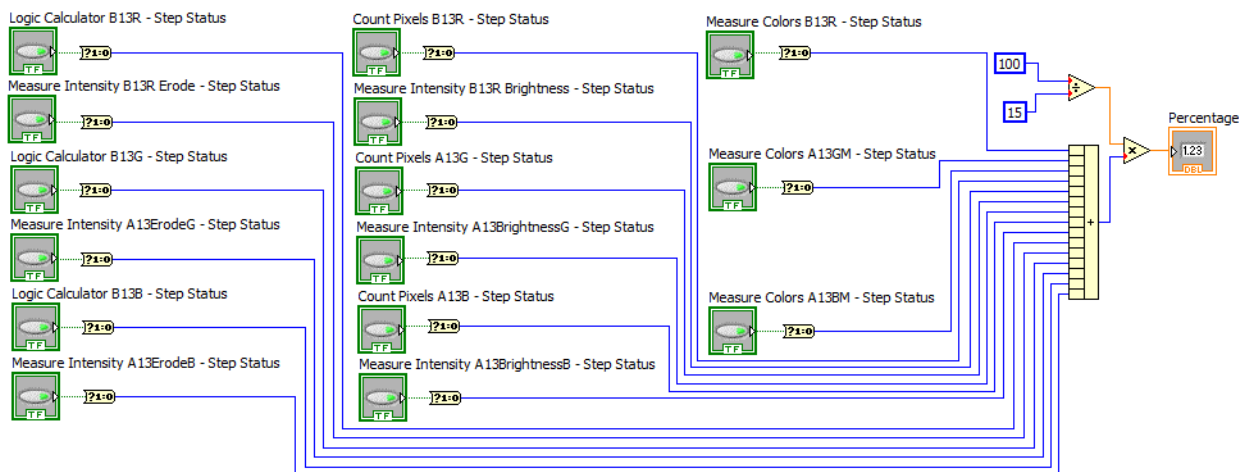
**Obr. 5.15:** Měření směrodatné odchylky intenzity všech tří kanálů barevného modelu RGB u horní skupiny parkovacích stání

Posloupnost bloků, které realizují výpočet obsazenosti jednotlivých parkovacích stání horní skupiny, se od dolní skupiny parkovacích stání liší pouze v jednotlivých výstupech detekčních metod. Tyto výstupy jsou charakterizovány žlutými šipkami. Celá tato posloupnost je znázorněna blokovým diagramem (Obr. 5.16).



**Obr. 5.16:** Blokový diagram výpočtu obsazenosti u dolní skupiny parkovacích stání

V bloku *Calculator Result B13* (Obr. 5.16, blok č.1) dochází stejně jako u dolní skupiny parkovacích stání k výpočtu konečné obsazenosti daného parkovacího místa. Výpočet je ovšem oproštěn o detekční metody, jež měly minimalizovat důsledky zkreslení snímaného místa vzniklé bočním snímáním zaparkovaných vozidel. Horní skupina je snímána na přímo, tudíž zde nehrozí žádný překryv vozidel. Kalkulátor tedy sečte vyhodnocení všech metod a přenásobí procentuálním základem, který je v tomto případě neměnný a jeho hodnota je 6,66 (100/15). Vzhledem k tomu, že výsledný stav všech detekčních metod aplikovaných na parkovací místo B13 byl PASS. Je u tohoto místa stoprocentní pravděpodobnost, že je volné (Obr. 5.17).

