

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

DETEKCIA VOĽNÝCH PARKOVACÍCH MIEST
BAKALÁRSKA PRÁCA

2017

Andrej Feješ

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

DETEKCIA VOĽNÝCH PARKOVACÍCH MIEST
BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: 2508 Informatika
Školiace pracovisko: Katedra informatiky
Školiteľ: RNDr. Zuzana Černeková, PhD.

Bratislava, 2017

Andrej Feješ



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Andrej Feješ
Študijný program: informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: informatika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Detekcia voľných parkovacích miest.
Free parking slot detection

Cieľ: Naštudovať problematiku sledovania cestnej premávky. Zamerať sa na problém obsadenosti parkovísk. Analyzovať existujúce riešenia dostupné na internete. Implementovať metódu, ktorá bude realtime rozpoznávať počet a polohu voľných parkovacích miest.

Vedúci: RNDr. Zuzana Černeková, PhD.
Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.
Dátum zadania: 18.10.2016

Dátum schválenia: 25.10.2016

doc. RNDr. Daniel Olejár, PhD.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

Čestné prehlásenie:

Čestne prehlasujem, že túto bakalársku prácu som vypracoval samostatne s použitím uvedených zdrojov literatúry.

V Bratislave dňa:

.....
Andrej Feješ

Pod'akovanie:

Ďakujem vedúcej bakalárskej práce RNDr. Zuzane Černekovej, PhD. za cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní tejto práce.

Abstrakt

Detekcia voľných parkovacích miest je problém, ktorý je možné riešiť viacerými spôsobmi. V tejto bakalárskej práci sú definované základné pojmy a techniky súvisiace s detegovaním parkovacích miest. Tento problém je spracovaný pomocou snímania parkoviska kamerou. Implementované sú tri rôzne rozpoznávacie techniky: detekcia hrán, odčítanie histogramov dvoch snímok a metóda strojového učenia - mechanizmy podporných vektorov. Na záver sú otestované a vyhodnotené výsledky úspešnosti detekcie.

Kľúčové slová: detekcia voľných parkovacích miest, detekcia hrán, odčítanie histogramov, support vector machines

Abstract

Detection of vacant parking spaces is a problem, that can be solved in several ways. This bachelor thesis defines the basic concepts and techniques related to the detection of parking spaces. This problem is handled by camera scanning. Three different recognition techniques are implemented: edge detection, subtraction of histograms of two images and machine learning method - support vector machines. Finally, the results of the detection are tested and evaluated.

Keywords: detection of vacant parking spaces, edge detection, subtraction of histograms, support vector machines

Obsah

Úvod	1
1 Analýza existujúcich riešení	3
1.1 Ultrazvukové senzory	4
1.2 Indukčné senzory	5
1.3 Magnetické senzory	7
1.4 Bezdrôtové senzory	8
1.5 Detekcia pomocou kamery	8
2 Nástroje	12
2.1 Matlab	12
2.2 Detekcia hrán	13
2.3 Mechanizmy podporných vektorov	14
2.4 Histogram	16
3 Návrh riešenia	17
3.1 Popis parkoviska	17
3.2 Popis snímacích zariadení	19
3.3 Simulácia	24
4 Implementácia	26
4.1 Detekcia pomocou hrán	26
4.2 Histogram	28
4.3 Mechanizmy podporných vektorov	30

<i>OBSAH</i>	9
4.4 Webová stránka	31
5 Výsledky	32
Záver	36
Prílohy	40

Zoznam obrázkov

1.1	Príklad použitia ultrazvukových senzorov.	6
1.2	Príklad použitia indukčných senzorov.	7
2.1	Vizualizácia rozdelenia dvoch tried prvkov pomocou Support vector machines.	15
3.1	Pohľady na parkovisko z pavilónu matematiky FMFI UK. . .	18
3.2	Pohľad na parkovisko z budovy FEI STU.	18
3.3	Pohľad na parkovisko z pavilónu informatiky FMFI UK. . . .	19
3.4	Webkamera Creative.	20
3.5	Ukážka výstupu webkamery Creative.	20
3.6	Kamera Ximea xiQ s objektívom Ricoh.	21
3.7	Ukážka výstupu kamery Ximea.	22
3.8	Fotoaparát Sony CyberShot.	23
3.9	Ukážka výstupu fotoaparátu Sony.	24
3.10	Ukážka simulačného parkoviska.	25
4.1	Postupnosť krokov detekcie parkovacích miest pomocou edge detection.	28
4.2	Postupnosť krokov detekcie parkovacích miest pomocou histo- gramu.	30
5.1	Ukážka webovej stránky zobrazená na Samsung Galaxy Note 3.	35

Zoznam tabuliek

1.1	Porovnanie prác, ktoré detegujú voľné parkovacie miesta pomocou spracovania obrazu [3].	11
3.1	Technické parametre webkamery Creative [8].	20
3.2	Technické parametre kamery Ximea xiQ [14].	21
3.3	Technické parametre objektívu Ricoh [9].	21
3.4	Technické parametre fotoaparátu Sony [10].	23
5.1	Úspešnosť detekcie na simulačnom parkovisku.	33
5.2	Úspešnosť detekcie pomocou edge detection.	34
5.3	Úspešnosť detekcie pomocou odčítania histogramov.	34
5.4	Úspešnosť detekcie pomocou mechanizmov podporných vektorov.	34

Úvod

Sledovanie cestnej premávky otvára nové možnosti v oblasti bezpečnosti a je priam nevyhnutné pri stále sa zhusťujúcej premávke. Hlavným dôvodom je bezpečnosť jej účastníkov a komfort pri riadení vozidla.

Na monitorovanie sa používajú rôzne techniky a zariadenia. Od kamerových systémov, cez ultrazvukové senzory, parkovacie senzory až po mobilné aplikácie. Používajú sa na rôzne účely: kontrola a vyhľadávanie vozidiel prostredníctvom EČV, analýza premávky na dôležitých cestných úsekoch, štatistika hustoty dopravy, monitorovanie voľných parkovacích miest, zaznamenávanie porušenia pravidiel cestnej premávky (neplatná alebo chýbajúca diaľničná známka, prejazd na červenú, prekročenie povolenej rýchlosti). Mobilné aplikácie nás môžu informovať o aktuálnej dopravnej situácii (Sygic GPS Navigácia) alebo o bezpečnostných a dopravných predpisoch v krajinách Európskej únie (Going abroad). Monitoring cestnej premávky poskytuje ochranu jej účastníkom a zároveň prispieva ku kontrole a poriadku na cestách. Je dôležitou súčasťou premávky vyspelých krajín.

Hľadanie voľného parkovacieho miesta a neustála jazda po parkovisku nie je zaťažujúca iba na našu psychiku, ale aj životné prostredie. Podľa výskumu Donalda Shoupa, profesora Kalifornskej univerzity, je priemerný čas hľadania voľného parkovacieho miesta osem minút. Samozrejme, závisí to od mnohých faktorov: vyťaženosť ulíc, denná špička a iné. Vo svojej práci Cruising for Parking uvádza, že vodiči prejdú ročne 1,5 milióna kilometrov hľadaním voľného miesta, kde by zaparkovali. To sa rovná 38 cestám okolo Zeme alebo štyrom

cestám na Mesiac, spotrebe 178 000 litrov paliva, ktoré znečistí životné prostredie 730 tonami CO₂ [11].

Cieľom našej práce bolo naštudovať problematiku, technológie a existujúce spôsoby riešenia obsadenosti parkovacích miest. Analyzovať predchádzajúce práce zaoberajúce sa touto tematikou. Zozbierané poznatky z publikovaných prác využiť na implementovanie detekčných metód. Na základe implementovaných metód vyhodnotiť nasnímaný materiál.

V prvej kapitole “Analýza existujúcich riešení” sa venujeme obsadenosti parkovísk zo všeobecného hľadiska. Popisujeme spôsoby detekcie na existujúcich realizáciách, analyzujeme predošlé práce a navzájom porovnávame ich výsledky. Druhá kapitola s názvom “Nástroje” popisuje programovacie prostredie a popis metód potrebných na detegovanie. Tretia kapitola “Návrh riešenia” je venovaná popisu parkoviska, snímacích zariadení a simulácii. V predposlednej kapitole s názvom “Implementácia” sme opísali postup spracovania a vyhodnotenia detekčných algoritmov. Posledná kapitola s názvom “Výsledky”, predstavuje zhrnutie spracovania obsadenosti parkovacích miest a porovnanie dosiahnutých výsledkov jednotlivých techník.

Kapitola 1

Analýza existujúcich riešení

Technológie riešenia obsadenosti parkoviska delíme do troch skupín. Podľa toho či sú založené na: počítaní, senzoch alebo spracovaní videa.

Systémy, ktoré sú založené na počítaní, fungujú na princípe ukladania počtu vozidiel pri príchode alebo odchode. Tento spôsob je vhodný, pokiaľ nám stačí informácia o počte voľných miest na parkovisku. Ide o ekonomicky nenáročné riešenie, avšak nevýhodou je, že neumožňuje navigovanie k voľným parkovacím miestam.

