

Fakulta matematiky fyziky a informatiky UK

Východisková Kapitola k bakalárskej práci

Detekcia jazdných pruhov

Ján Zdarilek

1. Úvod

Šoférovanie je pre väčšinu z ľudí bežná vec nad ktorou nemusia špeciálne zamýšľať a mnohé veci robia automaticky. Úlohou šoféra je prejsť bezpečne do svojho cieľa bez kolízií. Na ceste je dôležité sledovať prvky, ktoré pomáhajú udržovať dopravu bez nehôd a pri ich dodržiavaní sa znižuje práve riziko zrážok. Sú to značky, semaforey ale aj jazdné pruhy. Napriek týmto pomôckam pre šoféra sa stávajú mnohé kolízie a niektoré z nich aj s následkami nezlučiteľných zo životom. Sú spôsobené nepozornosťou vodiča, rýchlosťou jazdy, mikrospankom resp. zvýšeným množstvom alkoholu v krvi. Práve mikrospanok má za následok veľké množstvo dopravných nehôd, kedy vodič až s oneskorením reaguje na situáciu na vozovke pred ním.

Mikrospanok je krátkodobý spánkový stav, ktorý trvá niekoľko sekúnd. Slúži na regeneráciu psychických a fyzických síl. Človek vie tomuto stavu predísť tým, že ide na cestu odpočínutý, počas dlhšej cesty si dáva krátke prestávky, dodržiava pitný režim. Avšak ak nedodrží týchto pár základných rád tak mikrospanok na neho môže prísť hocikedy. Sú určité príznaky, ktoré ukazujú možné prejdenie organizmu do stavu mikrospanku. Sú to zívanie, zahmlievanie pred očami, hladenie do diaľky. V prípade, že vodič ani na tieto príznaky nezareaguje vystavuje seba ale aj okolo idúcich riziku dopravnej nehody.

Je dôležité hľadať riešenia na tento problém a vďaka nemu zachrániť veľa ľudských životov. Je to výzva pre každého z nás.

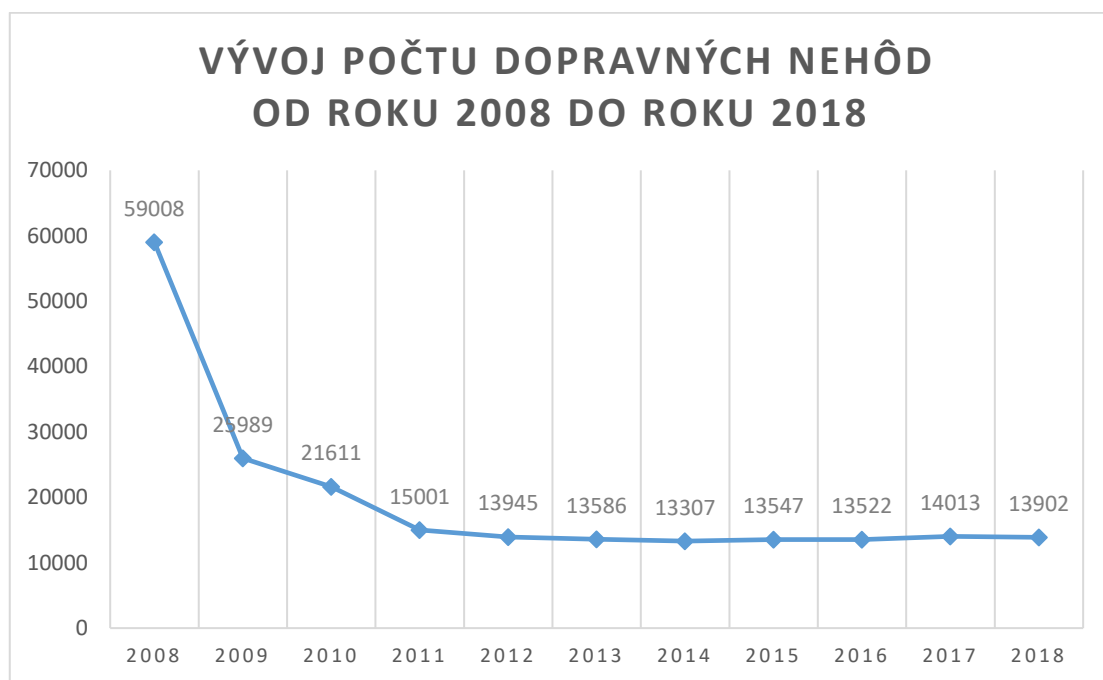
Práve v tejto práci sa budem venovať tomu ako pomôcť predchádzať za pomoci počítačového videnia takýmto nehodám.

