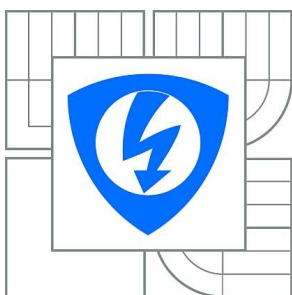


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## **VIZUÁLNÍ NAVIGACE VOZIDLA**

VISUAL NAVIGATION OF THE VEHICLE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

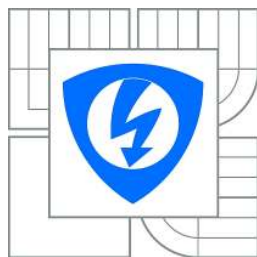
**KAMIL JAŠŠO**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. KAREL HORÁK, Ph.D.**

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Kamil Jaššo

**ID:** 134513

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

**NÁZEV TÉMATU:**

## Vizuální navigace vozidla

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem je realizovat podpůrný senzorový systém pro autonomní řízení vozidla v městském i mimoměstském provozu. Z navržených snímačů a obrazu kamery musí být extrahovány informace o aktuální dopravní situaci před vozidlem a stanoven především směr a rychlost jízdy a detekovány případné překážky. Práce vyžaduje znalosti matematiky, optiky, elektroniky a programování. Dílčí cíle práce jsou:

1. rešerše známých řešení autonomního řízení vozidla
2. návrh a implementace vhodné skupiny snímačů pro sběr dat ve vozidle
3. simulace autonomního řízení vozidla na základě lokalizace vozovky a překážek

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

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

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 27.5.2013

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

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **Abstrakt**

Práca pozostáva z rešerše známych riešení navigácie autonómne riadeného vozidla. V práci sú hlbšie popísané možnosti riadenia takéhoto vozidla, a využitie snímačov v autonómne riadených vozidlách. Z rôznych typov snímačov sú vybrané dva typy, ktoré sú najvhodnejšie pre vizuálnu navigáciu vozidla. V práci je ďalej hlbšie popísaná funkcia a spôsob využitia týchto dvoch typov snímačov pri vizuálnej navigácii vozidla. Súčasťou práce je taktiež program, schopný získať a uložiť dáta z vybraných snímačov.

## **Kľúčové slova**

autonómny, vozidlo, kamera, LIDAR, Velodyne, HDL-64E, Prosilica, navigácia, DARPA

## **Abstract**

The thesis consists of retrieval of known solutions of autonomous vehicle navigation. Thesis further describes options for controlling autonomous vehicle, and using of sensors in autonomous vehicles. From different types of sensors are selected two types, that are most suitable for visual navigation of the vehicle. Thesis describes the function and way of using these two types of sensors in the visual navigation of the vehicle. The program for obtaining and saving data from selected sensors is also part of the thesis.

## **Keywords**

autonomous, vehicle, camera, LIDAR, Velodyne, HDL-64E, Prosilica, navigation, DARPA

### **Bibliografická citácia:**

JASŤO, K. *Vizuální navigace vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 64s. Vedúci bakalárskej práce bol Ing. Karel Horák, Ph.D..

## **Prehlásenie**

„Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na téma „Vizuálna navigácia vozidla“ som vypracoval samostatne, pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa: **24. mája 2013**

.....  
podpis autora

## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Karlovi Horákovi, Ph.D. za užitočnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a cenné rady pri spracovaní bakalárskej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať pánovi Ing. Františkovi Burianovi za cenné rady ohľadom snímaču Velodyne HDL-64E, za poskytnutie dát z tohto snímaču, za poskytnutie simulačného programu a za pomoc pri experimente s týmto snímačom.

V Brne dňa: **24. mája 2013**

.....  
podpis autora

# Obsah

1	Úvod.....	10
2	Snímače vo vozidlách.....	11
2.1	História.....	11
2.2	Klasické snímače.....	11
2.2.1	Kontrola trakcie vozidla.....	11
2.2.2	Princíp činnosti ABS.....	12
2.2.3	Kontrola stability a dynamiky vozidla.....	13
2.3	Moderné snímače.....	13
2.3.1	Skenovanie okolia.....	14
2.3.2	Akustické snímače.....	14
2.3.3	Elektromagnetické snímače.....	15
2.3.4	Optické snímače.....	16
2.3.5	Dopravná telematika a navigačný systém.....	19
3	Súťaže a projekty.....	21
3.1	Americká súťaž DARPA Grand Challenge.....	21
3.1.1	Základná navigácia (Basic Navigation).....	22
3.1.2	Základná premávka (Basic Traffic).....	27
3.1.3	Pokročilá navigácia (Advanced Navigation).....	27
3.1.4	Pokročilá premávka (Advanced Traffic).....	30
3.2	Nemecký projekt AutoNOMOS.....	32
3.3	Americký projekt AIM.....	33
3.4	Autonómne riadené vozidlo firmy Google.....	34
3.5	Veľtrh ELROB.....	35
3.6	Medzikontinentálna súťaž VIAC.....	36
4	Navrhované snímače.....	37
4.1	Laserový snímač Velodyne Lidar HDL-64E.....	37
4.2	Kamerový snímač Prosilica GC1290C.....	45
5	Záver.....	47
6	Zoznam použitej literatúry.....	50
7	Zoznam použitých skratiek.....	53
	Prílohy.....	54

# Zoznam obrázkov

Obr. 2. 1 Jedna z možností stavby riadiaceho systému ABS. [27].....	12
Obr. 2. 2 Skenovanie prostredia pred vozidlom využitím radaru ARS 300 [9].....	15
Obr. 2. 3 Zloženie snímaču Velodyne LIDAR. [16].....	17
Obr. 2. 4 Volvo sleduje pozornosť vodiča, technológia spoločnosti Seeing Machines monitoruje priamo jeho tvár. [22].....	18
Obr. 2. 5 BMW Night Vision - nočné videnie v praxi. [21] .....	19
Obr. 2. 6 Princíp funkcie GPS - poloha sa vyráta na základe doby letu signálov zo 4 najbližších satelitov. [7] .....	20
Obr. 3. 1 Autonómne riadené vozidlo „Boss“ a jeho snímače. [11] .....	21
Obr. 3. 2 Štart vozidla. [6].....	22
Obr. 3. 3 Prejdenie kontrolného bodu. [6] .....	23
Obr. 3. 4 Držanie sa správneho pruhu počas odbáčania vľavo. [6].....	23
Obr. 3. 5 Zastavenie na značke STOP. [6].....	24
Obr. 3. 6 Žltou čiarou je vyznačená minimálna vzdialenosť vozidla od objektov. [6] .....	25
Obr. 3. 7 Bezpečnostné zóny v križovatke. [6] .....	25
Obr. 3. 8 Vybočovanie z jazdného pruhu cez plnú čiaru kvôli prekážke na ceste. [6] .....	26
Obr. 3. 9 Opätovné vrátenie sa do svojho jazdného pruhu po vyhnutí sa prekážke. [6].....	26
Obr. 3. 10 Oblasť otočenia vozidla o 180°. [6].....	27
Obr. 3. 11 Vzdialenosť vozidla v kolóne. [6].....	27
Obr. 3. 12 Vyhybanie sa pohybujúcim sa objektom. [6].....	28
Obr. 3. 13 Mapa parkoviska. [6] .....	28
Obr. 3. 14 Správne parkovanie. [6].....	29
Obr. 3. 15 Dynamické plánovanie. [6].....	29
Obr. 3. 16 Zaradenie sa do premávky. [6].....	30
Obr. 3. 17 Časová medzera pre zaradenie sa do premávky. [6].....	30
Obr. 3. 18 Minimálna vzdialenosť pre odbočenie vľavo z hlavnej cesty. [6] .....	31
Obr. 3. 19 Zápcha v križovatke. [6] .....	31
Obr. 3. 20 Umiestnenie snímačov na vozidle MadeInGermany. [3].....	32
Obr. 3. 21 Server vyhodnotí situáciu ako kolíznu a zamietne žiadosť modrého vozu (modré vozidlo vstupuje do križovatky ako druhé). [18] .....	34
Obr. 3. 22 Prvé experimentálne autonómne vozidlo od firmy Google. [26].....	35
Obr. 4. 1 Rozdelenie snímačov do 4 prioritných sektorov .....	37
Obr. 4. 2 Vlastnosti snímaču Velodyne HDL-64E Lidar, [16] .....	38

Obr. 4. 3 Zloženie paketu vysielaného z HDL 64E (podľa aktuálneho firmware-u)[15] .....	39
Obr. 4. 4 Poradie laserov pri pohľade na senzor zozadu.....	41
Obr. 4. 5 Ukážka toho, čo všetko môže obsahovať posledných 6B paketu [15].....	44
Obr. 4. 6 Príklady rozboru posledných bajtov paketu.....	44
Obr. 4. 7 Kamera Prosilica GC1290 .....	45
Obr. 5. 1 Schéma zapojenia pre synchronizáciu dvoch kamier radu GT pomocou hodín GPS [43].....	48
Obr. 5. 2 Fotografia z uskutočneného experimentu .....	49
Obr. A. 1 Autonómne riadené vozidlo Stanfordskej univerzity „Stanley“, výherca DARPA Grand Challenge 2005 [20].....	54
Obr. A. 2 Autonómne riadené vozidlo „Boss“, výherca súťaže DARPA Urban Challenge [11] .....	54
Obr. A. 3 Autonómne riadené vozidlo „Junior“ Stanfordskej univerzity vybavený piatimi rôznymi laserovými meracími systémami, multi-radarom a viacsignálovým navigačným systémom [24].....	55
Obr. A. 4 Vozidlo A1 z Hanyang University, výherca kórejskej súťaže „Autonomous Vehicle Competition“ (AVC) [33] .....	55
Obr. A. 5 Vozidlo MuCAR-3 z University of the Bundeswehr Munich, účastník veľtrhu MELROB 2012 [34].....	56
Obr. A. 6 Google driverless car – Jedno z prvých autonómne riadených áut firmy Google [37].....	56
Obr. A. 7 Vozidlo „Spirit of Berlin“ z Freie Universität Berlin, účastník súťaže DARPA: Urban Challenge [34].....	57
Obr. A. 8 Robotické vozidlo „Shelley“ zo Stanfordskej univerzity [38].....	57
Obr. A. 9 Vozidlo BRAiVE (skratka pre BRAin-driVE) od talianskej firmy VisLAB [40] .....	58
Obr. A. 10 Autonómne vozidlo, ktoré sa zúčastnilo medzikontinentálnej súťaže VIAC [39]....	58
Obr. B. 1 Popis a umiestnenie snímačov vozidla BRAiVE [40].....	59
Obr. B. 2 Popis snímačov autonómne riadeného vozidla od firmy Google [25] .....	59
Obr. B. 3 Skenovanie prekážky pomocou radaru [7].....	60
Obr. B. 4 Skenovanie prekážky pred vozidlom , vyhodnotenie radarového snímaču z obrázku B.3 [7] .....	60
Obr. B. 5 Spracované výstupné dáta z LIDARového snímaču [10].....	61
Obr. B. 6 Rozmiestnenie a funkcia snímačov autonómne riadeného vozidla „Boss“ [11] .....	61
Obr. B. 7 Najčastejšie využívané snímače v moderných vozidlách a ich rozmiestnenie, funkcia, dosah a typ [11].....	62
Obr. B. 8 Laserový snímač Velodyne HDL-64E LIDAR [10] .....	62

# 1 ÚVOD

Aby bolo vozidlo schopné autonómne sa pohybovať v mestskom i mimomestskom priestore musí byť vybavené senzormi, ktoré zachytávajú podnety z okolia a riadiacou jednotkou, ktorá tieto podnety spracováva, vyhodnocuje a následne na základe týchto údajov vykonáva akciu (pohyb vozidla). Takéto riadenie vozidla vyžaduje niekoľko typov senzorov. V práci je bližšie popísaná funkcia a spôsob merania týchto a iných senzorov, ktoré sa bežne vo vozidlách vyskytujú.

Hlavným cieľom celej práce je pomôcť k vytvoreniu autonómne riadeného vozidla, ktoré bude schopné pohybovať sa samostatne v mestských i mimomestských priestoroch. Cieľom prvej časti práce je spraviť rešerš o využívaní snímačov v autonómnych vozidlách, ich fungovaní a o riadení autonómneho vozidla. Ďalším cieľom je vybrať vhodné typy snímačov, ktoré budú najvhodnejšie pre vizuálnu navigáciu vozidla v priestore. Z navrhnutých snímačov je potrebné vedieť získavať a spracovávať dáta.

V práci bude skúmaná vnútorná stavba autonómne riadených vozidiel a možnosti ich použitia v cestovnom ruchu. Výsledkom práce bude návrh a zostrojenie autonómne riadeného vozidla schopného fungovať v priestoroch s prekážkami (statickými i dynamickými).

Snahou mojej práce je vyvolať väčší záujem o riešenie problémov riadenia autonómnych vozidiel (najmä na našej škole). V práci sa snažím o zhrnutie doterajších požiadaviek na takéto vozidlá, známych riešení týchto vozidiel a využitia snímačov v autonómnych vozidlách. Po naštudovaní čo najväčšieho množstva materiálov, by som chcel v závere navrhnúť riešenia, ktoré by pomohli pri návrhu takéhoto vozidla.