Technológia rozpoznávania pomocou senzorických systémov sa riadi fyzikálnymi zákonmi. Jednotlivé senzory prislúchajúce každému parkovaciemu miestu merajú zmenu magnetického poľa, vzdialenosť od vozovky alebo frekvenciu oscilačného prúdu. Namerané hodnoty sú vyhodnocované a prenášané do informačných značiek, panelov a tabúl. Na základe údajov z nich, sú vodiči informovaní o počte voľných miest alebo o smere, kde sa voľné miesta nachádzajú. Vysoká spoľahlivosť a navigovanie k voľným parkovacím miestam sú výhodami tohto riešenia. Nevýhodou je vysoká cena, pretože každé miesto potrebuje svoj senzor.

Tretí spôsob rozpoznávania je založený na snímaní pomocou videokamery

a následnom algoritmickej spracovaní obrazu. Podľa článku [2] je snímanie pomocou kamier príliš drahé a nasnímané dáta je ťažké spracovať. Avšak veľa parkovísk je už snímaných bezpečnostnými kamerami, ktoré je možné využiť aj na tento účel. Je to dobré riešenie pre veľké parkoviská, kde by bolo montovanie stoviek senzorov príliš drahé. Tento spôsob môžeme rozdeliť do dvoch kategórií podľa objektu pozorovania.

1. Car-driven algoritmy, pri ktorých je objekt záujmu auto a algoritmy sú vytvorené na detekciu prichádzajúceho vozidla. Problémom týchto algoritmov sú autá, ktoré sa nachádzajú vo väčšej vzdialenosti. Keďže sú na obrazovke menšie, zaberajú aj menej pixelov a preto je ich rozpoznávanie ťažšie.

2. Space-driven algoritmy sa sústreďujú na prázdne parkovacie miesta. Najčastejšie sa využíva metóda odčítania pozadia. Dôležitá je pri tom nemennosť pozadia. Preto dosahuje táto metóda najlepšie výsledky v interiéri. V exteriéri je účinnosť nižšia kvôli vplyvom počasia.

Veľa autorov využíva kombináciu oboch prístupov použitím rôznych vlastností a algoritmov. Pri tom je najčastejšie používaný nástroj strojového učenia Support Vector Machine a farba ako deskriptor.

1.1 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové snímanie jednotlivých parkovacích miest sa často využíva v krytých parkovacích domoch, nákupných centrách alebo podzemných parkoviskách. Každé miesto vyžaduje samostatný senzor, ktorý je umiestnený nad parkovacím miestom, kde bude vodič parkovať. Ultrazvukový senzor sníma vzdialenosť medzi ním a povrchom vozovky. Toto zariadenie je založené na vysielaní ultrazvukových vln a na následnom zachytávaní spätnej väzby po odraze zvuku od prekážky. V ďalšom kroku vypočíta časový interval od

odoslania signálu po jeho prijatie a na základe toho určí, či nastala zmena vzdialenosti. Keď auto zaparkuje na voľné parkovacie miesto, nastane zmena vzdialenosti a následne je údaj o zmene stavu odoslaný do oblastného radiča. Ich pracovná frekvencia je približne 41 kHz.

Ultrazvukové vlny sú pre ľudské ucho nepočuteľné, pretože ich spektrum kmitov je oveľa vyššie. Využitie ultrazvukových snímačov v praxi je veľmi rozsiahle. Od prístrojov na meranie rýchlosti a smeru vetra, poplašných zariadení až po medicínske využitie v echokardiografii (ultrazvukové vyšetrenie srdca) alebo v sonografii.

Ďalším dôležitým komponentom je oblastný radič, ktorý prijíma signály zo senzorov. Následne aktualizuje informácie o obsadenosti na informačných tabuliach, značkách alebo LED diódach nad jednotlivými miestami (Obr. 1.1). Výhodné sú zariadenia s LED diódami, ktoré napomáhajú vodičom z diaľky identifikovať voľné miesta. Červené diódy označujú obsadené parkovacie miesta a zelené diódy voľné parkovacie miesta.

Výhodami sú presné rozpoznanie jednotlivých parkovacích miest, nenáročnosť na svetelné podmienky, efektívne využitie voľných kapacít, nenáročnosť na údržbu a podrobné štatistické záznamy obsadenosti získavané z jednotlivých senzorov. Avšak toto riešenie je pomerne drahé a nevyužiteľné v exteriéri.

1.2 Indukčné senzory

Ďalším spôsobom ako rozpoznať zaparkované vozidlo je pomocou indukčných slučkových detektorov. Tento mechanizmus je veľmi rozšírený a umiestňuje sa výlučne do zeme (Obr. 1.2). Skladá sa z elektrického vodiča, ktorý je navinutý do slučky a predstavuje indukciu vysokofrekvenčného oscilačného obvodu. Pokiaľ sa v jej blízkosti vyskytne železná karoséria automobilu, spôsobí to zmenu frekvencie obvodu. Ak zmena frekvencie dosiahne



Obr. 1.1: Príklad použitia ultrazvukových senzorov.

predurčenú hranicu, je táto zmena považovaná za prítomnosť vozidla nad detektorom. Keď je táto zmena frekvencie vyhodnotená, je odoslaná na relé výstup.

Indukčné slučkové detektory sa v dopravnom priemysle využívajú na rôzne účely. Od detekcie zaparkovaných vozidiel na parkovisku a sčítania vozidiel až po umiestnenie viacerých slučiek za sebou na zistenie rýchlosti prechádzajúcich dopravných prostriedkov. Umiestňujú sa tri až dvanásť centimetrov pod povrch vozovky. Podľa toho, v akej hĺbke sa slučka nachádza, sa odvíja aj jej citlivosť.

Ako každý spôsob detekcie aj tento má svoje pozitíva a negatíva. Pozitívom je prispôsobivá konštrukcia, spoľahlivé výsledky, odolnosť voči podmienkam počasia a nízka cena. Nevýhodou je obmedzená použiteľnosť pri železobetóno-

vých povrchoch a zabudovaním slučkového detektoru dochádza k zníženiu životnosti cesty.



Obr. 1.2: Príklad použitia indukčných senzorov.

1.3 Magnetické senzory

Magnetický senzor je elektrické zariadenie, ktoré funguje na princípe merania magnetického poľa Zeme. Keď sa v jeho blízkosti nachádza vozidlo, sú zaznamenané drobné zmeny magnetického poľa Zeme, ktoré sú spôsobené feromagnetickými kovmi podvozku vozidla.

Toto zariadenie môže byť pevne pripevnené k povrchu vozovky alebo umiestnené 30 centimetrov pod jej povrchom. Využíva sa na to špeciálne vrtacie zariadenie, ktoré vyvrtá dieru s priemerom snímača. Po umiestnení snímača do otvoru je otvor zasypaný a vrchná vrstva povrchu vozovky je upravená do pôvodného stavu. V tomto prípade je zariadenie kryté pred mechanickým poškodením od vozidiel a súčasne nepodlieha vplyvom meteorologických podmienok. Zapúšťanie je obzvlášť výhodné, pokiaľ nám záleží na estetike parkoviska, pretože materiál povrchu parkoviska sa dá ľahko nahradiť, či už ide o asfalt alebo dlažbu.

Jednotlivé senzory sú namontované pre každé parkovacie miesto a pospájané

káblom, ktorý informácie privedie do riadiacej jednotky. Niektoré modely podporujú prenos informácií prostredníctvom rádiových vln. Výhodou detekcie pomocou magnetických senzorov je rýchle a spoľahlivé určenie obsadenosti a vysoká odolnosť proti poškodeniu. Touto technológiou sa zaoberá nemecká spoločnosť Mobilisis.

1.4 Bezdrôtové senzory

Ďalším spôsobom ako kontrolovať obsadenosť parkovacích miest je pomocou bezdrôtových senzorov. Aktuálne údaje o obsadenosti sú prístupné vodičom prostredníctvom mobilnej aplikácie. Týmto spôsobom dokážu vodiči rýchlo nájsť voľné miesto bez zbytočného obchádzania celého parkoviska.

Bezdrôtové senzory sú široké približne 7 centimetrov a sú zapustené priamo do asfaltu. Nachádzajú sa v strede každého parkovacieho miesta. Ich vývojom sa zaoberá britská spoločnosť Deteq Solutions. To, na akom princípe funguje snímanie ešte nie je všeobecne známe, nakoľko spoločnosť Deteq Solutions sa ešte len snaží o patentovanie tejto novej technológie. Jednotlivé senzory sa bezdrôtovo spájajú s riadiacou stanicou a následne aktualizujú informácie v mobilnej aplikácii. Pozitívny prínos môže byť v nastavovaní dynamických cien za parkovanie v menej rušných uliciach alebo mimo dopravnej špičky. Výhodami sú presné a rýchle určenia obsadenosti, nízka cena, energetická nenáročnosť, dlhá životnosť a použité recyklovateľných materiálov[4].