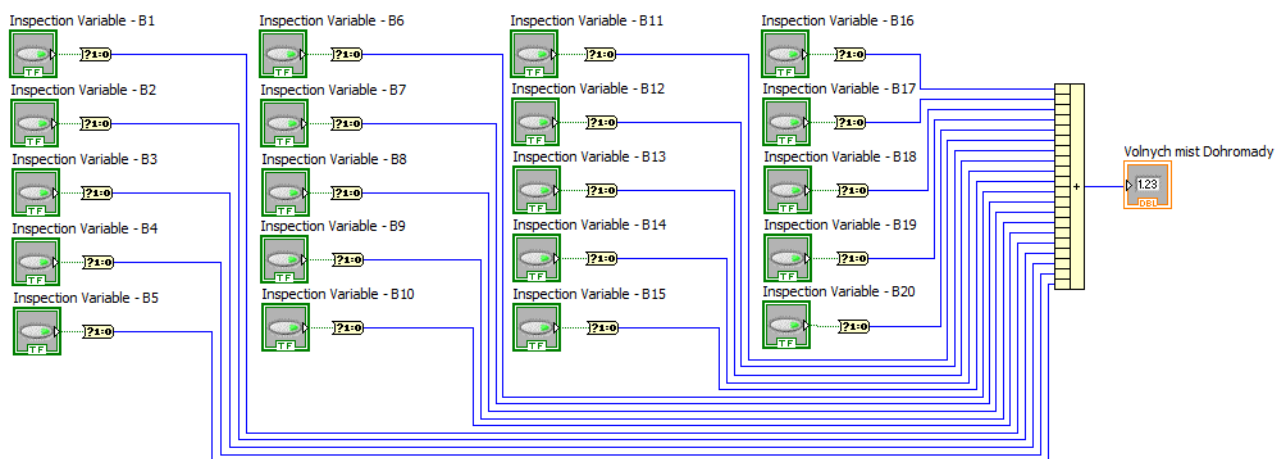


**Obr. 5.17:** Kalkulátor procentuálního obsazení parkovacího místa B13

Funkce následujících čtyř bloků *Calculator B13 FAIL* (Obr. 5.16, blok č.2), *Calculator B13 UNKNOWN* (Obr. 5.16, blok č.3), *Calculator B13 PASS* (Obr. 5.16, blok č.4) a *Set Variables B13* (Obr. 5.16, blok č.5), je naprosto stejná jako u ekvivalentních bloků dolní skupiny, proto není nutné jejich popis opakovat.

Jediná změna nastává u posledního vyhodnocovaného parkovacího místa B20, kde je zařazen blok *Calculator Free Spaces* (Obr. 5.18). V tomto bloku dochází k sečtení

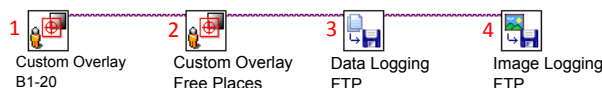
výstupních stavů všech dvaceti bloků *Calculator B1-20 PASS* a tím k vypočtení celkového počtu volných míst v sektoru B. Místa, která jsou vyhodnocena jako UNKNOWN, jsou počítána v konečném výsledku jako plná, protože je nemožné zaručit jejich neobsazenost. Celkový počet volných míst je uložen do proměnné v bloku *Set Variables B20*. Tím je umožněn přístup k této hodnotě i z jiného stavu stavového automatu.



Obr. 5.18: Výpočet celkového počtu volných míst

# 6

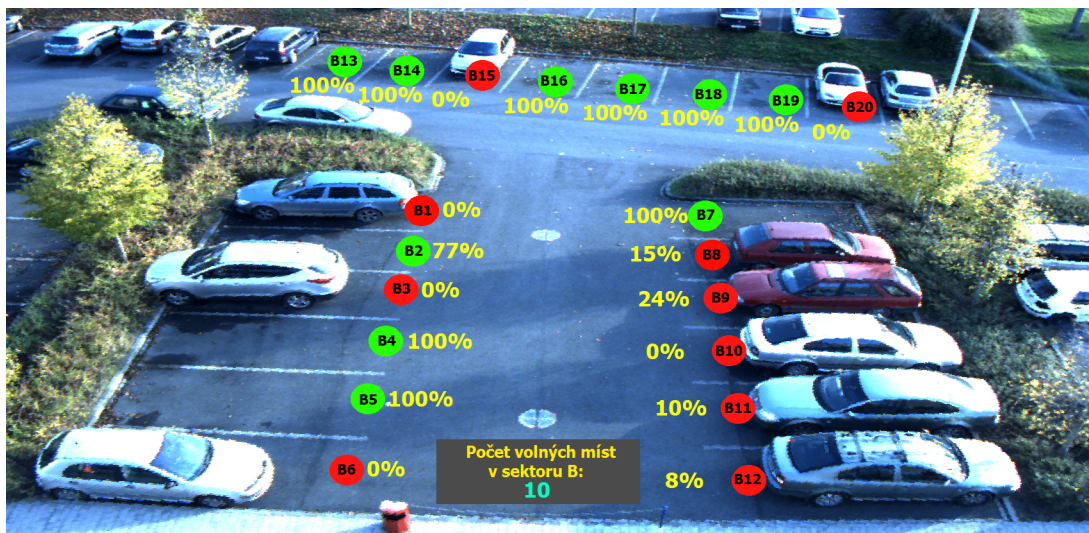
## Vizualizace naměřených dat a komunikace s FTP serverem