## 2 SNÍMAČE VO VOZIDLÁCH

### 2.1 História

História automobilizmu býva nejasná. V 18. storočí bolo viacero pokusov o zostrojenie vozidla, ktoré nebude musieť byť ťahané koňom či iným zvierat'om. Prvý náznak automobilu bol poháňaný parou. Neskôr v roku 1880 skonštruovali nezávisle od seba Karl Benz a Gottlieb Daimler benzínom poháňaný motor a o pár rokov nato zostrojil Karl Benz prvé motorové trojkolesové vozidlo, ktoré sa verejne predávalo. Na rozdiel od ostatných pokusov to nebol prerobený koč, ale od základu bol konštruovaný ako motorom poháňané vozidlo. Preto dnes Carla Benza považujeme za otca automobilu.

Prvé autá boli vyrábané ručne a teda boli drahé a mohli si ich dovoliť iba bohatí ľudia. Mladý mechanik Henry Ford chcel vytvoriť cenovo dostupné auto a tak v roku 1902 založil spoločnosť, ktorá niesla jeho meno. Vynašiel montážnu linku, ktorá mu umožňovala vyrábať viacero áut naraz, čím klesla cena jeho automobilov. Fordov Model T môžeme považovať za predchodcu moderného automobilu.[1]

Objav a rozvoj elektroniky, ktorý vyvrcholil výrobou integrovaných obvodov, umožnil jej využitie v automobilovom priemysle. Prvý fungujúci ABS (Anti-lock Brake System – Protiblokovací systém bŕzd) systém v civilných automobiloch predstavila automobilka Mercedes-Benz v spolupráci s firmou Bosch už v roku 1978. Autá s týmto systémom mali ešte stále ako základ mechanické riadenie a funkcia elektroniky sa obmedzovala len na zásah do riadenia vozidla v hraničných situáciách. Takéto systémy, kde elektronika bola iba dodatkom k mechanickému riadeniu však nevyužívali potenciál ponúkaný modernou elektronikou.[30][31]

### 2.2 Klasické snímače

S nástupom elektroniky vznikli nové možnosti v automobilovom priemysle. V dnešných moderných automobiloch je využité veľké množstvo rôznych snímačov, ktoré tvoria takzvané riadiace systémy.

#### 2.2.1 Kontrola trakcie vozidla

Prvou aplikáciou, ktorá nasledovala po protiblokovacom systéme, bol systém kontroly trakcie. Tento systém nachádza využitie pri rozbehu a akcelerácii vozidla. Jeho úlohou je zlepšiť prenos krútiaceho momentu nápravy na vozovku.

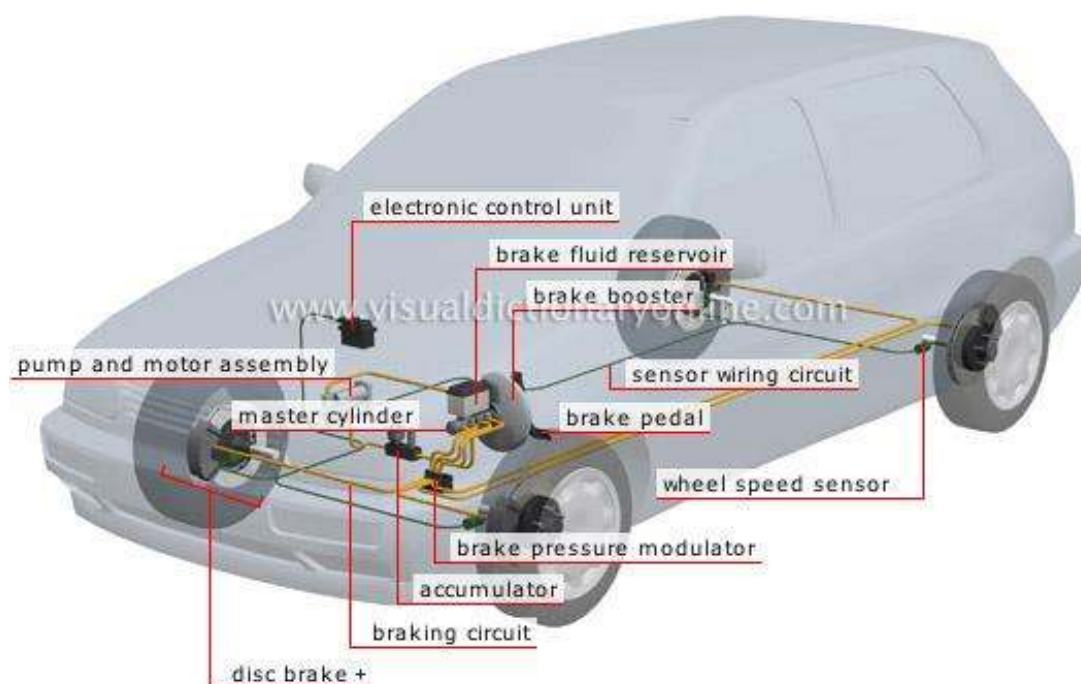
Systém ASR (Acceleration Slip Regulation - Regulácia preklzávania kolies pri akcelerácii) zisťuje za pomoci kolesových senzorov či sa hnacie kolesá neprešmykujú a v prípade prešmykovania dané koleso za pomoci solenoidového valca pribrzdí. V prípade potreby môže ubrať plyn prestavením škrtiacej klapky motoru, čím redukuje krútiaci moment.

Ďalším riadiacim systémom využívajúcim snímače ABS je napríklad EDS (Elektronic Differential Slippery - Elektronická uzávierka diferenciálu), ktorý sleduje rozdiel v otáčkach kolies tej istej hnacej nápravy. Uplatňuje sa pri rôznych súčiniteľoch trenia povrchu vozovky pod pravým a ľavým kolesom vozidla a pribrzdzuje preklzávajúce koleso. EDS sa na rozdiel od ASR pri vyšších rýchlostiach ako je 40km/h automaticky vypína, pôsobí teda hlavne pri rozbehu vozidla.

Na podobnom princípe fungujú aj iné systémy kontroly trakcie vozidla ako napríklad ETC, ETS, TCS, ABD(vid' zoznam použitých skratiek) a ďalšie. Niektoré sa obmedzujú len na pribrzdžovanie preklzávajúcich kolies, iné využívajú uberanie plynu, no takmer všetky využívajú snímače ABS a bývajú často s ABS integrované do jedného riadiaceho systému. [2][31]

## 2.2.2 Princíp činnosti ABS

Princíp činnosti ABS je vo svojej podstate veľmi jednoduchý. Zabraňuje zablokovaniu kolies pri brzdení, čím skracuje brzdnú dráhu vozidla a umožňuje vodičovi vozidlo pri brzdení smerovo riadiť tak, aby nedošlo k nekontrolovanému šmyku. Elektronická riadiaca jednotka získava zo snímačov na kolesách údaje o otáčkach každého kolesa. Ak zistí, že pri brzdení je niektoré z kolies zablokované, zníži za pomoci akčného člena (elektronicky riadeného solenoidu) na ňom brzdový tlak, čím poklesne brzdová sila na kolese a dochádza k jeho odblokovaniu. Tak isto môže byť pretáčajúce sa koleso, brzdené. Hranica pri ktorej sa koleso odblokuje alebo zablokuje závisí od súčiniteľa trenia medzi pneumatikou a povrchom cesty. Na klzkých povrchoch ako je napríklad ľad dochádza k blokovaniu pri nižších silách. [2]



Obr. 2. 1 Jedna z možností stavby riadiaceho systému ABS. [27]

Či systém ABS funguje správne kontroluje palubná elektronika automobilu autodiagnostickým testom vždy pri naštartovaní vozidla (na krátku dobu sa rozsvieti kontrolka ABS). [31]

### **2.2.3 Kontrola stability a dynamiky vozidla**

Elektronický stabilizačný systém pomáha vodičovi predísť šmyku, prípadne pomôcť s vyrovnaním vozidla pri šmyku. Najznámejším takýmto systémom je systém ESP (Electronic Stability Program – Elektronický stabilizačný systém). Podobne ako pri kontrole dynamiky vozidla existuje mnoho rôznych výrobcov a značiek, no princíp funkcie je založený na rovnakej myšlienke.

ESP je jeden z najviac využívaných stabilizačných systémov. Prostredníctvom zásahu do riadenia pomáha zvládnuť kritické situácie. Ak je zistený nestabilný stav vozidla dôjde k samočinnej aktivácii systému, ktorý vozidlo stabilizuje. K svojej funkcii využíva aj ďalšie elektronické systémy ako napr. ABS.

Systém ESP využíva k detekcii stavu vozidla snímač natočenia volantu, snímač otáčok všetkých kolies, snímač priečneho zrýchlenia a snímač momentu zotrvačnosti podľa zvislej osy vozu. Na základe hodnôt z týchto snímačov, systém vyhodnotí rozdiel medzi požadovanou dráhou vozidla a skutočnou dráhou. Ak sa hodnoty líšia, systém vyhodnotí situáciu ako kritickú a zasiahne do riadenia vozidla. [14]

Keďže ESP je ochranná značka pôvodného výrobcu Bosch, ktorý vyvinul tento systém s firmou Mercedes Benz (uviedenie na trh v roku 1995) ostatní výrobcovia využívajú svoje vlastné názvy ako napr. DSC (BMW), PSM (Porsche), VSC (Toyota a Lexus), VSA (Honda) a i.

Systémy kontroly dynamiky vozidla sa najčastejšie označujú FDR (Fahrdynamik-Regelung) alebo DDC (Dynamic Drive Control). Rôzni výrobcovia používajú pre svoje obdobné systémy kontroly dynamiky svoje vlastné názvy, no ich princíp je podobný.

Okrem snímačov otáčok kolies získava riadiaca jednotka tiež dáta o uhle vychýlenia volantu, sile stlačenia brzdového pedálu, rotácie vozidla okolo zvislej osi, údaje o priečnom zrýchlení a iné. Zo získaných dát dokáže riadiaca jednotka rozpoznať skutočný stav, v ktorom sa vozidlo práve nachádza. Kontrola dynamiky vozidla sa zapína až v kritických situáciách, aby predišla hroziacemu šmyku a strate kontroly nad vozidlom. Napríklad pri nedotáčavosti alebo pretáčavosti vozidla. Pri nedotáčavosti reaguje príbrzdením vnútorného kolesa a pri pretáčavosti príbrzdí vonkajšie koleso. V prípade potreby dokáže ubrať v týchto situáciách plyn. [2]

## **2.3 Moderné snímače**

V predchádzajúcej kapitole som sa venoval snímačom, ktoré sa používajú bežne skoro vo všetkých vozidlách, aj v niektorých vozidlách nižších tried. V tejto kapitole rozoberiem nadštandardné snímače používané vo vozidlách vyšších kategórií zvyšujúce komfort a bezpečnosť a taktiež snímače autonómne riadených vozidiel.

Rovnako ako moderné telefóny aj moderné autá sú preplnené senzormi. Zatiaľ je väčšina z nich skrytá v konštrukcii vozidla a merajú veličiny v pohone a vo výfukovom systéme. Auto zatiaľ nezdieľa tieto informácie s vodičom alebo na internete. Nanajvýš vodičovi oznamuje informatívne diagnostické svetlo, ak je niektorý zo systémov vypnutý.

Táto situácia sa ale rýchlo mení. Autá začínajú byť vybavené stále väčším počtom inteligentnejších senzorov na vonkajšej strane, ktoré snímajú svoje okolie. Vytvárajú sa nové pokročilé systémy pre podporu riadenia (ADAS - **A**dvanced **D**river **A**ssistance **S**ystems), pre prevenciu autonehôd, varovanie zmeny jazdného pruhu, samostatné parkovanie atď. Toto všetko vyžaduje inteligentnejšie a presnejšie snímače okolitého prostredia. Sensory ktoré sa v autonómnych vozidlách využívajú sú ultrazvukové, radarové, LIDARové, video a infračervené kamery a iné.

### **2.3.1 Skenovanie okolia**

Ďalšou skupinou snímačov sú snímače skenujúce okolie vozidla. V dnešných automobiloch sa využívajú najmä akustické, elektromagnetické a optické snímače okolia. Táto skupina snímačov plní hlavne dve základné úlohy. Prvou a zároveň najhlavnejšou úlohou je rozpoznávanie prekážok na ceste a v okolí vozidla. Snímač detekuje prekážku a pošle signál riadiacej jednotke ktorá spracuje a vyhodnotí situáciu. Vďaka tejto skupine snímačov si je vozidlo vedomé svojho okolia. Druhou úlohou, ktorú tieto snímače plnia, je detekcia dopravných značiek a vozovky.

Pre meranie vzdialenosti od vozidiel sa okrem ultrazvukových snímačov (malý dosah), používajú snímače používajúce svetlo blízke infračervenej oblasti (stredný dosah) a elektromagnetické radary (veľký dosah).