1.5 Detekcia pomocou kamery

Detekcia parkoviska prostredníctvom kamery je založená na nepretržitom snímaní parkoviska a vyhodnocovaní pomocou detekčného softvéru. Touto metódou sa budem podrobnejšie zaoberať v mojej práci. Umiestnenie kamery je v tomto prípade veľmi dôležité. V ideálnom prípade je kamera umiestnená kolmo (alebo čo najkolmejšie) na zaparkované vozidlá. Najčastejšie sa mon-

tuje na strechu budovy v okolí alebo stĺp verejného osvetlenia. Nežiadúcim faktorom je prekryvanie sa jednotlivých automobilov. Na zázname z kamery je potrebné vykonať rôzne úpravy, ktoré sa realizujú v dvoch fázach. Prvá je predspracovanie (preprocessing), čo predstavuje nastavenie rôznych filtrov a afinných transformácií. V druhej fáze je na obraz aplikovaný detekčný algoritmus.

Výhodou aplikácie tohto riešenia je ekonomická nenáročnosť a takmer žiadna údržba. Nevýhodou môže byť zhoršená účinnosť spôsobená vplyvom nepriaznivého počasia alebo prekrytím susedného miesta vysokým vozidlom.

Analýza existujúcich riešení

V prvej analyzovanej práci [3] sa autori zaoberajú obsadenosťou parkovacích miest. Pre účely testovania algoritmu vytvorili objemnú databázu obrázkov, zachytávajúcich dve univerzitné parkoviska v brazílskom meste Curitiba. Databáza obsahuje spolu 695 899 snímok, z troch rôznych pohľadov kamery. Statické obrázky zaznamenávajú širokú škálu svetelných podmienok, od slnečného počasia až po zamračené daždivé počasie.

Na rozpoznávanie boli použité dva deskriptory: Local Binary Patterns a Local Phase Quantization, klasifikátor Support vector machine (SVM) a Gaussová funkcia. Pri trénovaní aj testovaní SVM bol použitý vždy rovnaký pohľad kamery.

Veľký prínos tejto práce spočíva v databáze obrázkov, ktorá môže slúžiť na výskumné účely pre iné algoritmy. Dosiahnuté výsledky rozpoznávania sú vyše 99%.

Iný prístup zvolili autori Huang a Wang v práci [13]. Hlavnou myšlienkou je použitie ich Bayesian Hierarchical Framework (BHF), ktorý slúži na vysporiadanie sa s dramatickými zmenami osvetlenia, tieňmi alebo skreslením objektov spôsobeným pohľadom kamery. Využíva car-driven a space-driven prístup. BHF má tri vrstvy. Prvá vrstva je pozorovacia vrstva. Jej úlohou je

pozorovať vstupnú snímku. Druhá vrstva (*labeling layer*) slúži na značkovanie zaujímavého obsahu na obrázku. Ide o presné zaznamenávanie pozície objektov a ich tieňov. Tretia vrstva obsahuje vymodelovaný 3D model scény.

Pomocou navrhnutého BHF je scéna správne vymodelovaná a následne správne priradený stav parkovacieho miesta. Autori kladú dôraz na výpočet prirodzeného osvetlenia slnkom. Smer slnečných lúčov, dopad slnečného lúča na model parkoviska a zmeny osvetlenia, ktoré sú tým vyvolané, zohrávajú dôležitú úlohu pri výpočte.

System dosahuje viac ako 98 percentnú úspešnosť pri rôznych svetelných podmienkach. Tento systém má výborné výsledky počas dňa, no v noci môžu nastať problémy spôsobené nepredpokladateľným osvetlením svetlometov prichádzajúcich vozidiel.

Nasledujúca práca [1] navrhuje nový algoritmus pre počítačové videnie, ktorý umožňuje vypočítať transformácie súradníc medzi bodmi v rôznych rovinách. Algoritmus bol testovaný v reálnych podmienkach na parkovacom systéme, ktorý vytvára pseudokolmý pohľad na parkovisko a určuje, či je parkovacie miesto obsadené alebo nie. Na snímanie bola použitá jedna bezpečnostná kamera umiestnená na streche budovy. Program obdrží každú minútu jednu aktuálnu snímku parkoviska. Keďže dáta z kamery neboli optimálne, bolo ich treba upraviť.

Prvým krokom bolo vytvoriť pseudo kolmý pohľad na parkovisko. Na jeho dosiahnutie autori implementovali homografické výpočty. Stačilo im určiť iba štyri body (*correspondents*) medzi obdržaným obrázkom a pseudo kolmým pohľadom na výpočet správnej homografie.

V druhom kroku získavajú textúry každého parkovacieho miesta použitím Gaborovho filtra. Potom sú textúry rozdelené do dvoch tried. Textúry pozadia parkovacieho miesta a textúry parkovacieho miesta s vozidlom. Nakoniec je každá textúra spracovaná s SVM, vytrénovaným na rozpoznávanie voľného miesta. SVM bolo trénované vektormi, ktoré nesú informácie o vlastnostiach textúr a to pre rôzne svetelné podmienky a rôzne typy tieňov. Na trénovanie

bolo použitých 24 300 textúr, z toho bolo 22 470 voľných miest a 1830 obsadených miest. Úspešnosť algoritmu je 97,8%.

V tabuľke 1.1 sme porovnali spomínané práce na základe funkcie, ktorú používajú, počtu sledovaných parkovacích miest a percentilu chyby pri detekcii.

Autor	Funkcia	Počet parkovacích miest	Chyba (%)
P. Almeida a kolektív	Textúra	(UFPR04) 49,335	0.4
P. Almeida a kolektív	Textúra	(UFPR05) 82,516	0.7
P. Almeida a kolektív	Textúra	(PUCPR) 211,776	0.4
Ch. Huang a S. Wang	Farba	6912	1.2
R. Sestre a kolektív	Gabor	12,150	2.2

Tabuľka 1.1: Porovnanie prác, ktoré detegujú voľné parkovacie miesta pomocou spracovania obrazu [3].

Kapitola 2

Nástroje

2.1 Matlab

Matlab je výpočtové prostredie, programovací jazyk, ktorý slúži primárne na matematické výpočty a operácie, ktoré s nimi súvisia. Používa sa na prácu s maticami a vektormi, implementáciu algoritmov, vytváranie užívateľských rozhraní, modelovanie, vytváranie grafov a veľa iného. Veľkou výhodou je kompatibilita s programami napísanými v rôznych iných programovacích jazykoch ako napríklad C, C++, Java, Fortran, Python a iné. Dostupná je rozsiahla dokumentácia s podrobným popisom funkcií a množstvom užitočných príkladov a rád.

Názov je odvodený zo slov *matrix laboratory*, čiže maticové laboratórium. Pôvodne bol určený na prácu s maticami, ale postupne sa jeho využitie rozrastalo. Na začiatku jeho vývoja, v sedemdesiatych rokoch, stál Cleve Moler. Neskôr sa k nemu pridali Steve Bangert, s ktorým prepísali kód v jazyku C. Prvá verzia vyšla pre počítač IBM XT v roku 1985. Jej najväčším nedostatkom bola obmedzená veľkosť pamäte. Postupne s rastúcou výpočtovou silou procesorov sa rozvíjala aj funkcionálnosť a rýchlosť výpočtov v Matlabe. V roku 1994 bola uvedená prvá verzia pre operačný systém Windows. Predošlé verzie boli podporované iba operačným systémom UNIX. V roku

2004 dosiahol Matlab hranicu jedného milióna používateľov z rôznych oblastí priemyslu či vzdelávania. Najnovšia verzia MATLAB 2017a vyšla v marci 2017.

2.2 Detekcia hrán

Detekcia hrán (*edge detection*) je metóda počítačovej grafiky, ktorá sa používa na vyhľadávanie oblastí, v ktorých sa mení jasová hodnota obrazových bodov v scéne. Hrana nemusí vzniknúť iba na hranici dvoch objektov. Cieľom detekcie je nájsť hrany medzi rôznymi zmenami farebných hodnôt, významnými zmenami ostrosti alebo odlíšiť body s nižšími jasovými hodnotami od bodov s vyšším jasom.

Dôležité sú gradientové operátory, najme ich veľkosť a smer. Na detekciu hrán sa používa prvá derivácia, druhá derivácia a zmena znamienka derivácie. Pokiaľ sa nachádza v scéne hrana, bude na tom mieste zvýšená hodnota derivácie jasovej funkcie. Poznáme rôzne druhy algoritmov na detegovanie hrán. Množstvo z nich používa špecifické konvolučné masky na vyjadrenie diferenčných gradientových operátorov [5]. Ďalším podstatným prvkom je určenie prahu (*threshold*). Pri príliš vysokej hodnote sa môžu strácať niektoré podstatné hrany a pri nízkej zas za hrany označí aj šum. Efektívne prahovanie je často náročné.

Detektory hrán sa používajú na odfiltrovanie nežiadúcej a zvýraznenie potrebnej informácie na obraze. Pre niektoré algoritmy je kvalitné detegovanie hrán priam nevyhnutné.