V podkapitole 1.1 sa pozrieme na štatistiky nehodovostí v Slovenskej republike a v podkapitole 1.2 sa pozrieme na systémy, ktoré pomáhajú predísť dopravným nehodám.

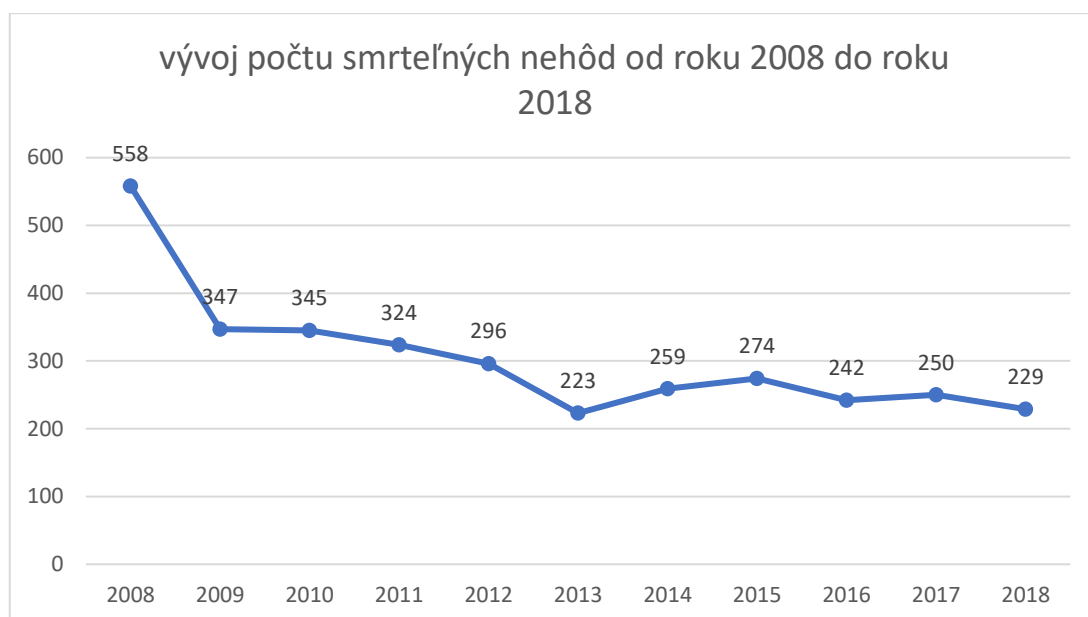
1.1 štatistiky nehodovosti v Slovenskej republike

V tejto časti sa pozrieme na štatistiky dopravných nehôd na Slovensku. Tieto údaje sú zbierané a tvorené políciou Slovenskej republiky. Vďaka nim si môžeme spraviť predstavu o tom ako je to na Slovenských cestách.