### **2.3.2 Akustické snímače**

Akustické snímače v automobiloch vysielajú ultrazvukové impulzy o určitej frekvencii a sledujú čas, ktorý uplynie kým sa vyslaný signál vráti. Ultrazvukové snímače fungujú na princípe piezoelektrického kryštálu. Na piezoelektrický kryštál je privedené budiace napätie ktoré spôsobí kmitavú deformáciu kryštálu. Tento kmitavý pohyb vytvára akustické vlny, ktoré sa ďalej šíria prostredím, kým nenarazia na prekážku. Od prekážky sa časť vln odrazí a časť sa pohltí. Keď sa odrazené vlny vrátia do ultrazvukového snímaču, snímač najprv vyhodnotí či prijatý signál je odrazom vyslaného signálu. Ak áno, potom snímač vyhodnotí čas od vyslania signálu po jeho prijatie a zo známej rýchlosti šírenia ultrazvuku vo vzduchu a vyhodnoteného času vypočíta vzdialenosť v akej sa prekážka nachádza. Ultrazvukové snímače bývajú integrované do nárazníkov vozidla. Najčastejšia sa používajú hlavne pri parkovaní a pri určovaní odstupu od prekážok. Vzdialenosť do ktorej bežne používané snímače dokážu efektívne snímať prekážky siaha od cca 0,25 do 1,5m. Uhol snímania v horizontálnom smere je veľký. Vo vertikálnom smere je potrebný malý uhol, aby nedochádzalo k rušivým odrazom od zeme. [12]

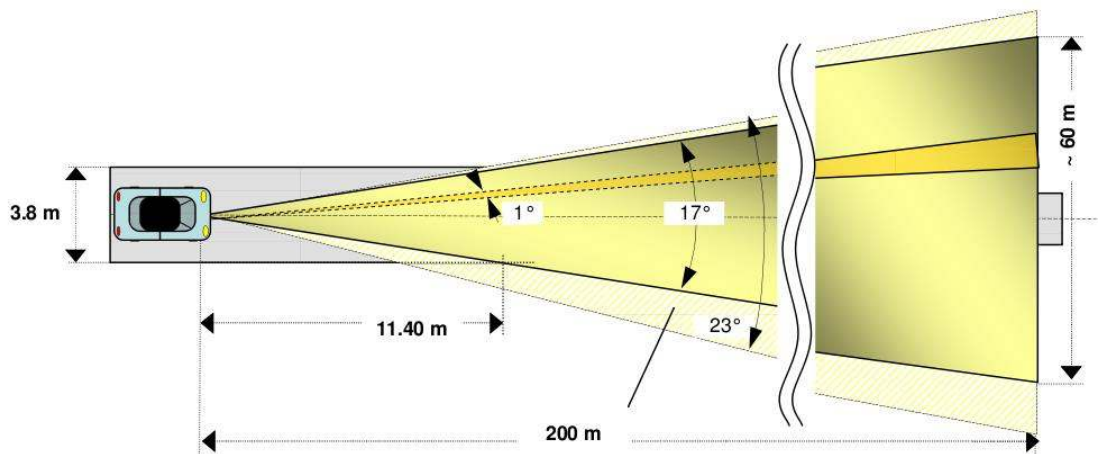
### 2.3.3 Elektromagnetické snímače

Najčastejšie používané elektromagnetické snímače v automobilovom priemysle sú indukčné snímače, magneto-indukčné snímače a radary. Najvyužívanejším elektromagnetickým snímačom merania vzdialenosti vo vozidlách je radar.

#### 2.3.3.1 Radar

Pracovná frekvencia radaru je 76 GHz a umožňuje kompaktnú konštrukciu snímačov potrebnú pre využitie v automobiloch. Gunnov oscilátor napája paralelne tri vedľa seba umiestnené antény, ktoré slúžia k prijímu odrazených signálov. Predstavená Fresnelová šošovka tvaruje vysielaný signál, horizontálne do uhlu  $\pm 5^\circ$ , vertikálne do uhlu  $\pm 1,5^\circ$  vzhľadom k ose vozidla. Vysielaný signál je kmitočtovo modulovaný. Než sa signál odrazí od objektu a vráti sa, zmení mierne svoj kmitočet. Rozdiel frekvencie vysielaného a prijímaného signálu je priamo úmerný vzdialenosti od prekážky.

V bežných vozidlách sa radar využíva ako adaptívny tempomat a radí sa k nadštandardným snímačom. V autonómne riadených vozidlách sa radar využíva hlavne na skenovanie okolia pred vozidlom a k prípadnému zisteniu vzdialenosti prekážky.[12]



Obr. 2. 2 Skenovanie prostredia pred vozidlom využitím radaru ARS 300 [9]

#### 2.3.3.2 Distančný radar

Distančný radar ACC (Adaptive Cruise Control - Adaptívny tempomat) sa stará o dodržiavanie správneho odstupu od vozidla pred ním. Pracuje s dátami, ktoré prichádzajú z radarového snímača a reaguje na vozidlo idúce vpredu. Ak sa rýchlosť vozidla vpredu zníži, systém ACC pribrzdí vozidlo tak aby bol dodržaný bezpečný odstup. V prípade predbiehania, systém tento manéver zohľadní a povolí vodičovi priblíženie k vpredu idúcemu vozidlu. V niektorých vozidlách funguje tento systém ako adaptívny tempomat a snaží sa držať konštantný odstup od vozidla vpredu. Ak vozidlo

vpredú svoju rýchlosť zníži, systém zareaguje vyrovnaním jeho rýchlosti a naopak pri zvýšení rýchlosti vpredú idúceho vozidla systém ACC zvýši našu rýchlosť.

Jednou zo základných funkcií je predovšetkým obvyklá funkcia tempomatu, teda regulácia rýchlosti jazdy. Táto funkcia je aktívna vždy, keď nie je detekované žiadne vozidlo idúce vpredú. Ak je však v dosahu radaru (100-150m) zaznamenané vozidlo, ktoré bráni v plynulom pokračovaní jazdy požadovanou rýchlosťou, je rýchlosť prispôbena rýchlosti vozidla idúceho vpredú. Pri malých rozdieloch v rýchlosti je možné znížiť rýchlosť jednoducho ubratím plynu. Pri vyšších rozdieloch rýchlostí je potrebný zásah brzd. Po prispôbení rýchlosti, dodržiava vozidlo za vozidlom idúcim vpredú takmer konštantnú časovú medzeru. Najväčší problém predstavuje, zistenie správneho cieľového vozidla. Z veľkého počtu odrazov je treba rozpoznať tie, ktoré patria vozidlu idúcemu vpredú a je nutné odhadnúť, či ide vozidlo vpredú v rovnakom jazdnom pruhu.[12][19]

### **2.3.4 Optické snímače**

Najčastejšie využívané snímače pri autonómnom riadení vozidla sú práve optické snímače. Optické snímače využívané v automobilovom priemysle môžeme rozdeliť do troch skupín: infračervené snímače, laserové snímače a kamery.

#### **2.3.4.1 Snímač dažďa**

Snímač dažďa rozpozná kvapky na čelnom skle a automaticky zopne motorčeky stieračov. Vodič je tým oslobodený od mnohých pohybov rukou, ktoré sú u bežných stieračov potrebné, čím sa môže viac sústrediť na riadenie vozidla. Manuálne ovládanie je však stále funkčné. Avšak vodič musí pri štarte vozidla túto funkciu väčšinou najprv aktivovať.

Snímač dažďa funguje na princípe optickej dráhy medzi vysielačom a prijímačom podobne ako snímač nečistôt. Dióda emituje svetlo, ktoré dopadá na čelné sklo pod určitým uhlom, odráža sa a dopadá do prijímača (fotodiódy). Ak sú na čelnom skle kvapky vody, odráža sa veľká časť svetla smerom von, a zoslabuje sa tým prijímaný signál.[12]

#### **2.3.4.2 Infračervené snímače vzdialenosti**

Infračervené snímače sa používajú na meranie malých vzdialeností od objektu. Fungujú na podobnom princípe ako snímače ultrazvukové. Je vysielať infračervený lúč, ktorý sa odráža od objektov a je naspäť prijímaný snímačom.

#### **2.3.4.3 Laserové snímače**

Laserové snímače využívajú oku bezpečný laser, ktorý skenuje vozovku a objekty, prechádzajúce lúčom snímača. Každá jednotka emituje dva alebo viac skenujúcich lúčov s cieľom vytvoriť 3D obraz objektu. Dáta zhromaždené zo snímača sú spracovávané v reálnom čase. Takto vzniká 3D obraz okolia, ktorý je následne

spracovávaný riadiacou jednotkou, ktorá na základe spracovaných údajov dáva pokyny k riadeniu vozidla. V angličtine sú tieto snímače nazývané LIDAR (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging, alebo tiež LADAR), teda niečo ako radar fungujúci na princípe detekcie odrazu svetla. LIDAR pracuje na princípe merania vzdialenosti na základe výpočtu rýchlosti odrazeného pulzu laserového lúču od snímaného objektu. Obvykle sa využíva spektrum o hodnote 1064 až 1550 nm. Výsledkom je veľký počet bodov, ktoré sa po spracovaní môžu interpolovať do podoby digitálneho modelu povrchu či 3D modelu budov a iných objektov. Po aplikácii filtru je možné z mračna bodov získať digitálny model terénu. [15] [16] [17]



Obr. 2. 3 Zloženie snímaču Velodyne LIDAR. [16]

#### 2.3.4.4 Kamerový snímač

Kamery vo vozidlách majú veľké využitie. Od parkovacích kamerových asistentov, cez kamery monitorujúce okolie vozidla až po kamery sledujúce stav vodiča.

Kamerové parkovacie systémy sú tvorené parkovacími snímačmi (zvyčajne ultrazvukovými) parkovacou kamerou, riadiacou jednotkou a LCD displejom. Parkovacie snímače spolu s parkovacou kamerou sú inštalované v zadnom nárazníku a monitorujú celý priestor za vozidlom. Ak je v dosahu snímačov prekážka, spustí sa zvuková signalizácia meniacou sa rýchlosťou frekvencie pípania. Kamera vysiela signál do LCD displeja, tak aby mal vodič prehľad o situácii za vozidlom. Riadiaca jednotka obsahuje program ktorý dopĺňa obraz z kamery napríklad zobrazením údaje vzdialenosti vozidla od objektu alebo zvýraznením voľnej oblasti. V Audi A8 podľa údajov zo snímaču natočenia volantu dokonca program ukazuje smer ktorým sa vozidlo bude pri cúvaní pohybovať.

Kamera sledujúca stav vodiča býva obvykle implementovaná v bočnom stĺpiku alebo pri spätnom zrkadle a je súčasťou celého systému. Programová časť sleduje reakcie vodiča a hlavne jeho tvár. Z tváre vie vyčítať mieru koncentrácie, mikrosprávok a ďalšie detaily, ktoré po spracovaní majú posúdiť jeho schopnosť účinne sa venovať

vedeníu motorového vozidla. Používajú sa infračervené kamery, sledujúce intenzitu žmurkania, činnosť viečok. Niektoré systémy spustia akustické varovanie, ak vodič dlhší čas nepohne volantom. [23]



**Obr. 2. 4 Volvo sleduje pozornosť vodiča, technológia spoločnosti Seeing Machines monitoruje priamo jeho tvár. [22]**

Termokamery sa využívajú vo vozidlách ako doplnkové senzory nočného videnia zvyšujúce bezpečnosť. Tieto kamery sú založené na infračervenej technológii FIR(Far InfraRed – infračervené žiarenie s vlnovou dĺžkou 15-1000 $\mu$ m). Kamera pracuje na princípe termálneho snímania obrazu. Tento obraz potom prevedie do monitoru zabudovaného vo vozidle, čím výrazne zvyšuje bezpečnosť riadenia za nízkej viditeľnosti. Pomocou termokamery je možné oveľa ľahšie rozpoznať prostredie pred vozidlom do vzdialenosti ďaleko vyššej ako je vzdialenosť dosvitu reflektorov. [21]



Obr. 2. 5 BMW Night Vision - nočné videnie v praxi. [21]

### 2.3.5 Dopravná telematika a navigačný systém

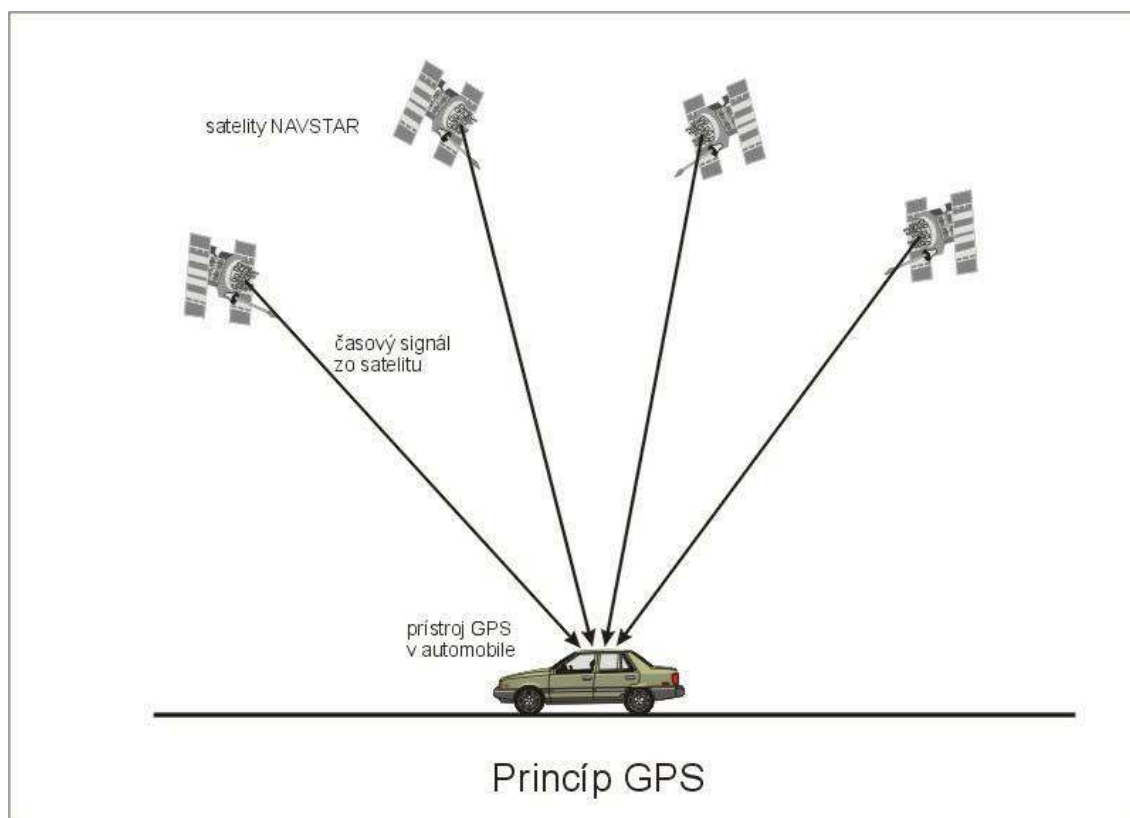
Telematika je kombináciou slov telekomunikácia a informatika. Dopravná telematika býva známa pod skratkou ITS(Intelligent Transport System). Pod dopravnou telematikou môžeme chápať všetko, čo vo vozidlách nejakým spôsobom prijíma alebo vysiela elektronické dáta. Telematické systémy vo vozidlách prijímajú a spracovávajú dáta o aktuálnej dopravnej situácii, o hustote premávky na komunikácii, uzávierkach ciest, obchádzkach a i. Na základe týchto údajov potom palubný počítač vo vozidle spolu s navigačným systémom vozidla určí optimálnu trasu.[28]