**Obr. 6.1:** Blokový diagram vizualizace naměřených dat a komunikace s FTP serverem

Z každého stavu, v němž je řešena obsazenost parkovacího stání, se následně lze dostat do třech různých stavů stavového automatu (Příloha.A). Těmito stavy jsou PASS, UNKNOWN a FAIL, vyhodnocení přesunu do těchto stavů je na základě procentuální hodnoty obsazenosti daného parkovacího místa. V těchto stavech dochází pomocí bloku *Custom Overlay B1-20* (Obr. 6.1, blok č.1) k vizualizaci procentuální hodnoty a místo je pro lepší orientaci označeno barevnou značkou. Ze všech tří stavů následuje přechod do stavu, jež pomocí detekčních metod vyhodnocuje obsazenost dalšího parkovacího stání. Tento postup je u všech parkovacích stání stejný s výjimkou posledního parkovacího stání B20, u kterého je blokem *Custom Overlay Free Spaces* (Obr. 6.1, blok č.2) realizována vizualizace celkového počtu volných parkovacích stání (Obr. 6.2).





Obr. 6.2: Vizualizace vyhodnocení stavu obsazenosti jednotlivých parkovacích stání

Následují bloky určené pro komunikaci s FTP serverem *Data Logging FTP* (Obr. 6.1, blok č.3) a *Image Logging FTP* (Obr. 6.1, blok č.4). Prvním z nich je realizováno odeslání textového souboru (\*.txt) obsahujícího informace o procentuální obsazenosti jednotlivých míst na předem nastavený FTP server (Příloha.B). V nastavení serveru je nutné zadat IP adresu, přihlašovací údaje, cestu, kam se na serveru mají data ukládat a typ souboru do kterého data ukládat. Druhým blokem je realizováno odeslání výsledného snímků parkoviště i s vizualizací vyhodnocení obsazenosti parkovacích stání (Obr. 6.2). Nastavení FTP serveru je stejné jako v předešlém případě. Výše uvedené bloky realizují odchozí komunikaci. Pro příchozí komunikaci, tedy načítání snímků z kamery, lze využít funkcí programovacího jazyka LabVIEW.

# 7

## Časová náročnost průběhu inspekce

Časová náročnost průběhu celé inspekce byla otestována na 100 různých snímcích. Průměrná hodnota trvání jedné inspekce je 2,5 s. Časově nejnáročnější je proces předzpracování, který zabere 2 s z celkového času, tedy přibližně 80%. V celkové době trvání jedné inspekce je zahrnuta i vizualizace, která v konečném řešení projektu bude realizována jinou aplikací (Obr. 3.1). Časová náročnost vizualizace je ovšem pouhých 30 ms. Na základě tohoto měření byl navržen interval snímání kamery na každých 5 s. Tato doba je dostatečná pro udržení aktuálnosti dat o stavu parkoviště. Celý výpočet je samozřejmě závislý na HW parametrech daného serveru. Výše uvedené výsledky byly dosaženy na PC s následující HW výbavou (Tab. 7.1). Časová náročnost každého algoritmu obsaženého v inspekci je uvedena v textovém souboru **Algorithm\_duration.txt**, který je obsahem přiloženého CD (Příloha.D).

Typ procesoru	Intel Core i3
Frekvence procesoru	2,4 GHz
Počet jader procesoru	2
RAM paměť	4 GB, DDR3
Čip grafické karty	Intel HD Graphics 4600

**Tab. 7.1:** HW konfigurace použitého počítače

# 8

## Závěr

Prvním z cílů této diplomové práce byla analýza problému parkovacích stáních před budovou FEL/ZČU. Hlavní důraz byl kladen na vytvoření obrazové mapy, jež by rozdělila celou plochu parkoviště do jednotlivých sektorů pro snadnější identifikaci volného parkovacího místa a následnou navigaci k tomuto místu. V rámci této obrazové mapy bylo vytvořeno 9 různých sektorů, označených písmeny A-I. Počet sektorů byl zvolen na základě množství kamer, jež je potřeba pro pokrytí celého parkoviště.

V druhé části bylo provedeno nasnímání testovací množiny obrazových dat pro účely následné detekce volných parkovacích míst. Toto snímání bylo provedeno z pátého patra budovy FEL/ZČU, přesněji z laboratoře EL511. Pro získání obrazových dat byl zvolen sektor B, vzhledem k umístění kamery. V důsledku nepříznivého počasí a nemožnosti stálého umístění kamery v laboratoři, se bohužel nepodařilo nasnímat parkovací stání v době sněhové pokrývky. V budoucnu se počítá s nákupem venkovních kamer, jejichž konstrukce by umožnila stále umístění na střeše budovy FEL/ZČU.