Sobelov filter (operátor) sa radí medzi najpoužívanejšie filtre na detekciu hrán. Vyvinul ho Irwin Sobel a Gary Fieldman v roku 1968. Na rozpoznávanie používa aproximáciu prvej derivácie. Nakoľko využíva vlastnú diferenciáciu, čo zvýrazňuje nežiaduci šum, pracuje aj s vyhladzovaním, ktoré sa snaží

tento šum eliminovať. Filter pracuje s okolím 3 x 3 reprezentatívneho pixla a aplikuje dve konvolučné masky.

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Robertsov filter je jedným z najstarších hranových filtrov. Vytvoril ho Lawrence Roberts v roku 1963. Nakoľko používa okolie 2 x 2 reprezentatívneho pixla, vyznačuje sa veľkou citlivosťou na šum.

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

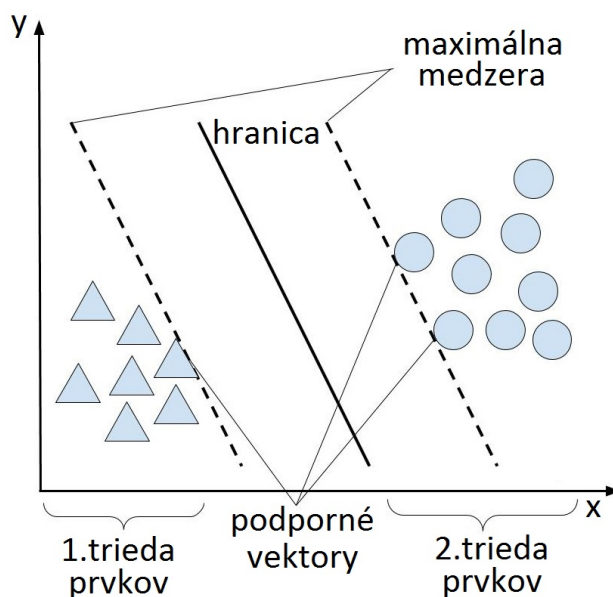
Prewittov filter používa na detegovanie hrán okolie 3 x 3 reprezentatívneho pixla a aproximuje prvú deriváciu. Jeho súčasťou sú dve konvolučné masky. Jedna pre vertikálny a druhá pre horizontálny smer [6].

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

2.3 Mechanizmy podporných vektorov

Mechanizmy podporných vektorov (*Support vector machines (SVM)*) je metóda strojového učenia, ktorá analyzuje dáta a slúži na ich klasifikáciu a regresnú analýzu. Vynašiel ju ruský matematik Vladimir Vapnik. Podstatou tejto metódy je čo najširšie oddelenie dvoch alebo viacerých tried prvkov a správne zaradenie nového prvku [12]. Na určenie hranice (resp. hyperplochy) slúžia iba okrajové prvky oboch tried. Nazývajú sa aj podporné vektory (*support vectors*). Prvky vzdialené od tejto hranice na jej umiestnenie vplyv nemajú (Obr. 2.1).

Súčasťou SVM je jadrová transformácia (*Kernel trick*), ktorá sa používa na zefektívnenie klasifikácie v mnohorozmernom priestore záujmových vlastností. Transformuje vstupy do nového priestoru vyššej dimenzie a vypočítava



Obr. 2.1: Vizualizácia rozdelenia dvoch tried prvkov pomocou Support vector machines.

skalárny súčin. Pomocou jadrovej transformácie je pôvodná, lineárne neseparovateľná úloha pretransformovaná na úlohu lineárne separovateľnú a následne použitím optimalizačného algoritmu vypočítaná hranica.

SVM sa delí na lineárne separovateľné problémy a lineárne neseparovateľné problémy. Lineárne separovateľné problémy sú také, pri ktorých dokážeme jednotlivé triedy rozdeliť rovnou hranicou. Pri lineárne neseparovateľných problémoch sú vstupné prvky v takej konfigurácii, že ich nemožno rozdeliť rovnou hranicou. Riešením tohto problému je povolenie niektorých prvkov za klasifikačnou hranicou. Tieto prvky budú následne penalizované [7].

Pre tréovanie SVM poznáme množstvo algoritmov. Medzi najznámejšie patria Lagrangeove SVM, Newtonova SVM, Sequential minimal Optimization a SVM light.

Známe je tiež nelineárne SVM. Používa sa pri prvkoch, ktoré sa nedajú reprezentovať dvomi dimenziami. Tieto prvky sú transformované do mnohorozmerného priestoru vlastností.

SVM sa nepoužíva iba na body v n-rozmerných priestoroch ale aj na grafy, stromy, DNA a iné. Má širokú škálu uplatnenia od algoritmov na detekciu tváre, prevod písaného textu do elektronickej podoby až po bioinformatické aplikácie.

2.4 Histogram

Histogram je stĺpcový diagram, ktorý slúži na reprezentáciu frekvencie sledovaného javu. Skladá sa z číselných kategórií. Na osi x sú dĺžky jednotlivých intervalov, ktorých veľkosť resp. početnosť je vizualizovaná na osi y. Histogram sa používa na mnoho účelov.

Farebný histogram sa vyskytuje aj ako časť procesu, spracovania obrazu. Spočíta množstvo všetkých farebných bodov v obraze a zaznačí ich do grafu. Ak je na obrázku 121 bodov s hodnotou intenzity 0 (čierna farba) zaznamená to do grafu. Postupne sú zaznačené hodnoty všetkých 255 farieb. Na úpravu kontrastu obrázku sa používa ekvalizácia histogramu. Tento proces je dosiahnutý úpravou resp. vyrovnaním jednotlivých reprezentantov jasových hodnôt.

Kapitola 3

Návrh riešenia

3.1 Popis parkoviska

Sledovanie parkovacích miest je náročný proces. Náročný nielen na získavanie dát, ale aj na ich spracovanie a následné korektné vyhodnotenie. Naším cieľom záujmu bolo parkovisko Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave (FMFI UK). Parkovisko FMFI UK pred budovou pavilónu Matematiky je vybavené 41 štandardnými parkovacími miestami a 2 miestami vyhradenými pre invalidné osoby.

Ako prvé sme začali s analýzou okolitých výškových budov z dôvodu umiestnenia kamery. Tento faktor je veľmi dôležitý. Ideálna poloha kamery vzhľadom na skúmaný objekt je v našom prípade kolmo nad ním. Čím je kamera kolmejšie na parkovisko, tým sú parkovacie miesta úspešnejšie detegované. A to preto, lebo nedochádza k nechcenému prekryvaniu susedných parkovacích miest. Takéto snímacie podmienky sú v skutočnosti iba málokedy realizovateľné.

Na vhodné umiestnenie kamery sme analyzovali tri miesta. Prvé pozorovacie miesto bolo z druhého poschodia budovy pavilónu matematiky FMFI UK. Keďže druhé poschodie nebolo v dostatočnej výške, získané zábery ne-

pokrývali celé parkovisko. Preto sme toto miesto vyhodnotili ako nevhodné. Pre získavanie vhodných snímok z tohto miesta by bolo potrebných viacero kamier alebo kamera s 180 stupňovým zorným uhlom (Obr. 3.1).



Obr. 3.1: Pohľady na parkovisko z pavilónu matematiky FMFI UK.

Druhé snímacie miesto bolo z ôsmeho poschodia neďalekej výškovej budovy Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity (FEI STU). Z tohto miesta by bolo možné snímať celú plochu parkoviska. Nedostatkom bolo prekrývanie značného počtu parkovacích miest verejnou zeleňou (Obr. 3.2). Preto sme aj toto miesto vyhodnotili ako nevyhovujúce.



Obr. 3.2: Pohľad na parkovisko z budovy FEI STU.

Tretím skúmaným miestom bolo prvé poschodie z pavilónu informatiky FMFI UK. Hoci výška tohto miesta nebola optimálna, podarilo sa nám zaznamenať všetky parkovacie miesta (Obr. 3.3).



Obr. 3.3: Pohľad na parkovisko z pavilónu informatiky FMFI UK.

3.2 Popis snímacích zariadení

Kvalita záznamu, veľkosť snímaného uhľa alebo cena sú iba zlomkom analyzovaných parametrov snímacích zariadení. Ďalším našim krokom bolo otestovať a porovnať dostupné kamery. Výber adekvátneho zariadenia zohráva v našej práci výraznú úlohu, od ktorej sa bude odvíjať finálne vyhodnotenie detekcie. Ukážka zhromaždených záznamov a technických parametrov je popísaná nižšie.

Na získavanie záberov sme použili viacero zariadení. Prvým testovaným zariadením bola externá webkamera Creative Live! Cam Chat HD, model VF700 (Obr. 3.4). Technické parametre webkamery sú uvedené v tabuľke 3.1.

Obraz z tejto web kamery bol nevyvážený a nevhodný na ďalšie spracovanie. Najväčším mínusom bola nestálosť a časté výkyvy intenzity farieb. Taktiež nevhodný bol aj snímací uhol, ktorý nepokrýval všetky parkovacie miesta (Obr. 3.5).