Telematické systémy dokážu dáta aj vysielať prostredníctvom palubného telefónu vozidla. Veľmi rozšírenou funkciou palubného telefónu v USA je automatické privolanie pomoci pri havárii alebo pomoc pri odcudzení vozidla. V Európe sa túto službu snaží Európska únia už niekoľko rokov zaviesť vo všetkých štátoch únie pod názvom eCall. Telematický systém býva zabezpečený tak, aby ostal funkčný aj pri zničení vozidla a dokázal tak odoslať správu o čase nehody a polohe vozidla získanej z navigačného systému. Táto funkcia sa dá spustiť aj manuálne, aby mohol vodič okamžite ohlásiť akúkoľvek nehodu, ktorej bol svedkom. [29]

S telematikou sú úzko späté navigačné systémy. Prvým satelitným navigačným systémom, ktorý bol uvedený do prevádzky v roku 1964 bol americký systém Transit a dosahoval presnosť takmer 100 metrov. Fungoval na princípe Dopplerovho javu a slúžil výhradne vojenským účelom. Približne v rovnakom čase sovietsky zväz uviedol vojenský systém Parus a civilný systém Cikada. Neskôr bol americký satelitný systém Transit nahradený novým satelitným systémom NAVSTAR, ktorý mal presnosť okolo

30m a taktiež slúžil armádnym účelom. Tento systém bol potom premenovaný na GPS a sprístupnený bezplatne pre civilné využitie. Takmer všetky súčasné navigačné systémy využívajú globálny satelitný navigačný systém GPS (Global Positioning System). [29]

Princíp GPS je založený na obehu 24 navigačných družíc po kruhových obežných dráhach vo výške okolo 21650 km nad zemou, ktoré neustále vysielať rádiové signály. Ak sa nachádzate kdekoľvek na Zemi, vždy ste v dosahu minimálne štyroch z družíc. Zo zistenej vzdialenosti od týchto štyroch družíc potom elektronika vie vyrátať zemepisnú polohu.



Obr. 2. 6 Princíp funkcie GPS - poloha sa vyráta na základe doby letu signálov zo 4 najbližších satelitov. [7]

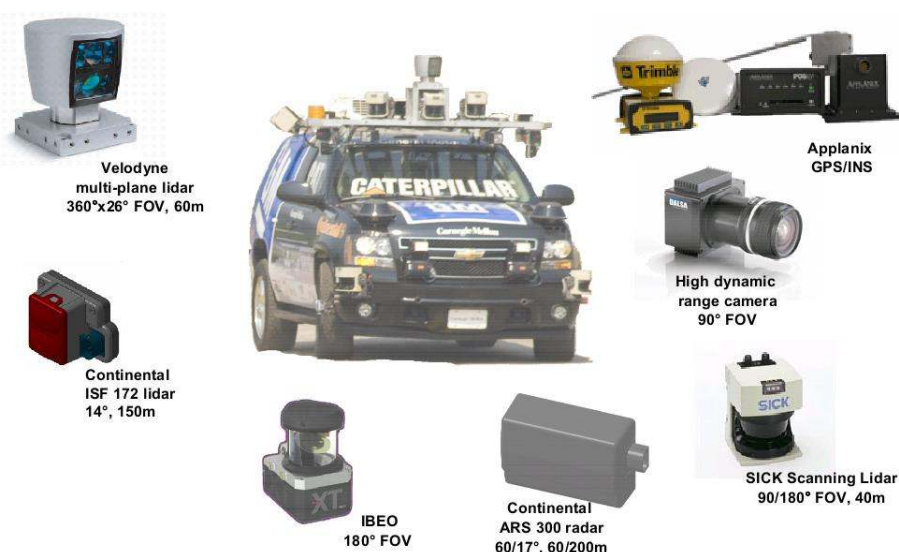
## 3 SÚŤAŽE A PROJEKTY

### 3.1 Americká súťaž DARPA Grand Challenge

DARPA Grand Challenge je súťaž pre autonómne riadené vozidlá financovaná agentúrou DARPA (**D**efense **A**dvanced **R**esearch **P**rojects **A**gency). Súťažiaci majú za úlohu zostrojiť autonómne vozidlo schopné pohybu mimo mesta ale aj v mestských komunikáciách s rušnou dopravou. Program súťaže je tvorený ako séria kvalifikačných krokov vedúcich ku konkurencieschopnému finále. Prvé tri miesta v súťaži sú vysoko finančne hodnotené.

Prvá DARPA Grand Challenge sa konala v marci 2004 a predstavovala 142-míľovú púštnu trať. Pätnásť autonómne riadených vozidiel sa pokúsilo túto trať zdolať, no žiadne vozidlo trať nedokončilo. V roku 2005, štyri vozidlá úspešne dokončili 132-míľovú púštnu trasu pod požadovaný 10-hodinový limit. Ako prvé skončilo robotické vozidlo „Stanley“ zo Stanfordskej univerzity.

V novembri 2007 sa konal 3.ročník tejto súťaže s názvom DARPA: The Urban Challenge. Tentokrát mali súťažiaci za úlohu zostrojiť autonómne riadené vozidlo schopné pohybu v mestských priestoroch. Trasa mala skoro 100 kilometrov (60 míľ) a skladala sa z nových ale aj rozbitých častí ciest. Maximálny povolený čas jazdy bol 6 hodín. Konštruktéri museli brať v úvahu možnosť kríženia sa trasy s poľnými cestami. Vozidlo muselo vedieť sledovať obrubník, vyhnúť sa zníženým konárom, dopravným kužeľom, hydrantom, stĺpom elektrického vedenia a iným statickým prekážkam. Každé vozidlo dostalo GPS súradnice záchytných bodov a muselo si zvoliť pomocou GPS alebo INS najvhodnejšiu trasu. Počas cesty do cieľa muselo vozidlo akceptovať dopravné značenie, riešiť križovatky a kruhové objazdy a to v prítomnosti iných áut, pričom nesmelo zapríčiniť žiadnu nebezpečnú situáciu.

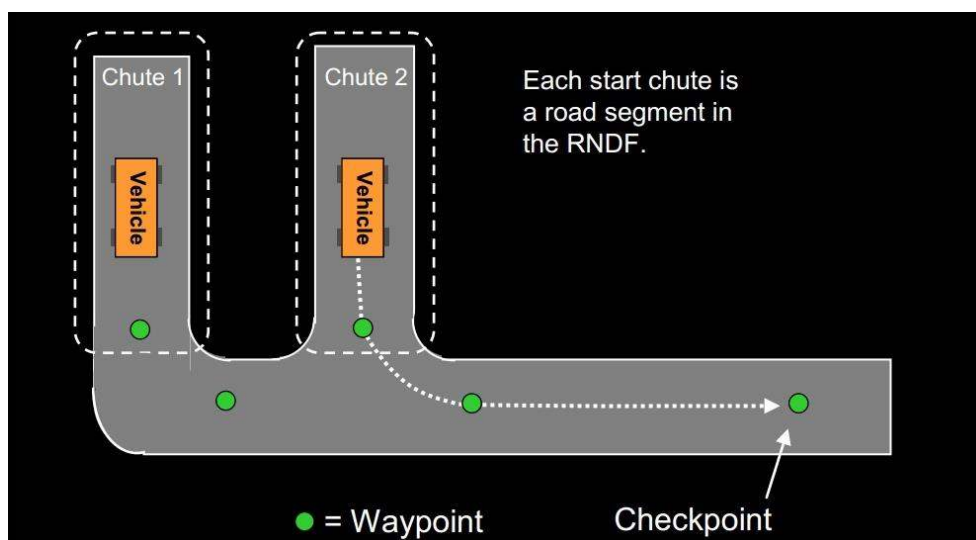


Obr. 3. 1 Autonómne riadené vozidlo „Boss“ a jeho snímače. [11]

Každý ročník mal svoje špecifické kritéria technického hodnotenia vozidla. Pri DARPA: The Urban Challenge bolo hodnotenie rozdelené do 4 celkov: Basic Navigation (Základy navigácie), Basic Traffic (Základy cestnej premávky), Advanced Navigation (Pokročilá navigácia), Advanced Traffic (Pokročilé znalosti cestnej premávky).[6]

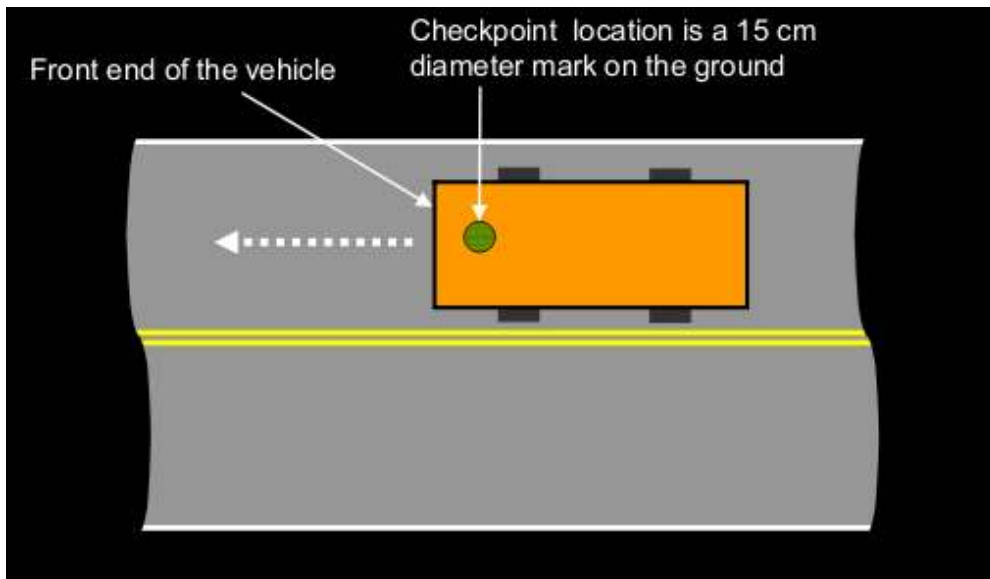
### 3.1.1 Základná navigácia (Basic Navigation)

- **Príprava na jazdu** - Vozidlo musí byť schopné vyštartovať do 5 minút od prijatia Mission Data File (MDF) na USB 2.0 kľúči, pričom počítač si musí údaje z kľúča interpretovať sám, bez zásahu človeka. Súbor sa môže skopírovať z flash disku do pamäte počítaču (USB disk nemusí ostať vo vozidle).
- **Štart misie** - Vozidlo môže začať jazdu z ktoréhokoľvek bodu trasy. Ďalej sleduje kontrolné body trate, ktoré sú uložené v MDF. Vozidlo musí byť schopné v prípade potreby znovu začať z akéhokoľvek úseku trate. Obr. 3.2 ukazuje jednoduchý prípad štartu pozostávajúci z dvoch štartovacích priestoroch vedúcich do trate. Vozidlo sa musí dostať k prvému kontrolnému bodu trate (Checkpoint).