V další části diplomové práce byla předzpracována testovací množina obrazových dat pro účely detekce volných parkovacích stání. Předzpracování se lišilo u horní a dolní skupiny parkovacích stání, neboť každá skupina byla snímána z jiného úhlu pohledu na karoserii zaparkovaných vozidel. V rámci předzpracování neupravených obrazových dat byly využity metody obsažené v programu *NI Vision Builder for Automated Inspection*, např. geometrická transformace, pomocí které dochází ke kompenzaci zkreslení kamery, dále pak prahování vybraného obrázku, úprava jasu či použití metod pro detekci hran.

Stejný program byl využit i v případě návrhu detekčních metod. Snahou těchto metod u dolní skupiny parkovacích stání je eliminace vlivu překrývání jednotlivých vozidel na výsledné vyhodnocení obsazenosti místa. Celková pravděpodobnost obsazenosti jednotlivých parkovacích míst je vyjádřena v procentech a následně vizualizována s příslušným barevným označením. Pro pravděpodobnosti pohybující se kolem hranice 50% není možné určit reálný stav obsazenosti místa, proto je obsazenost takového místa vyhodnocena jako neurčitá.

K určení úspěšnosti navržených algoritmů, neexistuje žádná zautomatizovaná metoda. Při celkovém pokrytí parkoviště kamerami bude možné porovnat získané údaje s hodno-

tami obsazenosti ze systému, který je realizován u vjezdu na parkoviště. Při manuální kontrole každého jednoho snímku jsem u množiny sta snímků došel k hodnotě úspěšnosti vyhodnocení obsazenosti 97%. Tohoto čísla však bylo dosaženo za příznivého počasí. Mlhu ani jiné nepříznivé klimatické podmínky se bohužel nepodařilo nasnímat, proto není známa odezva navrženého systému na tyto podmínky.

Výhodou navrženého systému je jeho variabilita, při dostatečném pokrytí parkovacích ploch kamerami, lze přizpůsobit jakémukoliv parkovišti. Další nepochybnou výhodou je možnost detekce volných parkovacích míst bez nutnosti zásahu do vozovky, což u jiných metod není možné. Nevýhodou je nižší hodnota úspěšnosti vyhodnocení obsazenosti parkovacích míst, která je zapříčiněna množstvím faktorů, jež mohou znemožnit výhled na detekované místo (počasí, velká vozidla).

Celý projekt realizace videodetekce volných parkovacích míst na parkovišti FEL/ZČU je teprve na začátku. Tato práce měla za úkol zjistit zdali a za jakých podmínek je realizace vůbec možná. Nyní je potřeba zakoupit dostatečný počet kamer pro pokrytí celého parkoviště. Následně realizovat komunikaci mezi těmito kamerami a serverem, jehož činností bude vyhodnocování získaných dat. Vyhodnocené údaje by měly být předány řidiči pomocí mobilní nebo webové aplikace.