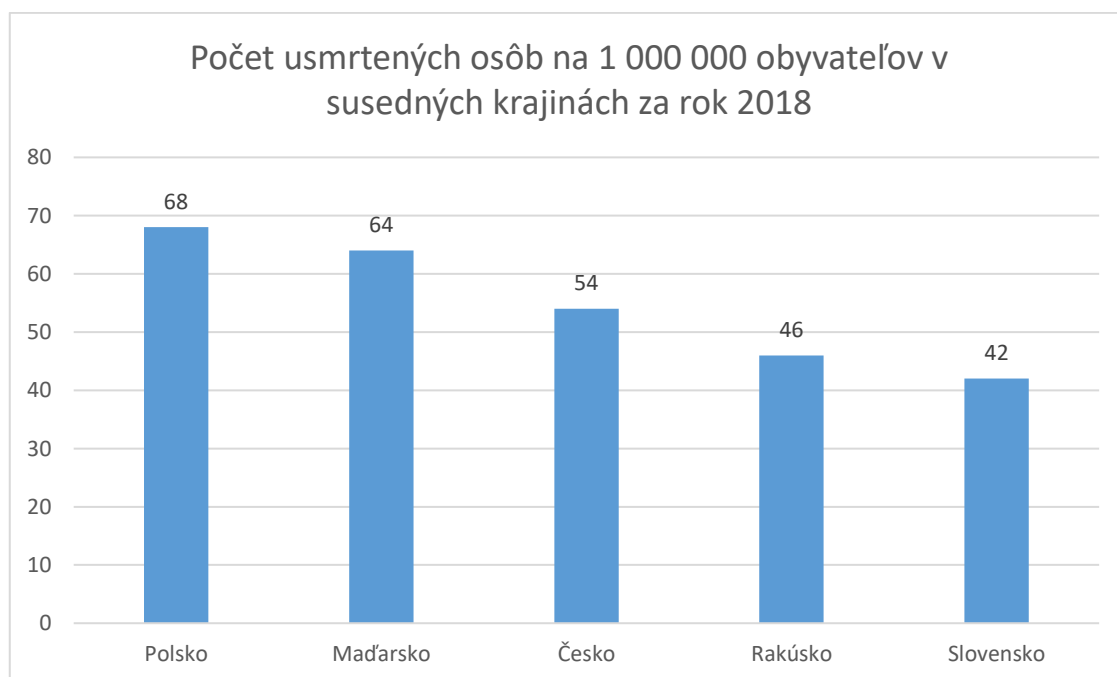
Podľa štatistík z každého roka vieme povedať, že sa nehodovosť od roku 2008 znížili viac ako o štvrtinu. Od roku 2012 sa počet nehôd ustálil medzi 13-14tisíc ročne.[1] V roku 2018 bolo na Slovensku 13902 dopravných nehôd, čo v prepočte vychádza, že sa na Slovensku priemerne stane 38 havárií denne. Klesajúci trend havárií je pozitívnou správou. Tento pokles je spôsobený prísnejšími dopravnými zákonmi ale aj vďaka vývoju bezpečnostných prvkov pre autá.



Počet smrteľných nehôd sa tiež od roku 2008 znížil a to o približne polovicu. Keď porovnáme štatistiky vývoju počtu dopravných nehôd a počtu smrteľných nehôd vyplýva, že aj znížením počtu nehôd je stále vysoká úmrtnosť na cestách. Od roku 2008 sa znížil počet nehôd násobne ale väčšina z nich sú práve nehody, ktoré nemajú smrteľné následky. V roku 2018 bolo na Slovenských cestách usmrtených 229 ľudí.[1] V prepočte na obyvateľov to vychádza 42 usmrtených na jeden milión obyvateľov.



V porovnaní s okolitými krajinami máme najnižšiu úmrtnosť na cestách v prepočte na milión obyvateľov. Avšak táto štatistika je skreslená, keďže v Slovenskej republike sa za smrť pri nehode ráta len ak človek zomrie priamo pri nehode alebo na následky do 24 hodín, kým v medzinárodných štatistikách sa ráta úmrtie do mesiaca na následky nehody. Každá krajina má vlastné štatistické metódy, takže tieto štatistiky môžu byť len orientačné ale nemusia byť úplne presné.



1.2 Zákony o cestnej premávke

V tejto časti si ujasníme niektoré pojmy zo zákonov Slovenskej republiky ohľadom cestnej premávky. Vychádzam zo zákona č. 8/2009 Z. z.