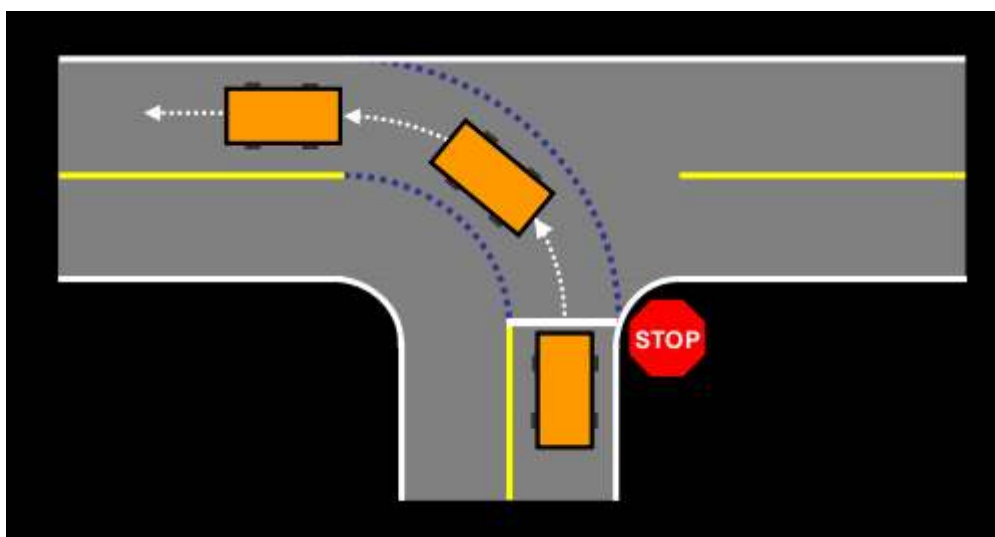
Obr. 3. 2 Štart vozidla. [6]

- **Kontrolné body** - sú časti trati uložené v MDF a na ceste sú vyznačené kruhmi s priemerom 15cm, ktoré sa nachádzajú uprostred jazdného pruhu alebo parkovacieho miesta. Toto značenie kontrolných bodov môže, ale nemusí byť viditeľné pre vozidlo. Vozidlá musia byť vo svojom pruhu, aby prešli kontrolným bodom. K získaniu bodov musí predný nárazník vozidla prejsť cez kontrolný bod, tak ako je naznačené na Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Prejdenie kontrolného bodu. [6]

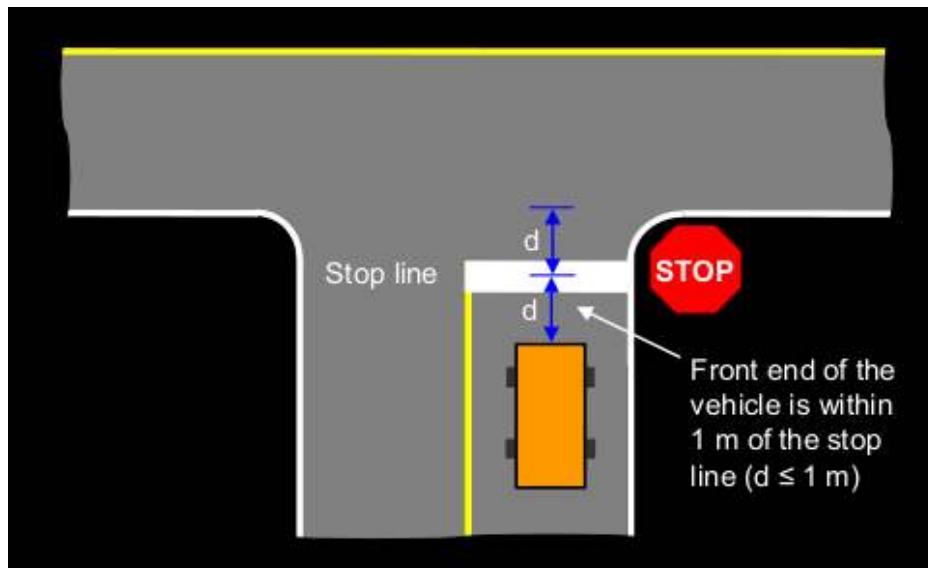
- **Držanie sa vo svojom jazdnom pruhu** - vozidlá musia zostať vo svojom jazdnom pruhu. Jazdný pruh môžu opustiť v prípade mimoriadnych okolností. Výnimkou je napríklad odbočovanie na križovatke alebo vyhýbanie sa prekážke na ceste. Všetky kolesá vozidla by mali zostať v jazdnom pruhu, vzdialené minimálne jeden meter od stredovej čiary. Napriek tomu, že cesta nemusí byť v križovatke označená čiarami, si vozidlo musí zvoliť vhodnú trasu odbočenia ako je znázornené na Obr. 3.4.



Obr. 3.4 Držanie sa správneho pruhu počas odbáčania vľavo. [6]

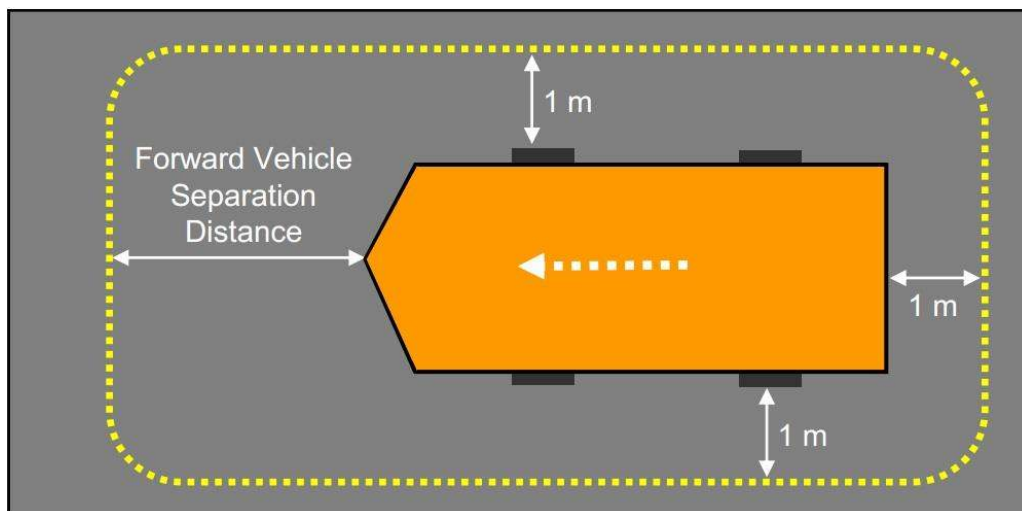
- **Rýchlostný limit** - vozidlo nesmie prekročiť maximálny rýchlostný limit, ale ani nesmie stáť pri každom záchytnom bode. Musí ísť plynule minimálnou povolenou rýchlosťou, jedinou povolenou výnimkou je zastavenie pri odhalení prekážky na ceste. Ak vozidlo prejde úsek cesty pomalšie ako je minimálny rýchlostný limit, dostáva trestné body za jeho porušenie.

- **Nadmerné čakanie** - vozidlá nesmú stáť na mieste dlhšie ako 10 sekúnd, aby nevytvorili prekážku a nebrzdili plynulosť premávky. Vozidlá, ktoré toto pravidlo porušia, budú penalizované. V prípade nebezpečnej situácie, alebo možnosti vzniku takejto situácie, toto pravidlo neplatí.
- **Kolízie** - najhlavnejšou podmienkou je za každých okolností predísť kolíziám a vyhnúť sa všetkým nebezpečným situáciám, ktoré môžu vzniknúť na cestách. Vozidlá by nemali predpokladať, že správanie iného vozidla je úplne predvídateľné.
- **Značka STOP** - vozidlo musí zastaviť maximálne meter pred čiarou STOP, tak ako je to znázornené na Obr. 3.5. Vozidlo nesmie nikdy zastaviť v takom mieste, kde prečnieva alebo čiastočne blokuje križovatku. Presné riadenie je predpokladom pre zaistenie bezpečnosti v mestskom prostredí.

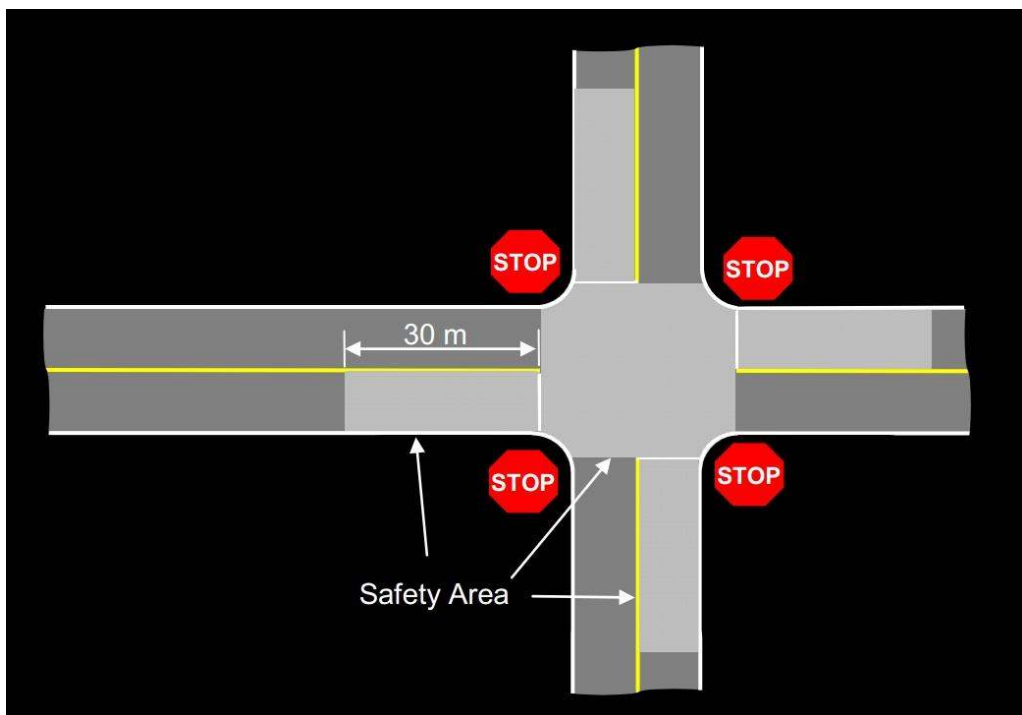


Obr. 3. 5 Zastavenie na značke STOP. [6]

- **Vzdialenosť od objektov** - vozidlo musí udržiavať minimálnu vzdialenosť 1 meter, na bokoch a zadnej časti vozidla, od všetkých prekážok, ako je znázornené na Obr. 3.6. V bezpečnostnej zóne (napr. 30 metrov pred značkou STOP (Obr. 3.7)) musí byť od vozidla pred ním vzdialené minimálne 2 metre. V ostatných častiach je vzdialenosť závislá od rýchlosti vozidla. Rýchlosť vozidla podelíme 10 míľami za hodinu a týmto číslom potom vynásobíme dĺžku vozidla a dostaneme hľadanú vzdialenosť.

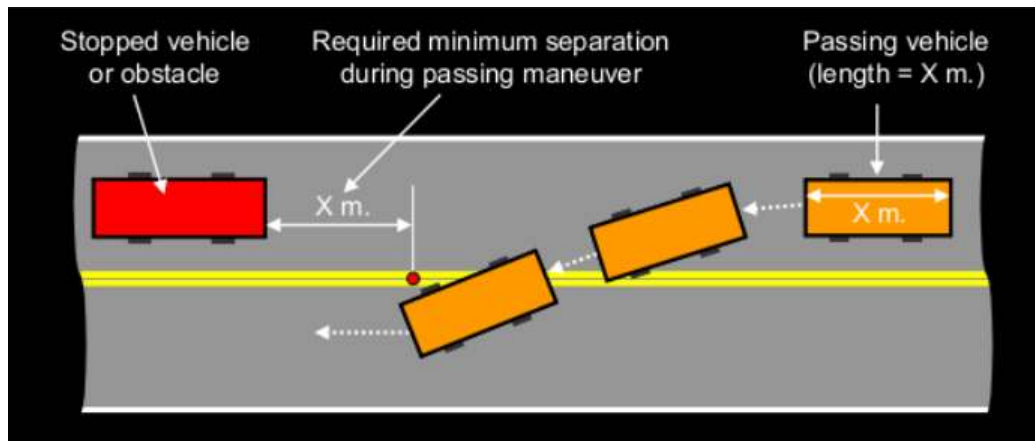


Obr. 3. 6 Žltou čiarou je vyznačená minimálna vzdialenosť vozidla od objektov. [6]



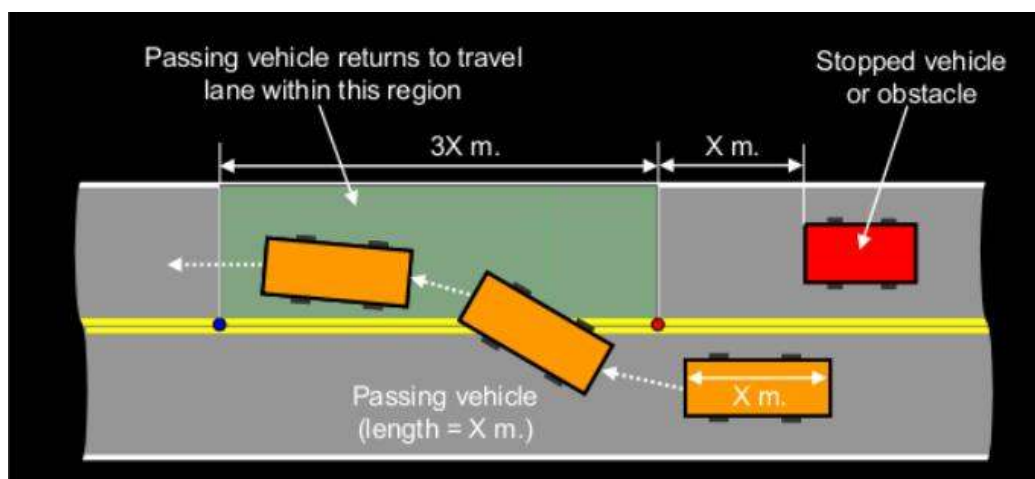
Obr. 3. 7 Bezpečnostné zóny v križovatke. [6]

- **Vybočenie z jazdného pruhu pri obchádzaní prekážky na ceste** - pri možnej prekážke na ceste, auto musí zastat' a zistiť situáciu okolo neho skôr, ako prejde dvojitou plnou čiarou. Ako je naznačené na Obr. 3.8, vozidlo musí opúšťať svoj jazdný pruh skôr ako vzdialenosť od prekážky bude menšia ako jeho dĺžka.