Obr. 3.4: Webkamera Creative.



Obr. 3.5: Ukážka výstupu webkamery Creative.

Rozlíšenie	1280 x 720 pixlov
Snímacia frekvencia	30fps pri HD 720p
Senzor	Obrazový snímač s rozlíšením HD 720p
Napájanie	USB 2.0
Ohnisková vzdialenosť	2,08mm (pevná)

Tabuľka 3.1: Technické parametre webkamery Creative [8].

Druhým testovaným zariadením bola kompaktná mini kamera Ximea xiQ, model MQ013MG-E2 a objektív od japonskej spoločnosti Ricoh, model FL-CC0418DX-VG (Obr. 3.6). Tento typ kamier sa používa hlavne v oblasti strojového videnia. Hoci sú rozmery tejto kamery iba necelých 30 x 30 x 30 milimetrov, disponuje kvalitným CMOS senzorom, nízkym napájaním a rozlíše-

ním 1280x1024 pixlov. Na snímanie kamerou Ximea sme použili objektív Ricoh, ktorý umožňuje manuálne nastavenie írisovej clony. Vďaka tomu si môžeme zvoliť množstvo dopadajúceho svetla na senzor kamery podľa našich potrieb. Podrobnejšie parametre zariadení sú v tabuľkách 3.2 a 3.3.



Obr. 3.6: Kamera Ximea xiQ s objektívom Ricoh.

Rozlíšenie	1280 x 1024 pixlov
Snímacia frekvencia	60fps
Senzor	CMOS Matrix B/W
Napájanie	USB 3.0 (0,9W)
Rozmery	26 x 26 x 26 mm
Hmotnosť	26 g

Tabuľka 3.2: Technické parametre kamery Ximea xiQ [14].

Ohnisková vzdialenosť	4,8 mm
Pomer clony	1:1.18
Uhol snímania	54,6° - 95,4°
Rozmery	ϕ 40,5 x 35,5 mm
Hmotnosť	105 g

Tabuľka 3.3: Technické parametre objektívu Ricoh [9].

Kamera spolu s objektívom produkuje kvalitný záznam, čo je badateľné aj na objeme dát (tri minúty záznamu zodpovedajú približne 12 GB). Zorný uhol objektívu je vyhovujúci, pretože zachytáva všetky parkovacie miesta pred pavilónom matematiky FMFI UK (Obr. 3.7). Jej nedostatkom je, že zábery sú šedotónové a tým pádom by nemohli byť použité niektoré detekčné algoritmy.



Obr. 3.7: Ukážka výstupu kamery Ximea.

Ďalším použitým zariadením bol kompaktný fotoaparát Sony CyberShot DSC-HX50 (Obr. 3.8). Tento fotoaparát bol vybavený rozlíšením 1920 x 1080 pixlov a optickým stabilizátorom obrazu pri snímaní videa. Praktický bol aj zabudovaný 3 palcový displej a širokouhlý objektív. Viac technických detailov je uvedených v tabuľke 5.1.



Obr. 3.8: Fotoaparát Sony CyberShot.

Rozlíšenie	1920 x 1080 pixlov
Snímacia frekvencia	60fps
Senzor	Exmor R CMOS s rozlíšením 20.4 Mpx
Napájanie	Akumulátor
Ohnisková vzdialenosť	24 - 720 mm
Rozmery	108,1 x 64,3 x 38,3 mm
Hmotnosť	272 g

Tabuľka 3.4: Technické parametre fotoaparátu Sony [10].

Vďaka širokouhlému objektívu sa ako jedinému zariadeniu podarilo nasnímať celý priestor parkoviska (Obr. 3.9). Ďalšou nezanedbateľnou výhodou bolo jeho rozlíšenie a optická stabilizácia obrazu, ktorá tlmila slabé otrasy spôsobené poveternostnými podmienkami. Nevýhodou fotoaparátu Sony bola dĺžka snímania videa a to iba 30 minút. Potom sa automaticky vypol. Ďalším limitujúcim faktorom bola dvojhodinová výdrž batérie a nemožnosť súčasného nabíjania a snímania videa.

Najvhodnejším zariadením na snímání parkoviska by bola IP kamera [15], ktorá by bola namontovaná na streche pavilónu informatiky FMFI. Nielenže

by bol z tade lepší pohľad na parkovisko, bolo by zabezpečené aj 24 hodinové snímanie z jedného miesta. Mali by sme tak viac materiálu na testovanie algoritmov počas rôznych poveternostných podmienok.

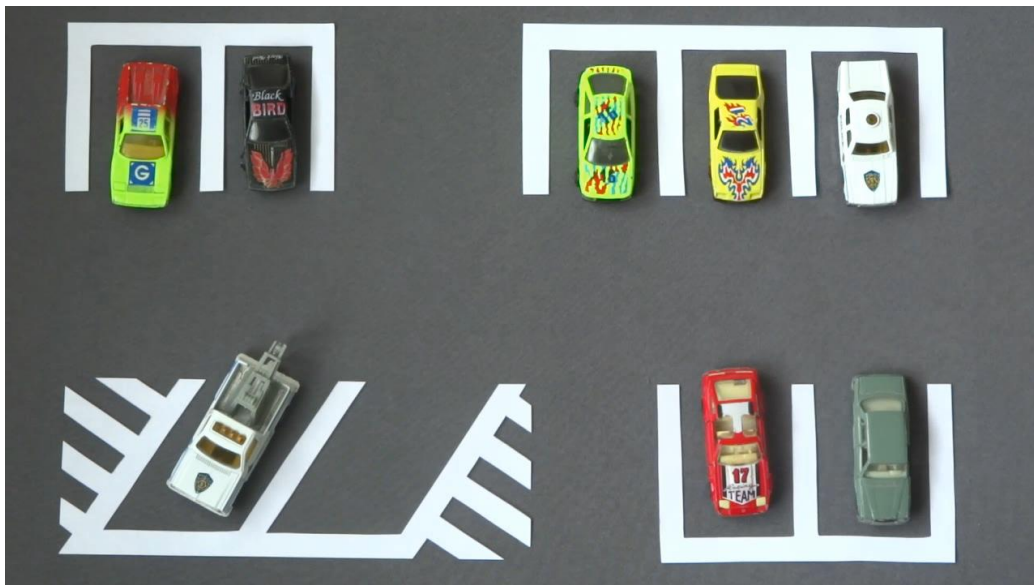


Obr. 3.9: Ukážka výstupu fotoaparátu Sony.

3.3 Simulácia

Ešte pred samotnou prácou s reálnymi zábermi z parkoviska, sme si pripravili množinu simulačných záberov (Obr. 3.10). Tento set slúžil na testovanie implementácie a ukážka funkcionality jednotlivých detekčných algoritmov. Simulačné parkovisko obsahovalo deväť parkovacích boxov. Z toho bolo sedem vertikálnych a dva šikmé boxy. Podkladový materiál sme zvolili šedú textíliu, ktorá slúžila ako náhrada za šedý asfaltový povrch. Na deliace parkovacie čiary sme použili pásiky z papiera. Zaparkované vozidlá reprezentuje dvanásť rôznych modelov autíčok. Na snímanie simulačného parkoviska sme použili fotoaparát Sony. Polohu kamery sme zvolili kolmo nad simulačným

parkoviskom, aby sme eliminovali prekryvanie susedných vozidiel. Pre vytvorenie realistickejšieho prostredia, sú medzi snímkami drobné jasové odchýlky.



Obr. 3.10: Ukážka simulačného parkoviska.

Kapitola 4

Implementácia

Na riešenie problému obsadenosti parkovacích miest sme implementovali a porovnali tri detekčné algoritmy.

4.1 Detekcia pomocou hrán

Prvý spôsob rozpoznávania obsadenosti parkoviska je založený na nefotorealistickej technike počítačovej grafiky, detekcii hrán. Cieľom detekcie hrán je nájsť hranicu medzi dvomi oblasťami s odlišnou farebnou alebo jasovou intenzitou. Detekcia hrán je známy problém a existuje viacero algoritmov zaoberajúcich sa jeho riešením. V našej práci sa pozrieme na niektoré z nich. Konkrétne na Sobelov filter, Robertsov filter a Prewittov filter.