Prvou dôležitou časťou je vysvetlenie samotného pojmu cestná premávka. Cestnou premávkou na účely tohto zákona sa rozumie užívanie diaľnic, ciest, miestnych komunikácií a účelových komunikácií¹) (ďalej len „cesta“) vodičmi vozidiel a chodcami. [2] Pri sledovaní vozovky je dôležitá aj okrajová časť krajnice. Krajnicou sa myslí časť cesty od kraja vozovky po kraj cesty[2] . A posledným pojmom ktorému sa budeme venovať v tejto časti je vozovka. Vozovkou sa myslí spevnená časť cesty určená predovšetkým na premávku motorových vozidiel.[2]

1.3 Úvod do problematiky

Kvôli zníženiu počtu havárií a úmrtí na ceste sa začali vyvíjať rôzne bezpečnostné systémy pre autá. Tieto systémy nie len, že robia väčší komfort a bezpečnosť pre šoféra ale pomáhajú chrániť aj ostatných účastníkov premávky. Jedná sa tu okrem druhých šoférov áut, bicyklov aj o chodcov. Tieto systémy pomáhajú šoférovi v nepredvídateľných situáciách ale aj keď zlyhá ľudský faktor. Často signalizujú rôzne prekážky na ceste, povolenú rýchlosť na danom úseku cesty, či daný vodič jazdí podľa čiar na ceste a mnoho ďalších. Pri niektorých prípadoch dokonca autopilot preberie riadenie a bezpečne odstavi vozidlo na krajnicu. Tieto systémy by s najväčšou pravdepodobnosťou neexistovali nebýt pokrokov práve v odbore počítačové videnie.

Jazdné pruhy sú pre šoféra jeden zo základných orientačných prvkov na ceste. Sú vyznačené rôznymi typmi čiar a farieb. Typy čiar informujú šoféra či môže napríklad predbiehať druhé vozidlo, či na danom mieste môže odstaviť vozidlo. Na Slovensku sa ako farba pruhov používa biela a v prípade, že je cesta v štádiu opravy a pruhy sú zmenené, tak dočasné pruhy majú oranžovú farbu. Avšak nie každá krajina má biele jazdné pruhy. Napríklad v Spojených štátoch amerických používajú žltú farbu. Vnímanie vozovky zahŕňa zisťovanie počtu a polohy pruhov, zlučovanie pruhov ale aj to či je cesta v dedine, meste alebo mimo mesta.

Problémy pri detekcii čiar na vozovke:

Jedným s problémom je rôzny vzhlád čiar. Líšia sa vo svojej šírke, dĺžke, či typom. Čiary sa môžu rozširovať, zužovať, môžu byť prerušované, spojité. Druhým je jasnosť obrazu.

Problém nastáva napríklad pri výjazde auta z tunela. Vtedy môže byť obraz príliš presvetlený. A tretím problémom je ak je slabá viditeľnosť. Môže byť spôsobená hmlou, silným dažďom, snehom na ceste, tieňmi na ceste alebo odrazom od mokrej vozovky. [3]

Keďže potrebujeme aby bezpečnostný systém fungoval v reálnom čase a zároveň jeho omylnosť má byť čo najnižšia tak je potrebné dané prípady problémov vyriešiť tak aby, čo najmenej spôsobovali chyby systému.

Spôsoby na snímanie cesty:

-Videnie pomocou jednej kamery: alebo inak monokulárne videnie funguje za pomoci jednej kamery namontovanej v strede čelného skla auta. Veľmi často býva za spätným zrkadlom. Kopíruje ľudský pohľad na vozovku.[3]

-LIDAR: Jeho nevýhoda je jeho vysoká cena avšak má veľmi veľa dobrých vlastností použiteľných pri detekcii. Dokáže zmerať 3D štruktúru vozidla a určiť vzdialenosť za pomoci odrazu lúča podľa času odrazu od objektu. Nemá problém so svetelnými podmienkami. Napríklad mu nevadia tiene pretože využíva aktívny zdroj svetla. Lidar nám dáva 3D informácie o stúpaní vozovky, rozpoznávaní obrubníka a okrajov ciest a odhad drsnosti vozovky, ktoré slúži na zistenie okraju vozovky v prípade, že sa tam nenachádza značenie.[3]