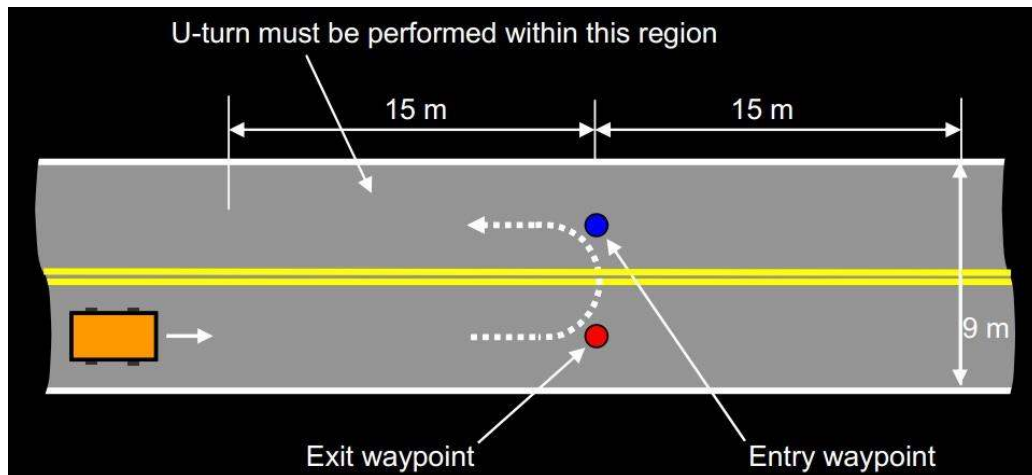
Obr. 3. 8 Vybočovanie z jazdného pruhu cez plnú čiaru kvôli prekážke na ceste. [6]

- **Vrátenie sa do jazdného pruhu po obídení prekážky** - vozidlo sa do svojho pruhu vracia najskôr až, keď bude od prekážky vzdialený presne svoju dĺžku. Situáciu znázorňuje Obr. 3.9.



Obr. 3. 9 Opätovné vrátenie sa do svojho jazdného pruhu po vyhnutí sa prekážke. [6]

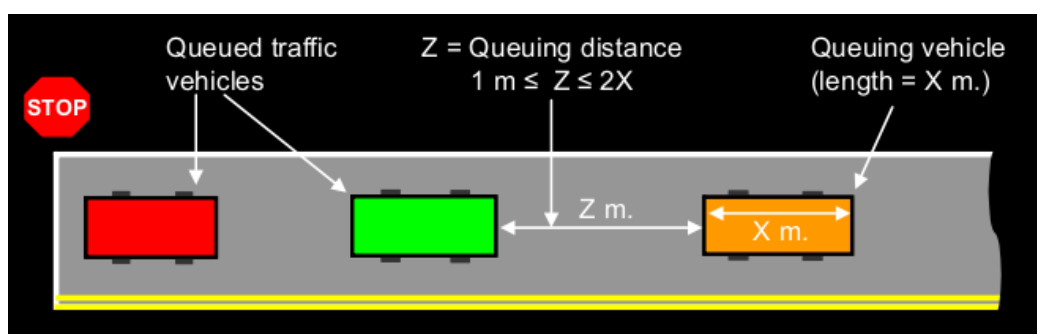
- **Otočenie sa na ceste** - vozidlo musí byť schopné otočiť sa na 9 metrov širokom a 30 metrov dlhom úseku cesty, v prípade že narazí v RNDF (Route Network Definition File) na špeciálne body, ako je znázornené na Obr. 3.10. Tento manéver musí vykonať aj v prípade zablokovanej cesty. Pred začatím otočenia na ceste s plnou čiarou by malo vozidlo vždy zastaviť a pustiť všetky idúce vozidlá. Vozidlo sa nesmie otáčať v križovatke a ani v jednosmerke.



Obr. 3. 10 Oblasť otočenia vozidla o 180°. [6]

### 3.1.2 Základná premávka (Basic Traffic)

- **Basic Navigation** - vozidlo musí mať splnené všetky kritériá z tejto časti.
- **Prednosť v križovatke** - vozidlo rešpektuje poradie prednosti v križovatkách. Vozidlo, ktoré príde prvé na križovatku, v ktorej sa nachádzajú minimálne 2 stopky, prvé aj odíde. To platí pre vozidlá, ktoré prichádzajú na križovatku zo strany, kde je značka STOP. Vozidlá musia rešpektovať poradie a uistiť sa že všetky vozidlá, na ktoré čakalo, už opustili križovatku.
- **Minimálna vzdialenosť medzi vozidlami** - Pri sledovaní iného vozidla, dodržiava autonómne riadené vozidlo požadovaný odstup vyrátaný z rýchlosti a dĺžky vozu. Tými si môžu zvoliť konzervatívnejšiu vzdialenosť, ak je to nutné.
- **Kolóna** - vozidlá musia byť schopné jazdiť v kolóne, pričom ale musia zachovať jej plynulosť a dodržiavať patričnú vzdialenosť, ktorá sa musí pohybovať v intervale od 1m po dĺžku vozidla tak ako je to popísané na Obr. 3.11.

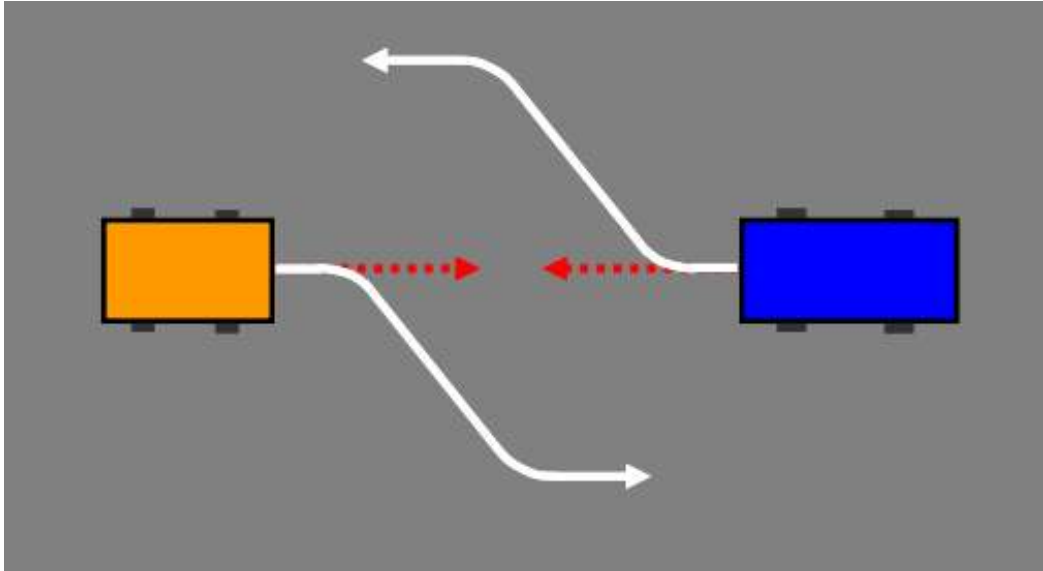


Obr. 3. 11 Vzdialenosť vozidla v kolóne. [6]

### 3.1.3 Pokročilá navigácia (Advanced Navigation)

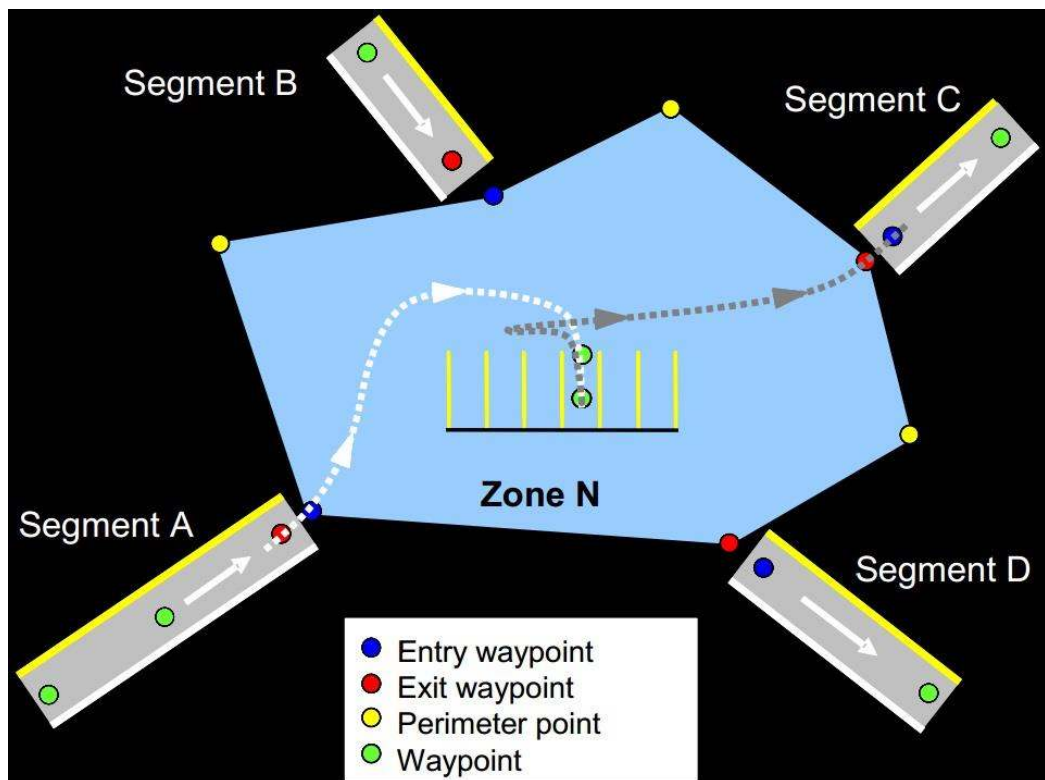
- **Basic Traffic** - vozidlo musí spĺňať všetky parametre z oblasti Basic Traffic.
- **Prekážkové pole** - vozidlo musí byť schopné prejsť bezpečne a efektívne 50 až 200m dlhými zónami, v ktorých sa nachádzajú statické ale aj dynamické

prekážky. Ak ide oproti hýbajúci sa objekt musí sa vyhnúť vždy doprava, ako je zobrazené na Obr. 3.12. Vozidlá musia vedieť pracovať v neštruktúrovaných zónach, kde nie sú k dispozícii žiadne deliace čiary.



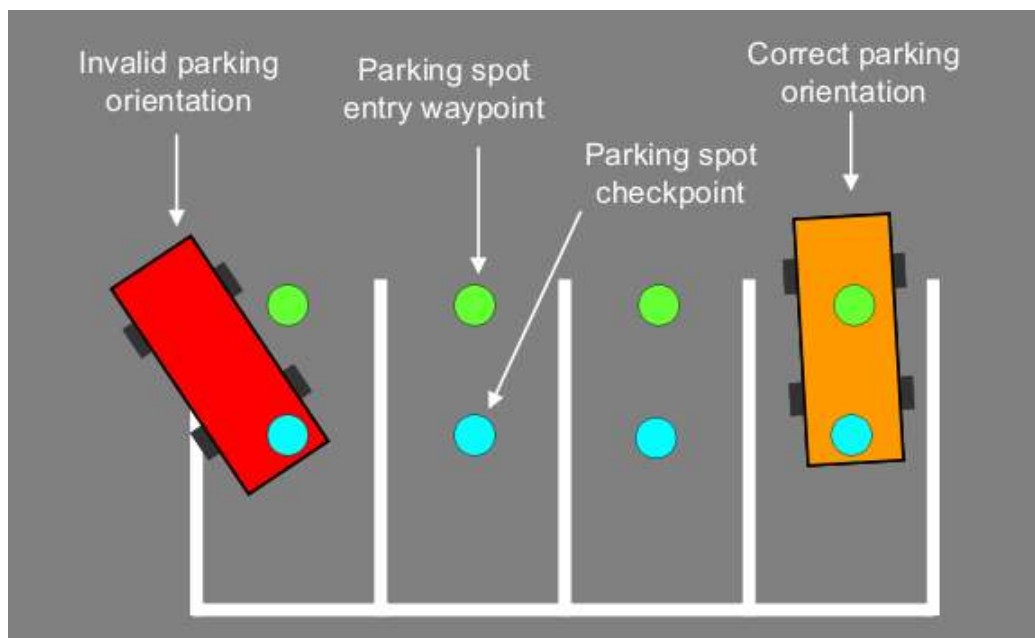
Obr. 3. 12 Vyhýbanie sa pohybujúcim sa objektom. [6]

- **Parkovanie** - RNDF obsahuje informácie o všetkých parkovacích miestach na trati, v ktorých môže byť od vozidla vyžadované aby zaparkovalo. Ako dané parkovacie miesto vyzerá, je zobrazené na obrázku Obr. 3.13.