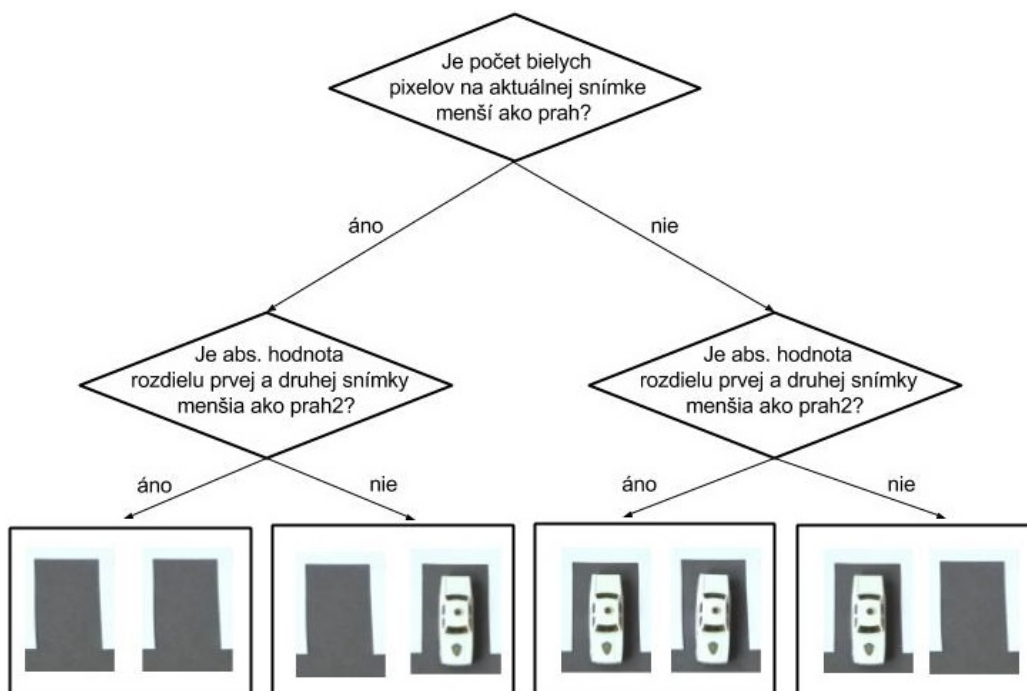
Po načítaní aktuálnej a predchádzajúcej snímky z videa sú obe prevedené do šedotónových farieb. Úprava na šedotónový obraz je základný krok algoritmov na rozpoznávanie hrán. Následne je na šedotónových snímkach vykonaná detekcia hrán s použitím Sobelovho, Robertsovho alebo Prewittovho filtra. Dôležité je správne nastavenie jasovej konštanty (*threshold*). Pokiaľ je hodnota *thresholdu* vyššia ako jasová hodnota pixla na snímke, tak ide o hraničný bod. Inak nie je považovaný za hranu. Nesprávne inicializovaný *threshold* môže spôsobiť, že niektoré hrany budú zahodené alebo budú za

hrany považované miesta, kde sa hrana nenachádza.

V ďalšom kroku sme zo snímky vybrali oblasti, ktoré prislúchajú jednotlivým miestam. Pre simulačné parkovisko to boli jednoznačné oblasti ohraničené parkovacími čiarami. Zložitejšie to bolo pri reálnych záberoch nasnímaných pred pavilónom matematiky. Keďže sme mali k dispozícii iba bočný skosený pohľad, vzniklo na záberoch veľa prekrývajúcich sa oblastí. Niektoré parkovacie miesta boli dokonca kompletne zakryté. Na ďalšie spracovanie boli vybrané oblasti, na ktorých sa objavilo iba jedno zaparkované vozidlo alebo jeho časť. Na simulačnom parkovisku to boli miesta s podobnými rozmermi. Naopak pri reálnych záberoch sú oblasti s nulovým clonením podstatne rozdielne.

Na vyrezanej časti snímky sme spočítali množstvo bielych a čiernych pixelov. Zaznamenali sme ich do tabuľky a vypočítali priemernú hodnotu z maxima bielych pixelov prázdneho miesta a minima bielych pixelov obsadeného miesta. Tento proces sme opakovali pre každé parkovacie miesto. Na základe priemeru vieme zistiť, či sa jedná o prázdne alebo obsadené miesto. Pokiaľ je pixelov menej ako je stanovená hranica pre konkrétne miesto, ide o prázdne parkovacie miesto. V opačnom prípade ide o plné parkovacie miesto.

V ďalšom kroku sme zistili počet bielych pixelov nasledujúcej snímky. Vypočítali sme absolútnu hodnotu rozdielu bielych pixelov dvoch snímok v rámci jedného miesta. Tento postup sme opakovali viac krát pre každé miesto a výsledky si tak isto zaznamenávali do tabuľky. Následne sme si vypočítali priemer medzi maximom rozdielu prázdnych miest na oboch snímkach a minimom rozdielu prázdneho miesta na prvej snímke a plného miesta na druhej snímke. Na základe týchto podmienok vieme vyhodnotiť, či na konkrétnom mieste pribudlo, ubudlo, zostalo alebo nepribudlo vozidlo (Obr. 4.1).



Obr. 4.1: Postupnosť krokov detekcie parkovacích miest pomocou edge detection.

4.2 Histogram

Druhou detekčnou metódou, ktorú sme v našej práci použili bola detekcia pomocou histogramov. Aj v tomto prípade sme najskôr načítali dve za sebou idúce snímky videa a vyrezali miesta, s ktorými sme ďalej pracovali.

V nasledujúcom kroku sme si výrez rozdelili na jednotlivé farebné kanály. Červený, zelený a modrý kanál sme zvlášť previedli na histogram. X-ovej osi histogramu prislúchajú hodnoty od 0 po 255, ktoré reprezentujú zastúpenie celej škály farebných hodnôt. Na osi y-ovej je zaznamenaný počet pixelov, ktoré sa na snímke nachádzajú a prislúchajú konkrétnym farebným hodnotám z osi x-ovej.

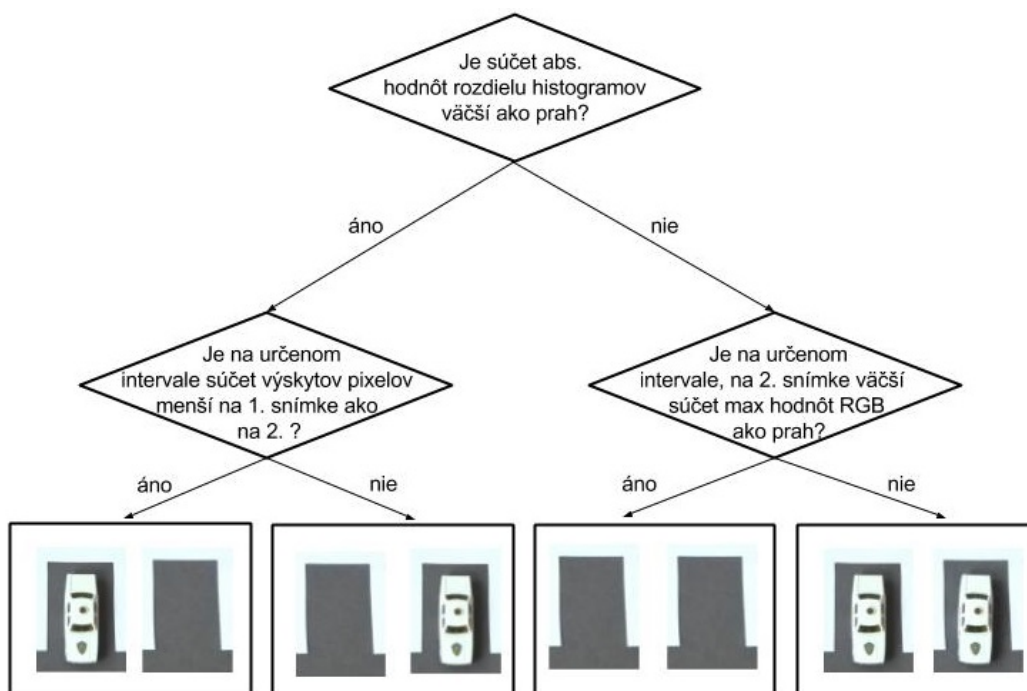
Potom sme vypočítali absolútnu hodnotu rozdielu aktuálnej a predchádzajúcej snímky, pre každú z 255 hodnôt všetkých farebných kanálov na všetkých parkovacích miestach. Sčítané absolútne hodnoty sme si uložili do jednej veličiny, pre každé parkovacie miesto zvlášť a zaznačili do tabuľky. Podobne ako v predchádzajúcej metóde, aj tu sme si určili strednú hodnotu. Strednú hodnotu maxima dvoch prázdnych resp. obsadených miest (ich absolútna hodnota odčítaných histogramov je nízka hodnota) a minima prázdneho a obsadeného alebo obsadeného a prázdneho miesta (ich absolútna hodnota odčítaných histogramov je vysoká hodnota). Podľa strednej hodnoty vieme povedať, či je stav parkoviska nezmenený, čiže je stále prázdne alebo plné, alebo je stav zmenený, čiže došlo k zaparkovaniu alebo vyparkovaniu vozidla (Obr. 4.2).

V ďalšom kroku sme si bližšie definovali tieto dve situácie.