-Stereo zobrazenie: Pozostáva z dvoch kamier. Je to krok medzi monokulárnym videním a Lidarom. Stereo je lacnejšia alternatíva ku Lidaru. Vie nám poskytnúť rovnaké údaje ako lidar ale s menšou presnosťou. [3]

-Geografický informačný systém (skr. GIS), Globálny lokalizačný systém (skr. GPS) a Inerciálna meracia jednotka (skr. IMU): GIS je počítačový systém pracujúci s geografickou informáciou. GPS slúži na zistenie presnej pozície pomocou satelitov. Geografické dáta spolu s polohou vozidla sa využívajú v komerčných navigačných systémoch. Tieto GPS prijímače zvyčajne dosahujú presnosť na 5 až 10 metrov, ktoré možno zlepšiť použitím presného IMU. Kombináciou týchto troch prvkou by sme dokázali spraviť fungujúce autonómne auto. Avšak závisí od presnosti navrhnutého systému a spoľahlivosť dát. Napríklad nepresné údaje na digitálnej mape, výpadok GPS signálu. [3]

-Dynamika vozidla: : Meria rýchlosť, zrýchlenie a uhlová rýchlosť vozidla pomocou rýchlosti kolesa. Tieto informácie bývajú využívané na dosiahnutie

lepších výsledkov počas sledovania jazdných pruhov. Avšak presnosť meraní dynamiky vozidla je obmedzená. [3]

-Radar: Pre účely detekcie čiar na ceste nie je veľmi užitočný avšak je využívaný v iných systémoch. Dokáže napríklad detekovať prekážky. [3]

Pre čo najlepšie fungovanie systému detekcie je potrebné použiť kombinácie týchto spôsobov. Vtedy dokážeme získať oveľa vyššiu presnosť ako len pri použití jedného spôsobu snímania cesty.

2. Existujúce riešenia

V tejto kapitole sa budeme venovať už existujúcim asistenčným systémom ktoré sú založené na algoritmoch počítačového videnia. Sú to rôzne mobilné aplikácie ale aj samotné systémy pre autonómne autá.

2.1 Systémy pre autonómne autá

LKA – Lane Keep Assistant: V novších vozidlách zväčša nájdeme aj systém na udržiavanie v jazdnom pruhu (LKA – Lane Keep Assistant). Novšie systémy aktívne zasahujú do riadenia a udržujú auto v strede jazdného pruhu. Systém využíva na svoju činnosť kameru umiestnenú za predným sklom a deteguje vodiace čiary v obraze. V prípade, že sú čiary dobre viditeľné, začne vozidlo navádzať. Úroveň zásahu systému je v závislosti od výrobcu či modelu rôzna. Niektoré vytvárajú iba moment na volante, ale samostatne vozidlo neriadia, niektoré zasahujú do riadenia dosť razantne. Žiadny zo systémov, však nie je v takom štádiu, že by sme sa naň mohli vždy spoľahnúť. Sú to iba asistenčné systémy, ktoré uľahčujú jazdu najmä na diaľniciach, ale aj vzhľadom na legislatívu musíte vždy aspoň pridržať volant a byť pripravený kedykoľvek korigovať chyby systému. Vzhľadom na to, že štandardne sa tieto systémy orientujú iba podľa kamery, majú svoje obmedzenia. Tými sú predovšetkým znížená viditeľnosť, hmla, silný dážď, sneženie a podobne.[4]