# Literatura

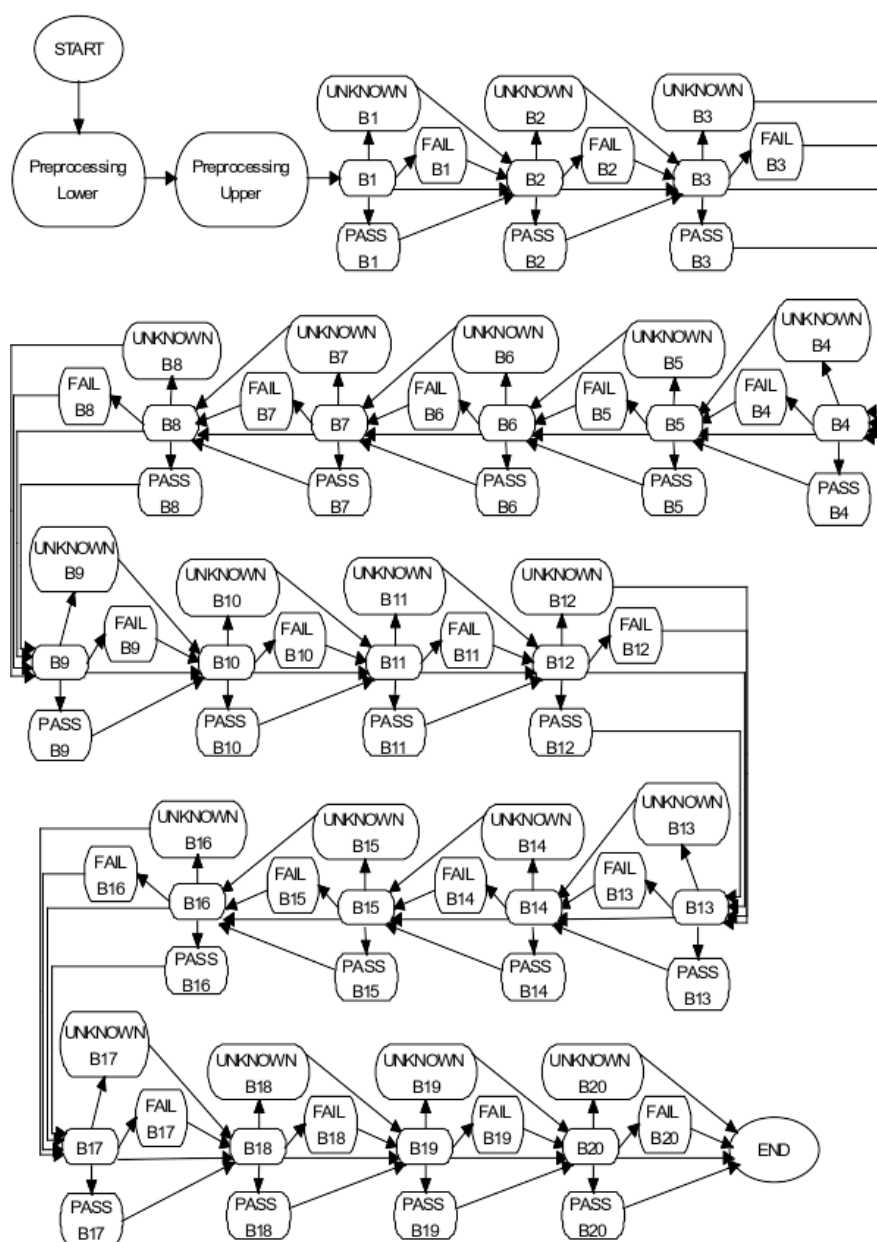
- [1] PŘIBYL, Pavel, SVÍTEK, Miroslav. *Intelligentní dopravní systémy*. Vyd. 1, Praha: BEN - technická literatura, 2002. 543 s. ISBN 80-7300-029-6.
- [2] BIZON, Nicu, DASCALESCU, Lucian a MAHDAVI TABATABAEI, Naser. *Autonomous Vehicles: Intelligent Transport Systems and Smart Technologies (Engineering Tools, Techniques and Tables)*. Vyd.1, Nova Science Pub Inc, 2014. 544 s. ISBN 978-1-63321-326-5.
- [3] SOBOTKA, Zdeněk, SOBOTKA, Martin. *Systémy Pro číslicové Zpracování Obrazu: Studijní Texty 1*. Vyd.1, Praha: Dům techniky ČSVTS, 1989. 244 s. ISBN 80-02-99035-8.
- [4] SOBOTKA, Zdeněk, SOBOTKA, Martin. *Systémy Pro číslicové Zpracování Obrazu: Studijní Texty 2*. Vyd.1, Praha: Dům techniky ČSVTS, 1989. 341 s. ISBN 80-02-99036-6.
- [5] VENTZAS, Dimitros. *Advanced Image Acquisition, Processing Techniques and Applications I*. Vyd.1, InTech, 2012. 178 s. ISBN 978-953-51-0342-4.
- [6] LUKAC, Rastislav, PLATANIOTIS, Konstantinos N. *Color Image Processing: Methods and Applications*. Vyd.1, CRC Press, 2006. 600 s. ISBN 978-054-93-9774-5.
- [7] RYBIČKA, Jiří. *LATEX pro začátečníky*. Vyd.3, Brno: Konvoj, 2003. 238 s. ISBN 80-7302-049-1.
- [8] KOPKA, Helmut a DALY, Patrick W. *LATEX: podrobný průvodce*. Vyd.1, Brno: Computer Press, 2004. 576 s. ISBN 80-722-6973-9.
- [9] *NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial*, [online], 2015. [Cit. 5. 5. 2015]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373379f.pdf>
- [10] *Složení vozového parku v ČR*, [online], 2015. [Cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://www.autosap.cz/sfiles/a1-9.htm>
- [11] *Podrobné statistické údaje*, [online], 2015. [Cit. 21. 2. 2015]. Dostupné z: <http://www.zcu.cz/about/profile/podrobne-statisticke-udaje.html>