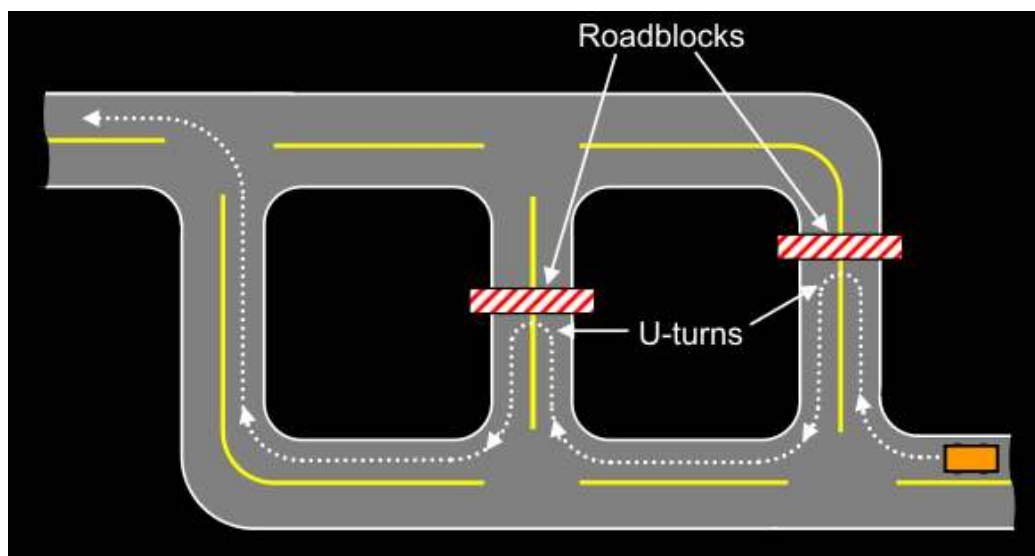
Obr. 3. 13 Mapa parkoviska. [6]

Vozidlo nebude prioritne vedieť o rozmiestnení prekážok, alebo iných vozidiel na parkovisku. Napriek tomu musí správne zaparkovať. Obr. 3.14 ukazuje, že vozidlo ktoré parkuje musí pokryť obe parkovacie body.



Obr. 3. 14 Správne parkovanie. [6]

- **Dynamické plánovanie** – cestné zátarasu nebudú v RNDF vyznačené a môžu sa počas súťaže meniť. Ak vozidlo natrafi na zablokovanú cestu, musí sa otočiť a naplánovať novú trasu (Obr. 3.15).



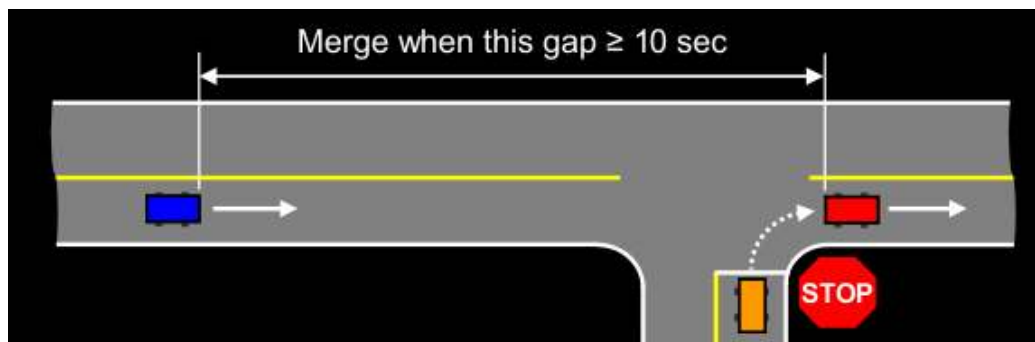
Obr. 3. 15 Dynamické plánovanie. [6]

- **Sledovanie cesty** - vyžaduje sa, aby vozidlo pravidelne monitorovalo vozovku a svoje okolie. Musí dokázať sledovať cestu aj pri 90° zákrute.

- **GPS** - vozidlo musí byť schopné pokračovať v jazde, aj zhoršeniu alebo strate signálu GPS. Pre znovuzískanie signálu môže manévrovať do bokov, ale nesmie prejsť do protismeru.

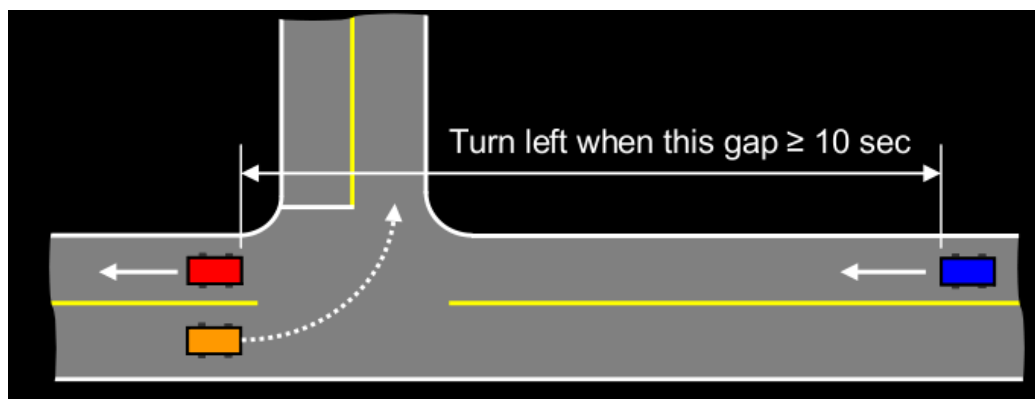
### 3.1.4 Pokročilá premávka (Advanced Traffic)

- **Advanced Navigation** - vozidlo musí mať splnené všetky kritéria z tejto časti
- **Začlenenie do premávky** - ak vozidlo zastane pred križovatkou, môže odbočiť a začleniť sa do premávky, ak medzi križovatkou a možným prichádzajúcim autom je medzera minimálne 10 sekúnd (Obr. 3.16) a musí sa zaradiť do premávky tak rýchlo, aby vozidlo za ním mohlo udržiavať bezpečnú vzdialenosť.



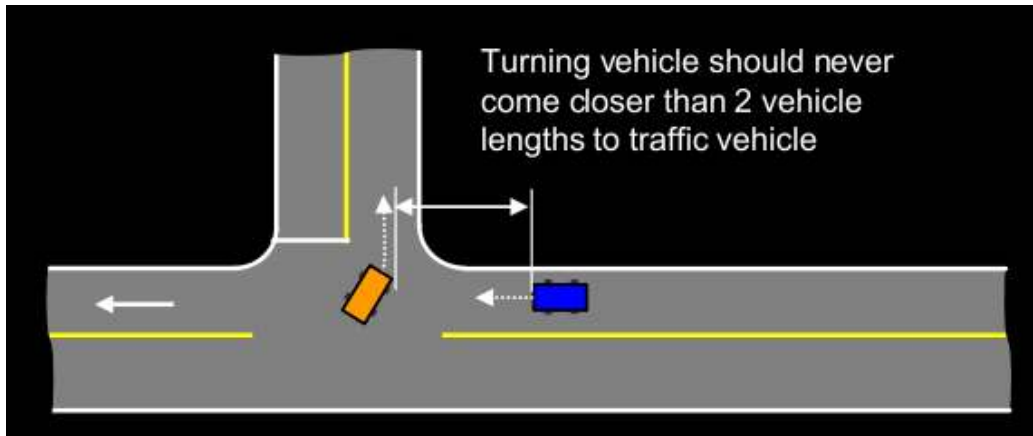
Obr. 3. 16 Zaradenie sa do premávky. [6]

- **Vzdialenosť medzi vozidlami pri začlení do premávky** - vozidlo zaraďujúce sa do premávky medzi vozidlá, musí dodržiavať správnu vzdialenosť od vozidla idúceho pred ním a nemôže obmedziť vozidlo idúce za ním.
- **Odbočenie vľavo** - vozidlo odbočujúce vľavo prechádza cez protismer. Odbočiť môže len ak je časová medzera medzi vozidlami menšia ako 10 sekúnd (Obr. 3.17). Sú dva prípady odbočovania vľavo: odbočovanie z hlavnej cesty na vedľajšiu (Obr. 3.17) alebo z vedľajšej na hlavnú. Oba prípady vyžadujú prejsť cez protismer.



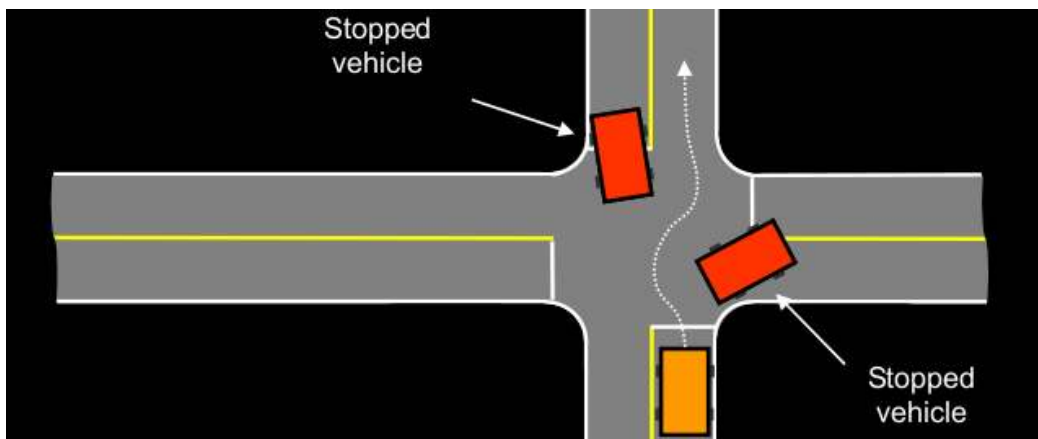
Obr. 3. 17 Časová medzera pre zaradenie sa do premávky. [6]

- **Vzdialenosť medzi vozidlami pri odbočení vľavo** - Minimálna vzdialenosť pri odbočovaní medzi vozidlami musí byť dvojnásobná dĺžka vozidla (Obr. 3.18). Pri odbočovaní pritom nesmie ohroziť ani obmedziť protiídúce vozidlo.



Obr. 3. 18 Minimálna vzdialenosť pre odbočenie vľavo z hlavnej cesty. [6]

- **Núdzové brzdenie** - vozidlo musí pozorovať stále svoje okolie a detekovať prekážky. V prípade, keď mu do cesty náhle vojde iné vozidlo a do zrážky zostávajú 4 sekundy, vozidlo musí bezpečne zastaviť a zamedziť zrážke. Pokiaľ sa vozidlo hýbe rýchlosťou 10 míľ/s (4.4 m/s) malo by byť schopné bezpečne zabrzdiť, ak mu do cesty vojde objekt vo vzdialenosti 17,6 m.
- **Defenzívne riadenie** - vozidlo musí vykonať určité defenzívne manévry, aby zabránilo čelnému nárazu a udržalo požadovanú vzdialenosť od objektov. Pre splnenie tohto kritéria, bude vozidlo vystavené protiídúcemu vozidlu, ktoré sa bude naň rútiť rýchlosťou asi 5 míľ za hodinu. Robotické vozidlo musí spozorovať protiídúci voz, rozpoznať hrozbu a vykonať úhybný manéver.
- **Zápcha** - vozidlo musí v prípade čiastočne blokovanej križovatky zastaviť, do 10 s stanoviť situáciu v križovatke a obísť stojace vozidlo (Obr. 3.19) tak, aby sa vyhol kolízii. Ak je požadovaná trasa cez križovatku zablokovaná, musí si vozidlo trasu preplánovať tak, aby sa dostalo do ďalšieho kontrolného bodu.



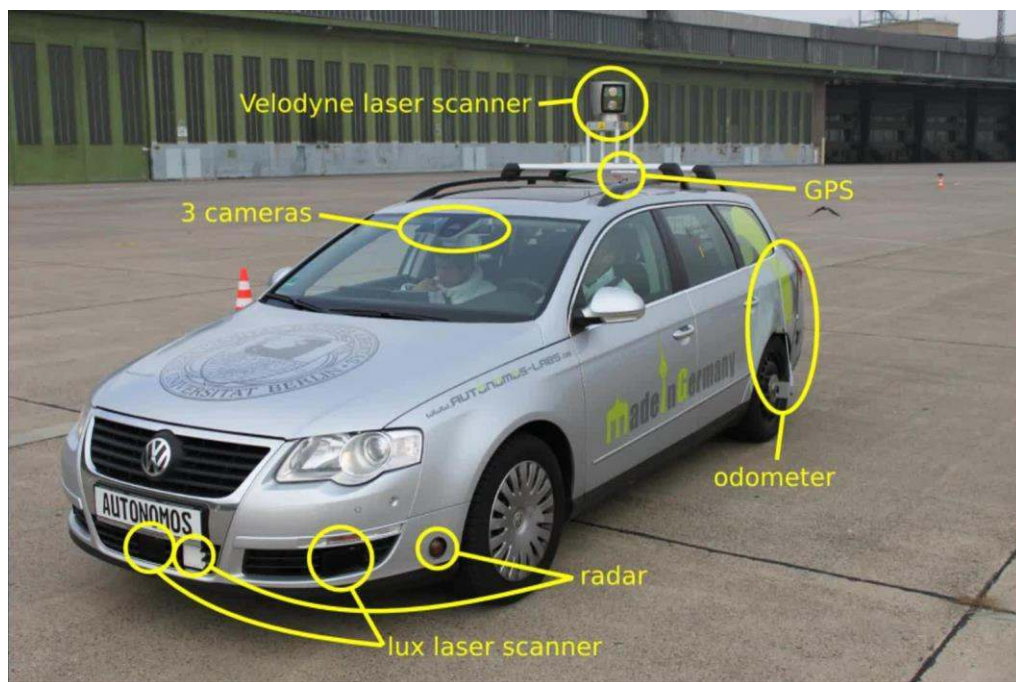
Obr. 3. 19 Zápcha v križovatke. [6]

## 3.2 Nemecký projekt AutoNOMOS

AutoNOMOS Labs je súčasťou Artificial Intelligence Group z Freie Universität v Berlíne. Je financovaná ministerstvom vzdelávania a výskumu. Snahou tejto skupiny študentov a výskumníkov je vytvorenie autonómneho vozidla budúcnosti. Tým založil v roku 2006 Prof. Dr. Raúl Rojas. V roku 2007 skončili so svojim vozidlom „Spirit of Berlin“ v semi-finále robotického súťaže DARPA Urban Challenge.