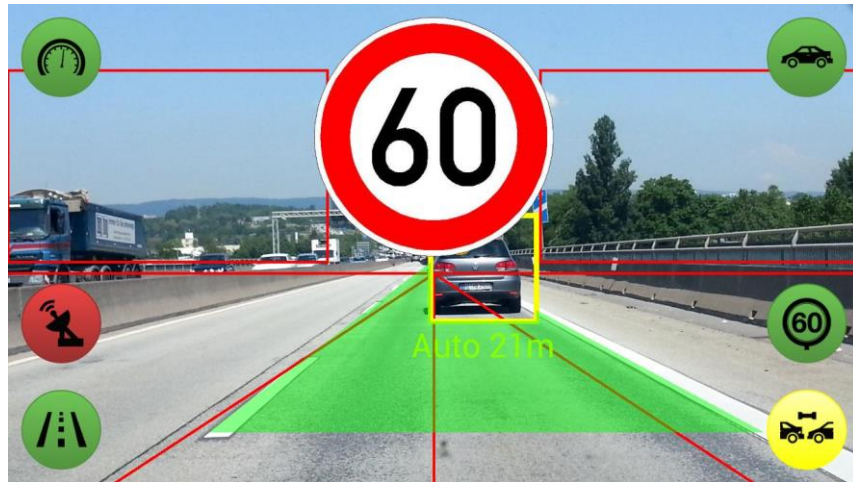


Systém LDWS [7]

LDWS - lane departure warning system: Je system na signalizáciu vybočenia z jazdného pruhu. Tieto systémy sú navrhnuté tak aby minimalizovali nehody spôsobené napríklad rozptýlením vodiča alebo ospalosťou. Tento system využíva princíp Houghovej transformácie a detekcie okrajov pomocou Canny edge detektora. [5]

2.2 mobilné aplikácie na detekciu pruhov

iOnRoad: Táto mobilná aplikácia ukazuje vodičovi jazdnú dráhu pruhu a vzdialenosť áut nachádzajúcich sa pred vozidlom. Dáva hlasový aj vizuálny signál používateľovi, že auto vybáča z pruhu resp. auto idúce pred jeho vozidlom je príliš blízko. Aplikácia využíva natívny fotoaparát zo smartfónu, GPS a senzory na detekciu vozidiel pred používateľovým vozidlom. Vypočítava aj aktuálnu rýchlosť vodiča pomocou natívnych snímačov vďaka čomu vie určiť bezpečnú vzdialenosť medzi vozidlami. Aplikácia ponúka aj automatickú detekciu jazdy. Ak pohyb mobilného zariadenia zodpovedá jazde autom, tak aplikácia začne snímať cestu. Naopak, ak stojíme v kolóne alebo na križovatke, aplikácia nás zbytočne neupozorňuje. Výsledky aplikácie závisia od viacerých faktorov: optiky fotoaparátu, schopnosti rýchleho a presného zaostrovania, procesora, ale aj od okolitých podmienok. Ideálne podmienku sú za jasného počasia a zase naopak pri snežení, hmle aplikácia nemusí byť úplne presná. Aplikácia sa snaží nahradiť drahé systémy zabudované v nových autách. Určite nie je taká presná ako systémy priamo zabudované do auta od výrobcu ale je to veľmi dobrá alternatíva ktorá sa oplatí vyskúšať.



Aplikácia aCoDriver 5 [6]

aCoDriver 5 – Je veľmi podobná k aplikácii iOnRoad. Rovnako sníma pruhy a vzdialenosť vozidiel. Signalizuje príliš krátku vzdialenosť od vozidla a aj vybočenie z jazdného pruhu. Avšak táto aplikácia je použiteľná len pri obmedzenej rýchlosti. Pri presiahnutí maximálnej rýchlosti pri ktorej dokáže detekovať čiary a objekty pred vozidlom prestáva byť aplikácia presná a použiteľná. Vodičovi dá signál o dočasnej nepoužitelnosti aplikácie. [6]

3. technológie a algoritmy

V tejto časti popíšem použité technológie pri tvorbe systému na detekciu čiar na ceste. Od programovacích jazykov až po konkrétne algoritmy vysvetlím ich fungovanie a použitie v práci.