1. Ak je zmena stavu, spočítame si jednotlivo pre obe parkovacie miesta počet výskytov pixelov (spolu pre červenú, zelenú aj modrú) iba na určitom farebnom intervale. Pre simulačné parkovisko to bol interval od 70 po 120. A to práve preto, lebo prázdne miesto má veľké zastúpenie šedej farby, čo sa prejavuje enormným zvýšeným hodnôt práve na tomto intervale. Keď je tam zaparkované vozidlo, šedých bodov je tam omnoho menej a to sa prejaví aj na krivke histogramu. Ak je počet farebných pixelov na aktuálnej snímke (na danom intervale) väčší ako na predošlej, ide zrejme o prázdne miesto, t.j. práve ho vozidlo opustilo. V opačnom prípade ide o obsadené miesto, vozidlo na ňom práve zaparkovalo.

2. Ak nie je zmena stavu, potrebujeme zistiť, či miesto ostáva naďalej prázdne alebo plné. Na to sme použili maximálnu hodnotu. Na aktuálnej snímke sme si pre každý kanál daného intervalu našli maximum. Tieto maxima spočítali a porovnali s hraničnou hodnotou. Vychádzame z predpokladu, že šedé prázdne miesto má vysoké zastúpenie pixelov na danom intervale. Keď tam je zaparkované vozidlo, je tam šedých bodov značne menej.

Hraničnú hodnotu sme si vopred vypočítali na základe testovaných vstupov prázdnych a obsadených miest.



Obr. 4.2: Postupnosť krokov detekcie parkovacích miest pomocou histogramu.

4.3 Mechanizmy podporných vektorov

Posledná detekčná metóda, ktorej sme sa v našej práci venovali, je metóda strojového učenia - Support vector machines. Táto metóda bola úspešná vo viacerých analyzovaných prácach a preto sme sa ju rozhodli implementovať aj my.

Na rozdiel od detekcie hrán a histogramov, pri ktorých sme potrebovali aktuálnu a predošlú snímku parkoviska, pri tejto metóde nám stačí iba aktu-

álna snímka. V našej práci sme mierne modifikovali implementáciu SVM z Matlabu.

Ako prvé sme si vytvorili dve triedy obrázkov, každú v jednej zložke. Prvá trieda obsahovala snímky voľných parkovacích miest a druhá obsadených miest. Snímky, ktoré prislúchali rovnakým miestam, mali rovnaké rozmery pre voľný aj obsadený stav. Potom sme nastavili cestu k týmto triedam. Rekurzívnym prehľadávaním rodičovskej zložky sme si zadefinovali počet tried. Snímky sú potom rozdelené na dve množiny. Na trénovaciu množinu a na testovaciu množinu. Môžeme si nastaviť ľubovoľný pomer rozdelenia a postupný alebo náhodný výber snímok. Z trénovacej množiny je potom vytvorené vrece objektov vlastností (*bag of features*) pomocou ktorého sme trénovali klasifikátor. Následne sme vyhodnotili klasifikátor pomocou testovacej množiny.

Po načítaní aktuálnej snímky sme si vyrezali každé parkovacie miesto podľa rozmerov, ktoré sme použili v trénovacej a testovacej množine. Na kategorizáciu vstupných parkovacích miest aplikujeme natrénovaný klasifikátor, ktorý rozhodne, či sa na mieste nachádza zaparkované auto. K dispozícii je aj tabuľka s pomerom úspešnosti vyhodnotenia a príslušnosti k obom triedam.

4.4 Webová stránka

Na zobrazenie výstupných dát sme vytvorili webovú stránku. Stránku sme vytvorili v minimalistickom štýle priamo v Matlabe. Zobrazujeme počet voľných resp. obsadených parkovacích miest a ich polohu pomocou modelov autíčok vytvorených z ASCII znakov. Jej obsah je generovaný na základe vyhodnotenia detekcie obsadenosti parkovacích miest pred pavilónom matematiky FMFI UK. Po vygenerovaní je stránka uložená ako html súbor a odoslaná na ftp server.

Kapitola 5

Výsledky

Všetky detekčné metódy sme najskôr otestovali na videu simulačného parkoviska. Video bolo zostrihané tak, aby čo najvernejšie zachytávalo dianie na parkovisku. Jednotlivé súradnice a veľkosť parkovacích miest boli dopredu zadefinované. Keďže sme simulovali snímanie priemyselnej kamery umiestnenej na vyvýšenom mieste, obraz bol statický. Zadefinované súradnice nebolo nutné ďalej kalibrovať. Aby sme zamedzili prekrývaniu jednotlivých parkovacích miest susednými vozidlami, zvolili sme kolmé snímanie. Bolo použité prirodzené osvetlenie, čo spôsobilo mierne jasové odchýlky.

Vytvorili sme si dve disjunktné množiny snímok. Prvá bola použitá na simulačné video. Druhá množina slúžila na výpočet všetkých prahov, súradníc a nastavovanie hodnôt. Pri technike SVM slúžila na tréning klasifikátora. V tabuľke 5.1 uvádzame úspešnosť detekcie implementovaných techník v rámci simulačného parkoviska.

Na snímanie reálneho prostredia sme mali vyhladnutú IP kameru [15], ktorá by bola na tento účel najvhodnejšia. Keďže nebola k dispozícii, museli sme zvoliť alternatívne riešenie. Na zbieranie materiálu z parkoviska pred pavilónom matematiky FMFI sme použili digitálny fotoaparát Sony CyberShot DSC-HX50. Nevýhodná bola možnosť snímania iba 30 minútového záznamu

Detekčná metóda	Počet park. miest	Úspešnosť detekcie
Detekcia hrán	306	100%
Odčítanie histogramov	306	100%
SVM	306	100%

Tabuľka 5.1: Úspešnosť detekcie na simulačnom parkovisku.

a dvojhodinová výdrž batérie, takže sme nemohli snímať parkovisko nepretržite. Tento technický nedostatok spôsobil, že videá použité na testovanie programu mali posunuté súradnice parkovacích miest. Preto bolo potrebné pri každom videu nastaviť správne súradnice. Kameru sme sa snažili umiestniť čo najvyššie, aby sme mali čo najlepší pohľad na všetky parkovacie miesta a eliminovali tým prekrývanie. Keďže nám nebolo umožnené snímať zo strechy pavilónu informatiky, museli sme si vystačiť s prvým poschodím. Aby sme maximalizovali výšku snímania a zároveň zabezpečili statický záznam, umiestnili sme fotoaparát na 166 centimetrov vysoký statív. Poloha umiestnenia kamery je jeden z najdôležitejších faktorov v procese výpočtu, pretože sa od neho odvíja veľkosť detegovaných oblastí.

Detekčné algoritmy sme otestovali na 32 parkovacích miestach z celkového počtu 43 miest. Jedenásť miest sme nedetegovali z dôvodu 100 percentného prekrývania susednými vozidlami. Na spracovanie všetkých parkovacích miest by bolo potrebné umiestniť kameru vyššie alebo snímať pomocou dvoch kamier.

Po nastavení potrebných súradníc a prahov sme aplikovali techniku detekcia hrán na zázname z parkoviska. Na testovanie boli použité videá z viacerých dní. Úspešnosť tejto techniky je v tabuľke 5.2.

Druhá detekčná metóda, ktorú sme otestovali, bola odčítanie histogramov. Jej úspešnosť spolu s počtom detegovaných parkovacích miest uvádzame v tabuľke 5.3.

Použitá detekčná metóda	Počet park. miest	Počet test. snímok	Úspešnosť detekcie
Detekcia hrán	32	704	80%

Tabuľka 5.2: Úspešnosť detekcie pomocou edge detection.

Použitá detekčná metóda	Počet park. miest	Počet test. snímok	Úspešnosť detekcie
Odčítanie histogramov	32	608	86%

Tabuľka 5.3: Úspešnosť detekcie pomocou odčítania histogramov.