- [12] *How does it work?*, [online], 2015. [Cit. 25. 2. 2015]. Dostupné z: <http://www.fastprk.com/our-solution/how-does-it-work.html>
- [13] *Chytré pouliční parkování*, [online], 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.scmagazine.cz/article/view/8>
- [14] *Smart Parking Sensor Platform enables city motorists save time and fuel*, [online], 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.libelium.com/smart-parking/>
- [15] *Parking Lot Wireless Parking Space Vehicle Detector Sensor System*, [online], 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: [http://rosimits.en.alibaba.com/product/1189770904-219519304/Parking\\_Lot\\_Wireless\\_Parking\\_Space\\_Vehicle\\_Detector\\_Sensor\\_System](http://rosimits.en.alibaba.com/product/1189770904-219519304/Parking_Lot_Wireless_Parking_Space_Vehicle_Detector_Sensor_System)
- [16] *Počítání vozidel a obsazenost parkoviště*, [online], 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.technopark.cz/pocitani-vozidel-a-obsazenost-parkoviste>
- [17] *System Park and Ride*, [online], 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/ord/parkovani-park-ride.htm>
- [18] *PARKING - navádění/obsazenost*, [online], 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.data-daemon.cz/Produkty/Parkingguidance/tabid/73/language/en-US/Default.aspx>
- [19] *Parkování a dopravu v Praze usnadní mobil*, [online], 2015. [Cit. 2. 3. 2015]. Dostupné z: <http://iphonemania.mobilmania.cz/parkovani-a-dopravu-v-Praze-usnadni-mobil>
- [20] *Intrusivní detektory*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://zolotarev.fd.cvut.cz/ma/ctrl.php?act=show,file,21577>
- [21] *Křižovatky se světelným signalizačním zařízením*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-ssz.htm>
- [22] *Basics of vehicle detection by MagSense*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://mobilisis.eu/en/home/fahrzeugerfassung/>
- [23] *Traffic Detector Handbook: Third Edition—Volume II*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06139/chapt5d.cfm>
- [24] *Parking lot lighting with pir sensor*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: [http://josgood.en.alibaba.com/product/60060408739-222207393/parking\\_lot\\_lighting\\_with\\_pir\\_sensor.html](http://josgood.en.alibaba.com/product/60060408739-222207393/parking_lot_lighting_with_pir_sensor.html)
- [25] *Motion sensor led tube*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.highbaylightingled.com/supplier-72090-motion-sensor-led-tube>

- [26] *Maxsa Dual Garage Laser Parking System*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.amazon.ca/Maxsa-Garage-Laser-Parking-System/dp/B000LZFUAO>
- [27] *Advice for algorithm choice*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://stackoverflow.com/questions/25413458/advice-for-algorithm-choice>
- [28] *Systém obsazenosti parkoviště*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: <http://www.parksystem.cz/parkovaci-systemy/system-obsazenosti-parkoviste/>
- [29] *Ultrasonic Parking Sensor*, [online], 2015. [Cit. 11. 3. 2015]. Dostupné z: [http://ake.en.alibaba.com/product/373281312-209495545/Ultrasonic\\_Parking\\_Sensor.html](http://ake.en.alibaba.com/product/373281312-209495545/Ultrasonic_Parking_Sensor.html)
- [30] *Colormath Basics for Shaders*, [online], 2015. [Cit. 21. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.laurenscorijn.com/articles/colormath-basics>
- [31] *Morphological Operations: Theory*, [online], 2015. [Cit. 21. 4. 2015]. Dostupné z: <http://virtual-labs.ac.in/labs/cse19/theory.php?exp=morph>
- [32] *Matematická morfologie*, [online], 2015. [Cit. 21. 4. 2015]. Dostupné z: [http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/POV/lectures-pdf/08\\_Matematicka\\_morfologie](http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/POV/lectures-pdf/08_Matematicka_morfologie)
- [33] *Praktické využití metod digitálního zpracování obrazu*, [online], 2015. [Cit. 21. 4. 2015]. Dostupné z: <http://soc.nidv.cz/data/2007/01-2.pdf>
- [34] *Matematická morfologie - Eroze*, [online], 2015. [Cit. 21. 4. 2015]. Dostupné z: <http://blade1.ft.tul.cz/elearning/Media/File/5/123/P7.pdf>
- [35] *Binární matematická morfologie*, [online], 2015. [Cit. 21. 4. 2015]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/71-3MatMorpholBinCz.pdf>
- [36] *aca1300-30gc*, [online], 2015. [Cit. 22. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.baslerweb.com/en/products/area-scan-cameras/ace/aca1300-30gc>
- [37] *VIVOTEK IP8355EH*, [online], 2015. [Cit. 22. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.vivotek.com/ip8355eh/#views:view=jplist-grid-view>
- [38] *Směrodatná odchylka*, [online], 2015. [Cit. 27. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/smerodatna-odchylka>
- [39] *HSV model*, [online], 2015. [Cit. 28. 4. 2015]. Dostupné z: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/HSV\\_cylinder.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/HSV_cylinder.png)
- [40] *City2.e 2.0*, [online], 2015. [Cit. 28. 4. 2015]. Dostupné z: <http://robotik.dfki-bremen.de/en/research/projects/city2e-20-1.html>