Python - Je moderný programovací jazyk, ktorého popularita stále rastie. Jeho autorom je Guido van Rossum. Je používaný vo firmách ako Google, Youtube, Mozilla. Na rozdiel od mnohých iných jazykov, ktoré sú kompilačné (napríklad Pascal, C/C++, C#) je Python interpreter. [8]

Hlavné vlastnosti jazyka Python:

- veľmi jednoduchá a dobre čitateľná syntax a keďže Python je aj vysoko interaktívny, je veľmi vhodný aj pre vyučovanie programovania
- na rozdiel od staticky typovaných jazykov, pri ktorých je treba dopredu deklarovať typy všetkých dát, je Python dynamicky typovaný, čo znamená, že neexistujú žiadne deklarácie

- Python obsahuje pokročilé črty moderných programovacích jazykov, napríklad podpora práce s dátovými štruktúrami, objektovo-orientovaná tvorba softvéru, ...
- je to univerzálny programovací jazyk, ktorý poskytuje prostriedky na tvorbu moderných aplikácií, takých ako analýza dát, spracovanie médií, sieťové aplikácie a pod.
- Python má obrovskú komunitu programátorov a expertov. [8]

V tejto práci budem využívať verziu pythonu 3.8.1.

Opencv - Je voľne dostupná knižnica pre počítačové videnie a strojové učenie. Knižnica obsahuje viac ako 2500 optimalizovaných algoritmov. Tieto algoritmy môžu byť použité na detekciu tvárí, objektov, rozoznávanie pohybu človeka na videu, extrahovať 3D model objektu a množstvo ďalších. Odhadovaný počet stiahnutí prekročil 18 miliónov. Je používaný od firiem cez vedecké skupiny až po bežných programátorov, či študentov. Opencv je vytvorená pre programovacie jazyky C++, python, Java a Matlab a je podporovaný operačným systémom windows, linux, android a Mac OS. [9]

Segmentácia - Hlavným cieľom segmentácie je rozdeliť obraz na časti, ktoré majú silnú koreláciu s objektami alebo oblasťami reálneho sveta zobrazenými v obraze. Pri čiastočnej segmentácii je cieľom rozdeliť obraz na časti, ktoré sú homogénne z hľadiska vybranej vlastnosti, napr. jasu, farby, odrazivosti, textúry a podobne. Pri segmentácii šedoúrovňových obrazov využívame dve základné vlastnosti týchto obrazov: diskontinuitu a podobnosť. Segmentačné metódy možno rozdeliť na tri skupiny: prahovanie, segmentácia založená na hranách (diskontinuita), segmentácia založená na oblastiach (podobnosť). Nejednoznačnosť obrazových dát je hlavným segmentačným problémom, často sprevádzaným informačným šumom. Čím viac apriórnej informácie je k dispozícii pri segmentačnom procese, tým lepšie výsledky pri segmentácii možno dosiahnuť. [10]

Prahovanie - Najjednoduchšia segmentačná technika, je výpočtovo nenáročná a rýchla. Na segmentovanie objektov od pozadia sa používa jasová konštanta, ktorá sa nazýva prah. Prahovanie je transformácia, ktorá zobrazuje vstupný obraz $f(i, j)$ na výstupný obraz $g(i, j)$ nasledovne:

$$g(i, j) = 1 \quad \text{ak} \quad f(i, j) \geq T = 0 \quad \text{ak} \quad f(i, j) < T.$$

Metódy na určenie prahu sa snažia určiť prah automaticky. Na určenie prahu sa používajú metóda p-podielu, metóda analýzy tvaru histogramu a optimálne prahovanie. [10]

Canny edge detector – Vytvoril ho John F. Canny. Je tiež známy ako optimálny detektor a jeho cieľom je splniť tri hlavné kritériá. Prvé je nízka chybovosť. Tým sa myslí význam správnej detekcie iba existujúcich hrán. Druhou je dobrá lokalizácia. Ide o vzdialenosť medzi pixelmi okrajov detekovaných objektov a reálnych bodov objektu musí byť minimalizovaná. Poslednou je minimalizovanie odozvy teda očakáva sa iba jedna odozva detektora na hranu. Popis fungovania algoritmu:

Na začiatku použijeme filter na odstránenie šumu. Väčšinou sa na tento účel sa používa Gaussovský filter. Príklad gaussovského filtra veľkosti 5.

$$K = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

Nájdenie gradientu intenzity obrazu. Potom po získaní veľkosti a smeru gradientu sa vykoná úplné skenovanie obrázka aby sa odstránili všetky nežiadúce pixely, ktoré nemusia byť okrajom. Výsledkom je binárny obrázok. Posledným krokom je prahovanie. Tento pojem je vysvetlený v časti 3.2.1. [11]

Houghova transformácia je segmentačná technika použiteľná vtedy, keď treba detekovať objekty so známym tvarom hranice. Houghova transformácia môže detekovať rovné čiary aj krivky (hranice objektu) ak sú známe ich analytické vyjadrenia. Je robustná pri identifikácii zakrytých a zašumených objektov.