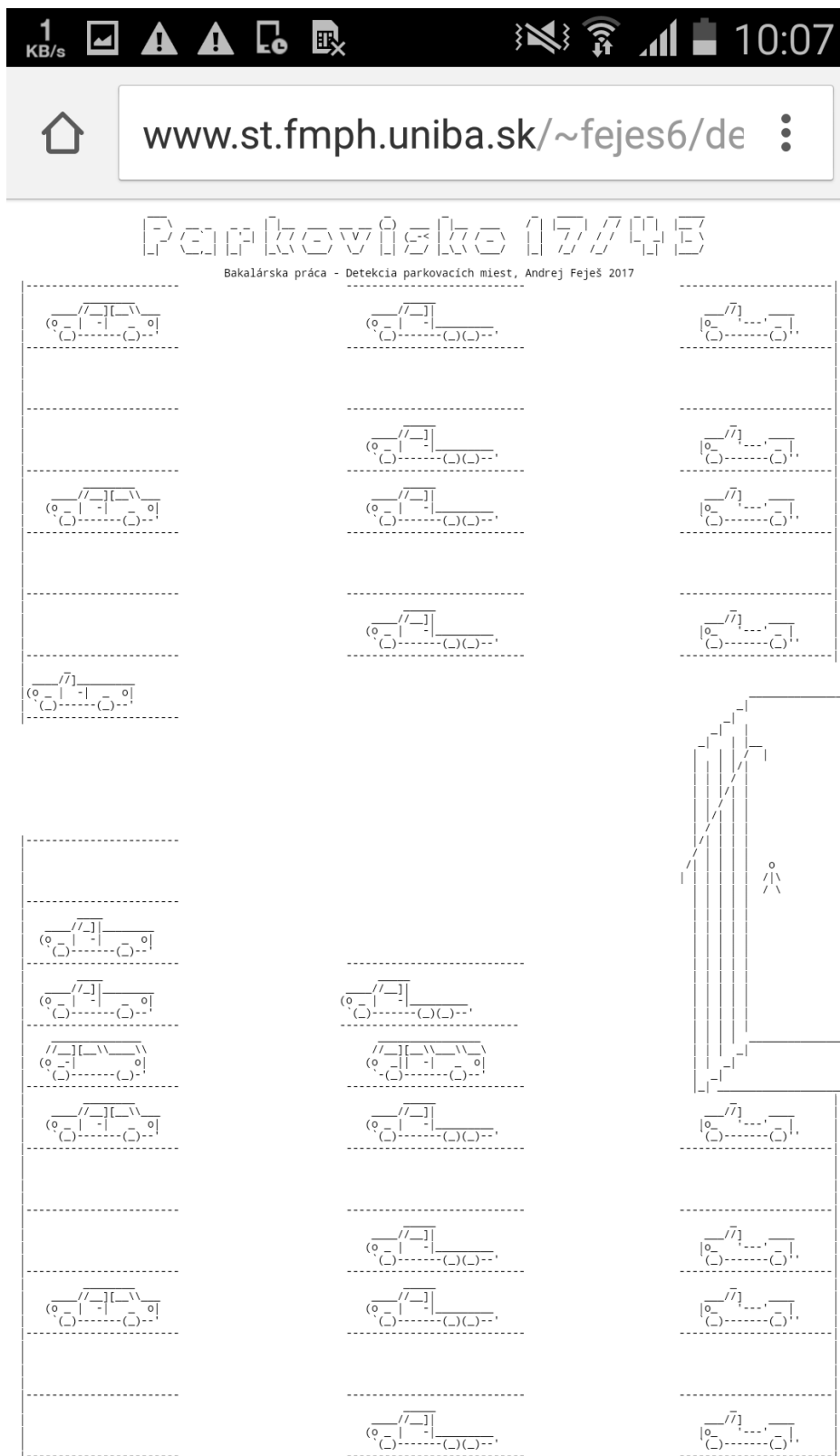
Posledná testovaná metóda - SVM mala najvyššiu úspešnosť detekcie. Zaznamenali sme ju v tabuľke 5.4.

Použitá detekčná metóda	Počet park. miest	Počet test. snímok	Úspešnosť detekcie
SVM	32	512	91%

Tabuľka 5.4: Úspešnosť detekcie pomocou mechanizmov podporných vektorov.

Výstupné dáta detekcie parkovacích miest sme sa rozhodli spracovať v podobe webovej stránky. Na prehľadnú vizualizáciu detekcie sme zvolili kombináciu grafickej reprezentácie parkoviska a číselného vyjadrenia obsadenosti. Optimalizovali sme ju tak, aby bola čitateľná na displeji smartfónov, kde by si mohli vodiči skontrolovať informácie o obsadenosti ešte pred príchodom na parkovisko (Obr. 5.1).

Nakoľko sa nepodarilo umiestniť na parkovisko kameru, ktorá by ho snímala nepretržite, tak táto stránka slúži iba ako náhľad. Adresa stránky je: www.st.fmph.uniba.sk/~fejes6/detekcia_volnych_parkovacich_miest/



Obr. 5.1: Ukážka webovej stránky zobrazená na Samsung Galaxy Note 3.

Záver

Cieľom našej práce bolo naštudovať problematiku a techniky detekcie voľných parkovacích miest. Popísali sme jednotlivé spôsoby detekcie a technológie, ktoré využívajú. Môžeme ich deliť podľa spôsobu použitia, finančnej náročnosti realizácie, či úspešnosti rozpoznávania zaparkovaných vozidiel. Naša práca sa bližšie orientovala na spracovanie obsadenosti parkovacích miest pomocou kamery. Analyzovali sme existujúce dostupné práce špecializujúce sa na túto oblasť.

Popísali sme a implementovali sme tri detekčné techniky. Prvou technikou bolo rozpoznávanie parkovacích miest pomocou detekcie hrán. Po použití tejto techniky boli na snímkach parkovacích miest spočítané biele body a podľa ich počtu boli miesta vyhodnotené za prázdne alebo obsadené. Úspešnosť tejto techniky bola 80 percentná.

Druhou technikou bola detekcia pomocou odčítania histogramov. Každá snímka parkovacieho miesta bola prevedená na histogram, ktorý bol odpočítaný od histogramu nasledujúcej snímky. Na základe výsledku sme zistili, či došlo zaparkovaniu alebo vyparkovaniu vozidla. Výsledná úspešnosť dosahovala 86 percent.

Posledná detekčná metóda bola mechanizmy podporných vektorov. Pri tejto metóde bolo potrebné vytvoriť set tréningových snímkov každého miesta. Jednu množinu pre prázdne a jednu pre obsadené. Následne je pomocou klasifikátora

rozhodnuté do ktorej množiny patria vstupné obrázky. Táto metóda bola v porovnaní s ostatnými najúspešnejšia, pretože detegovala s presnosťou 91 percent.

Na záver sme vytvorili webovú stránku ako výstup detekcie obsadenosti voľných parkovacích miest.

Pri testovaní sme zanedbali nepriaznivý vplyv počasia napr. sneh, dážď alebo hmla. Naša práca je ľahko aplikovateľná na iné parkoviská a nezávislá od počtu detegovaných parkovacích miest.

Budúca práca by mohla súvisieť s napojením na kamerový systém mesta a detegovať voľné parkovacie miesta v ich záberoch. Informácia o obsadenosti by mohla pomôcť vodičom pri hľadaní voľného miesta a zefektívniť využitie menej frekventovaných parkovísk.

Literatúra

- [1] R.J. López Sastre, P. Gil Jiménez, F.J. Acevedo, S. Maldonado Bascón. Computer algebra algorithms applied to computer vision in a parking management system. *Institute Electrical Electronics Engineering*, pages 1675–1680, 2007.
- [2] Vanessa W.S. Tang, Yuan Zheng, Jiannong Cao. An intelligent car park management system based on wireless sensor networks. *1st International Symposium on Pervasive Computing and Applications*, pages 65–70, 2006.
- [3] Paulo R.L. de Almeida, Luiz S. Oliveira, Alceu S. Britto Jr., Eunelson J. Silva Jr., Alessandro L. Koerich. Pklot – a robust dataset for parking lot classification. *Expert Systems with Applications*, pages 4937–4949, 2015.
- [4] Duncan Graham-Rowe. Parking sensors to take pain out of finding a space, 10. march 2017. [online]. <https://www.newscientist.com/article/mg21328506.100-parking-sensors-to-take-pain-out-of-finding-a-space/>.
- [5] David Marr, Ellen Hildreth. Theory of edge detection. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 207(1167):187–217, 1980.
- [6] E. Šikudová, Z. Černeková, W. Benešová, Z. Haladová, and J. Kučerová. Počítačové videnie. detekcia a rozpoznávanie objektov, 2015.

- [7] Simon Tong, Daphne Koller. Support vector machine active learning with applications to text classification. *Journal of Machine Learning Research*, pages 45–66, 2001.
- [8] Creative Technology Ltd. Hd video calls made easy, 1. march 2017. [online]. http://www.creative.com/mylivecam/images/productpage/1080/EBro-ChatHD_R4.pdf.
- [9] Ricoh Company Ltd. Vga lens (manual iris lens), 1. march 2017. [online]. https://industry.ricoh.com/en/fa_camera_lens/lens/vga.
- [10] Sony Corporation of America. Full specifications and features dsc-hx50v, 1. march 2017. [online]. <http://www.sony.com/electronics/cyber-shot-compact-cameras/dsc-hx50-hx50v/specifications>.
- [11] Donald Shoup. Cruising for parking access, 15. march 2017. [online]. <http://www.accessmagazine.org/articles/spring-2007/cruising-parking/>.
- [12] J.A.K. Suykens, J. Vandewalle. Least squares support vector machine classifiers. *Neural Processing Letters*, pages 293–300, 1999.
- [13] Ching-Chun Huang, Sheng-Jyh Wang. A hierarchical bayesian generation framework for vacant parking space detection. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, pages 1770–1785, 2010.
- [14] Ximea. Mq013mg-e2, 1. march 2017. [online]. <https://www.ximea.com/en/products/usb3-vision-cameras-xiq-line/mq013mg-e2>.
- [15] Zmodo. 720p hd outdoor ip network camera, 25. january 2017. [online]. <http://surveillance.zmodo.com/720p-hd-outdoor-ip-network-camera.html>.

Prílohy

CD-médium obsahuje:

- kód implementácie detekčných techník,
- galéria obrázkov,
- elektronická verzia bakalárskej práce.