# Příloha A

## Stavový automat





# Příloha B

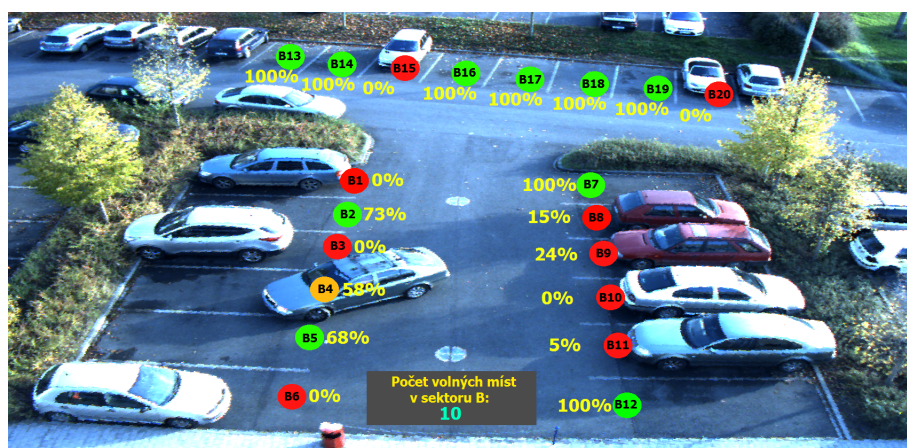
## Procentuální obsazenost míst

Iter.	Date	Time (milliseconds)	Status	PercentB1	PercentB10	
	PercentB11	PercentB12	PercentB13	PercentB14	PercentB15	PercentB16
	PercentB17	PercentB18	PercentB19	PercentB2	PercentB20	PercentB3
	PercentB4	PercentB5	PercentB6	PercentB7	PercentB8	PercentB9
	Free Spaces					
1	12. 3. 2015	19:15:44,451	Pass	0,00000	0,00000	
	5,26316	100,00000	100,00000	91,66667	8,33333	100,00000
	100,00000	100,00000	100,00000	77,27273	8,33333	0,00000
	94,73684	100,00000	0,00000	100,00000	10,52632	23,80952
	11,00000					
2	12. 3. 2015	19:16:40,886	Pass	0,00000	0,00000	
	5,26316	100,00000	100,00000	91,66667	8,33333	100,00000
	100,00000	100,00000	100,00000	77,27273	8,33333	0,00000
	31,57895	100,00000	0,00000	100,00000	15,00000	23,80952
	10,00000					
3	12. 3. 2015	19:16:57,787	Pass	0,00000	0,00000	
	5,26316	100,00000	100,00000	91,66667	8,33333	100,00000
	100,00000	100,00000	100,00000	77,27273	8,33333	0,00000
	10,00000	100,00000	0,00000	100,00000	10,52632	23,80952
	10,00000					
4	12. 3. 2015	19:17:17,278	Pass	0,00000	0,00000	
	5,26316	100,00000	100,00000	91,66667	8,33333	100,00000
	100,00000	100,00000	100,00000	77,27273	8,33333	0,00000
	0,00000	100,00000	0,00000	100,00000	10,52632	23,80952
	10,00000					
5	12. 3. 2015	19:17:32,727	Pass	0,00000	0,00000	
	5,26316	100,00000	100,00000	91,66667	8,33333	100,00000
	100,00000	100,00000	100,00000	77,27273	8,33333	0,00000
	100,00000	100,00000	0,00000	100,00000	15,00000	23,80952
	11,00000					