Houghova transformácia je výpočtovo náročná operácia. Počet priamiek ktoré transformácia skúša je obrovské množstvo. Avšak nám bude stačiť ak vyskúšame 180 priamiek, ktoré predstavujú 180 stupňov. Budeme vychádzať z toho, že priamky nemôžu byť vodorovné keďže jazdné pruhy také niesú a chceme detekovať iba jazdné pruhy. [14]

Houghova transformácia je implementovaná v OpenCV funkciou HoughLines(). Má viacero vstupných parametrov ako binárny obrázok, prah a parametre presnosti p , θ . Funkcia vracia pole (p, θ) hodnôt. p sa meria v pixeloch a θ v radiánoch. [13]

Zdroje

- [1] Polícia Slovenskej Republiky (19.2.2019) *Vyhodnotenie dopravno-bezpečnostnej situácie*,
http://www.minv.sk/swift_data/source/policia/dopravna_policia/dn/prezentacie_dbs/2018/Vyhodnotenie%20DBS%20za%20rok%202018%20def..pdf: minv.
- [2] Polícia Slovenskej Republiky (3.12.2008) *Zákon č. 8/2009 Z. z., o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov* (k 1.1.2017) edn.,
http://www.minv.sk/swift_data/source/policia/dopravna_policia/zakony/zakon%208_2009%20uplne%20znenie%20od%2001.%2001.%202017.pdf: minv.
- [3] A. B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: a survey," *Machine vision and applications*, vol. 25, no. 3, 2014.
- [4] René Hubinský (28.12.2018) *Asistenčné systémy vozidiel*, 1.časť edn.,
<https://www.pcrevue.sk/a/Asistencne-systemy-vozidiel---1-cast>: pcrevue.
- [5] Phooi Yee Lau (január 2017) *Simple illustration of how LDWS work* ,
https://www.researchgate.net/figure/Simple-illustration-of-how-LDWS-work_fig2_312345978: researchgate.
- [6] EvoTegra GmbH (27.5.2017) *aCoDriver 5*, 5.0.1 edn., <https://apkpure.com/acodriver-5/com.evotegra.aCoDriver>: apkpure.
- [7] Vegasrome (2013) *iOnRoad Augmented Driving Pro*, <https://ionroad-pro.en.aptoide.com>: aptoide.com.
- [8] Andrej Blaho (2020) *Jazyk Python*, <http://python.input.sk/01.html>
- [9] OpenCV about (2019) , <https://opencv.org/about/>
- [10] doc. RNDr. Milan Ftáčnik, CSc. (2019) , *SEGMENTÁCIA OBRAZU* ,
<http://sccg.sk/~ftacnik/IP-5.pdf>

- [11] Alexander Mordvintsev, Abid K. (2013) *Canny Edge Detection*, https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_canny/py_canny.html
- [12] docs.openCV , *Canny Edge Detector*,
https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/canny_detector/canny_detector.html
- [13] Alexander Mordvintsev , Abid K. (2013) *Hough Line Transform*, [https://opencv-python-tutroals](https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_houghlines/py_houghlines.html)
- [14] Bc. Gabriel Mrva (2015) Rozšírenie riadenia vozidla počítačovým videním, :
Univerzita Komenského v Bratislave Fakulta matematiky, fyziky a informatiky.
- [15] Elena Šikudová Zuzana Černeková Wanda Benešová Zuzana Haladová Júlia Kučerová (2011) Počítačové videnie Detekcia rozpoznávania objektov, 1 edn., Praha: vydavateľstvo Wikina.