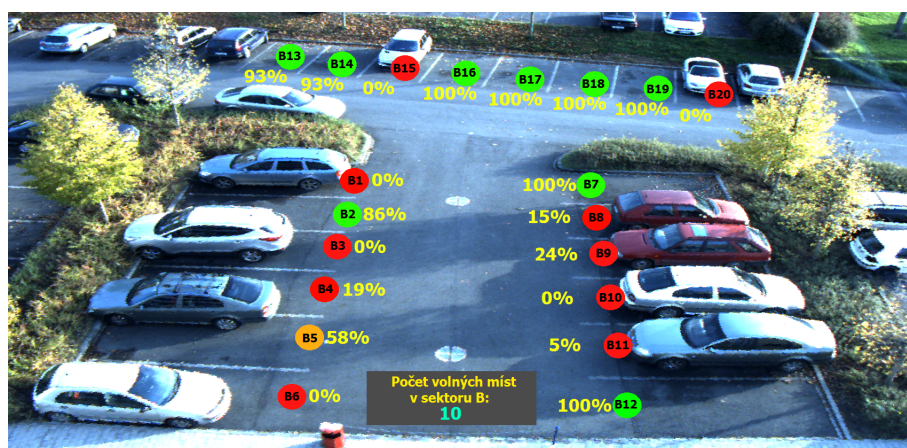
# Příloha C

## Příklad parkovacích míst vyhodnocených jako neznámý stav

### C.1 Dolní skupina parkovacích stání

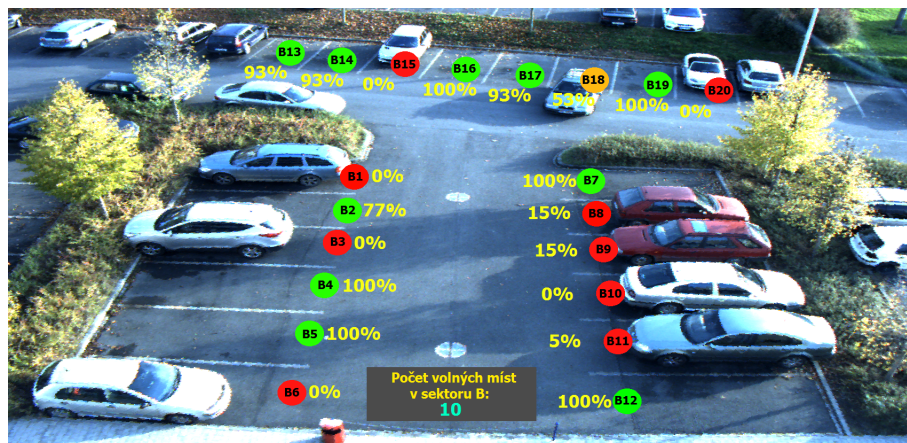


Obr. C.1: Vstup vozidla do oblasti parkovacího místa B4

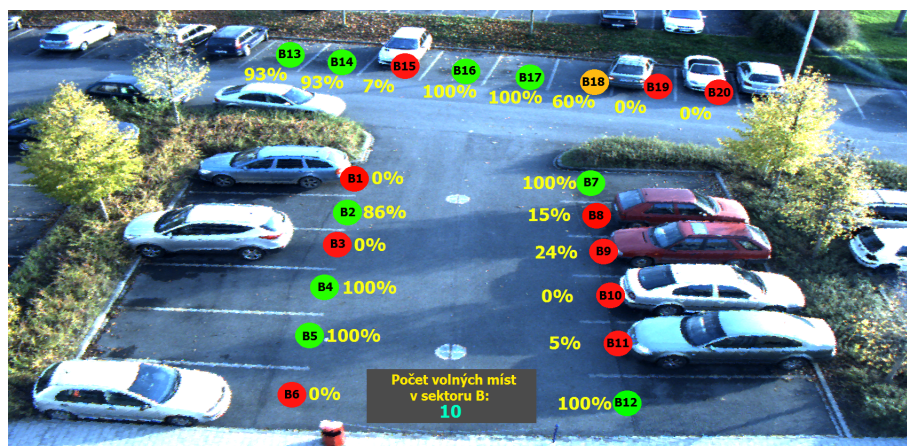


Obr. C.2: Nesprávné parkování přes dvě vyznačená parkovací místa B4 a B5

## C.2 Horní skupina parkovacích stání



Obr. C.3: Vstup vozidla do oblasti parkovacího místa B18



Obr. C.4: Nesprávné parkování přes dvě vyznačená parkovací místa B18 a B19

# Příloha D

## Obsah příloženého CD

1. **DP\_Tomáš\_Sak\_E13N0131P.pdf**  
celkové znění závěrečné práce, shodné s tištěnou podobou
2. **Parking\_Lot\_WBU.vbai**  
konfigurace kamerové inspekce v aplikaci VBAI
3. **Algorithm\_duration.txt**  
celková časová náročnost jednotlivých úloh kamerového testu
4. **Parking\_Lot\_WBU.mp4**  
videosekvence průchodu testovací množiny snímků detekčními metodami
5. **Masks\Mask\_Bottom.bmp**  
maska dolní skupiny parkovacích stání
6. **Masks\Mask\_Top.bmp**  
maska horní skupiny parkovacích stání
7. **Test\_set\park\_15102014\_1630\_0XXX.jp2**  
testovací množina použitých snímků