Najnovšie vozidlo bolo certifikované v júni 2011 s názvom „MadeInGermany“ a bolo rozsiahle testované v Berlínskej mestskej premávke. Automaticky zvládlo prejsť Berlínske ulice plné iných vozidiel a taktiež dokázalo riadiť vozidlo v premávke na diaľnici. Vozidlo bolo predvedené v plnej premávke v Berlíne a prešlo 20 kilometrov tam a späť medzi Medzinárodným kongresovým centrom a Brandenburskou bránou štyrikrát bez incidentov. [3]

MadeInGermany je prvý autonómne riadený automobil, ktorý získal licenciu pre autonómne riadenie v uliciach a na diaľniciach v Berlíne a Brandenbursku. Podmienkou riadenia vozidla v premávke je bezpečnostný vodič, ktorý musí sedieť za volantom, aby v prípade nehodovej situácie mohol zabrzdiť. Ak sa vodič dotkne brzdového pedálu, všetky počítače sa okamžite odpoja a vodič bezpečne prevezme kontrolu nad vozidlom.



Obr. 3. 20 Umiestnenie snímačov na vozidle MadeInGermany. [3]

Vozidlo zisťuje svoju polohu z veľmi presnej GPS jednotky. Tri laserové skenery vpredu a tri vzadu na vozidle odhalia akékoľvek auto či chodca v 360 stupňovom okruhu okolo vozidla. Meranie sa vykonáva emitovaním laserových pulzov v neviditeľnej infračervenej oblasti. Odrazené svetelné pulzy sú detekované a z doby letu sa určuje vzdialenosť objektov. Rotujúci laserový skener poskytuje až milión skenovacích bodov za sekundu pre vytvorenie 3D štruktúry prostredia. Čiernobiele

kamery na spätných zrkadlách sa používajú na detekciu bielych čiar na ceste a na centrovanie vozidla v jeho jazdnom pruhu. Dve farebné kamery sa používajú na identifikáciu stavu semaforov. Počas skúšobnej jazdy v Berlíne, vozidlo úspešne spracovalo 46 semaforov.

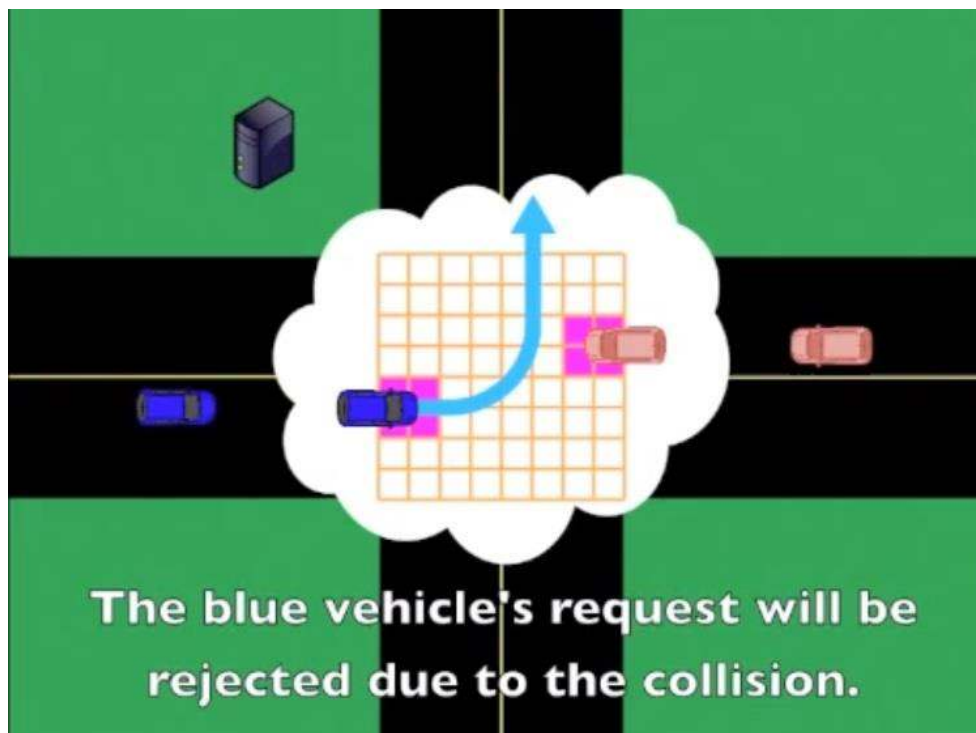
Podľa názoru Prof. Raula Rojasa, vedúceho projektu, by autonómne vozidlá mohli byť používané na cestách už v súčasnosti, pretože technológia je zrelá. Autonómne jazdenie na verejných komunikáciách, by sa mohlo stať prijateľné v nasledujúcich desiatich až pätnástich rokoch, potom čo budú vyriešené právne otázky. Samostatná navigácia vozidiel v uliciach vyžaduje ďalší rozvoj k zvýšeniu bezpečnosti. *“Normy používané na meranie bezpečnosti budú ďaleko prísnejšie ako pre ľudí“*, hovorí profesor Rojas, *“ ale akonáhle zapadnú všetky kúsky do seba, autonómne vozidlá budú bezpečnejšie ako vozidlá riadené ľuďmi. Je to len otázka času“*. [4]

MadeInGermany bude naďalej pokračovať v jazde po Berlínskych uliciach. Výskumníci z AutoNOMOS Labs teraz majú nový cieľ: plne automatické riadenie medzi európskymi mestami a autonómne taxíky. [4]

### 3.3 Americký projekt AIM

Cieľom amerického projektu AIM je vytvorenie bezpečného a efektívneho systému ovládania autonómnych vozidiel v križovatkách.

Inteligentné technológie vo vozidlách napredujú a nedávny pokrok naznačuje, že využitie autonómnych vozidiel bude v blízkej budúcnosti viac než isté. V súčasnosti na križovatkách a semaforocho kontrolujú alebo pomáhajú autonómne riadeným vozidlám prejsť cez križovatky tzv. bezpečnostný vodiči alebo operátory. Avšak, v budúcnosti, keď budú autá riadiť výhradne počítače, nebude mať žiadny zmysel využívanie dopravných značení, ktoré boli navrhnuté pre ľudského vodiča. So všetkými výhodami, ktoré riadenie počítačom ponúka – precíznejšia kontrola, lepšie snímače, rýchlejšie reakčné časy – môže byť cestovanie nielen bezpečnejšie a jednoduchšie, ale aj oveľa efektívnejšie. Preto vedci z University of Texas v Austine vyvinuli model počítačovo kontrolovanej križovatky AIM. Pomocou AIM, vozidlá môžu častejšie prejsť križovatkou bez toho aby zastavili. Čím sa redukujú dopravné zápchy, spotreba paliva a taktiež emisie. AIM funguje na princípe žiadosti. Vozidlo vstupujúce do križovatky vyšle žiadosť o vstup do križovatky do serveru, ktorý križovatkou riadi. Server simuluje akciu vstupu vozidla do križovatky s určitou trajektóriou a zisťuje či nenastane kolízia. Ak kolízia nenastane, server povolí vozidlu vstup do križovatky. V prípade že do križovatky vstupujú napr. dve vozidlá (Obr. 3.21), vozidlo ktoré odošle požiadavku prvé dostane po vyhodnotení serverom povolenie, no vozidlo ktoré odošle požiadavku ako druhé dostane zákaz. Server vyhodnotí situáciu ako kolíznu a pošle druhému vozidlu správu aby spomalilo alebo zastavilo. Spomaľujúce vozidlo opakovane vysiela žiadosť, kým server situáciu nevyhodnotí ako bezkolíznu a nepošle povolenie na vstup do križovatky. [18]



Obr. 3. 21 Server vyhodnotí situáciu ako kolíznu a zamietne žiadosť modrého vozu (modré vozidlo vstupuje do križovatky ako druhé). [18]

Systém AIM bol otestovaný na vozidle „Marvin“ ( autonómne riadené vozidlo , zostrojené vedcami z Texaskej Univerzity, ktoré sa zúčastnilo aj DARPA Urban Challenge). [18]

### 3.4 Autonómne riadené vozidlo firmy Google

Asi najznámejším konštruktérom autonómne riadeného vozidla je spoločnosť Google, ktorá v roku 2010 oznámila projekt autonómne riadeného vozidla s jasným cieľom: zvýšiť bezpečnosť, komfort a efektivitu prepravy. S týmto cieľom spoločnosť Google vytvorila takmer tucet autonómne riadených áut, ktoré začala testovať v reálnej premávke v San Franciscu. Koncom roku 2012 najzdili tieto počítačom riadené vozidlá viac ako 300000 míľ bez nehody. Ďalším plánom spoločnosti Google je otestovať autonómne riadené autá na zasnežených cestách a v iných problémových situáciách. Ako ďalší krok začnú členovia tímu využívať tieto autá na príchod do práce. Google sa rozhodlo využiť ako základ svojho autonómne riadeného vozidla hybridne poháňané auto Toyota Prius (Obr. 3.22). V polovici roku 2012 pridala spoločnosť autonómne riadený model Lexus RX450h. [8][32]



Obr. 3. 22 Prvé experimentálne autonómne vozidlo od firmy Google. [26]

### 3.5 Veľtrh ELROB

V roku 2006 uskutočnilo nemecké ministerstvo obrany výstavu s názvom „European Land-Robot Trial“ alebo v skratke ELROB. Táto výstava slúžila na demonštráciu vojenských automatizovaných a diaľkovo ovládaných vozidiel a robotov. V roku 2007 sa konala civilná verzia tohto veľtrhu vo Švajčiarsku. Tým započala tradícia veľtrhov ELROB.

Veľtrh umožňuje demonštrovať a následne porovnávať schopnosti rôznych systémov a vozidiel v reálnych scenároch a terénoch. Veľtrh je navrhnutý tak, aby zhodnotil existujúce technológie riešiace daný problém.

Je 5 typov scenárov:

1. Prieskum a monitorovanie mestských štruktúr
2. Mobilná manipulácia s nebezpečnými materiálmi
3. Pátranie a záchrana v horiacom podzemnom parkovisku
4. Autonómna navigácia pomocou GPS, GLONASS alebo GALILEO
5. EOR/EOD/IEDD/CIED (zahŕňa výbušniny, len pre profesionálov!)

Scenáre a kategórie robotov sa môžu každým ročníkom meniť. Ďalšie informácie o veľtrhu je možné získať na oficiálnych stránkach. [35][41]

### 3.6 Medzikontinentálna súťaž VIAC

Myšlienka medzikontinentálnej súťaže VIAC, čo je skratka pre „VisLab Intercontinental Autonomous Challenge“, vznikla v roku 2007 v talianskej firme VisLab. Po naplánovaní cesty a dohode s vládami všetkých zainteresovaných zemí začal 20 Júla 2010 doposiaľ prvý ročník tejto súťaže. V tento deň vyštartoval konvoj autonómnych vozidiel z Parmy (Taliansko). Konvoj sa skladal z takmer autonómneho hlavného vozidla - lídra, ktorého nasledovali 4 úplne autonómne riadené vozidlá bez vodiča. 28 Októbra 2010 bola oficiálne súťaž VIAC zakončená na výstave „World Expo European Pavillion 2010“ v Šanghaji (Čína).

Cesta z Parmy do Šanghaju trvala okolo 100 dní. Počas tejto cesty vozidlá prešli vzdialenosť 15926 km cez 9 rôznych zemí Eurázie a zozbierali celkovo 21,5 TB dát.

Súťaž bola navrhnutá tak, aby dôkladne otestovala rôzne systémy podpory riadenia a systémy autonómneho riadenia, ktoré VisLab za posledných viac ako 15 rokov vyvinul.

Vzhľadom k tomu, že neexistujú vhodné mapy niektorých oblastí, v ktorých sa majú vozidlá pohybovať, bolo nemožné vyžadovať od vozidiel určenie trasy. Preto je konvoj vedený vozidlom, nad ktorým môže v prípade potreby operátor prevziať kontrolu. Líder konvoju musí mať vždy operátora, aj keď je po väčšinu času riadený autonómne.

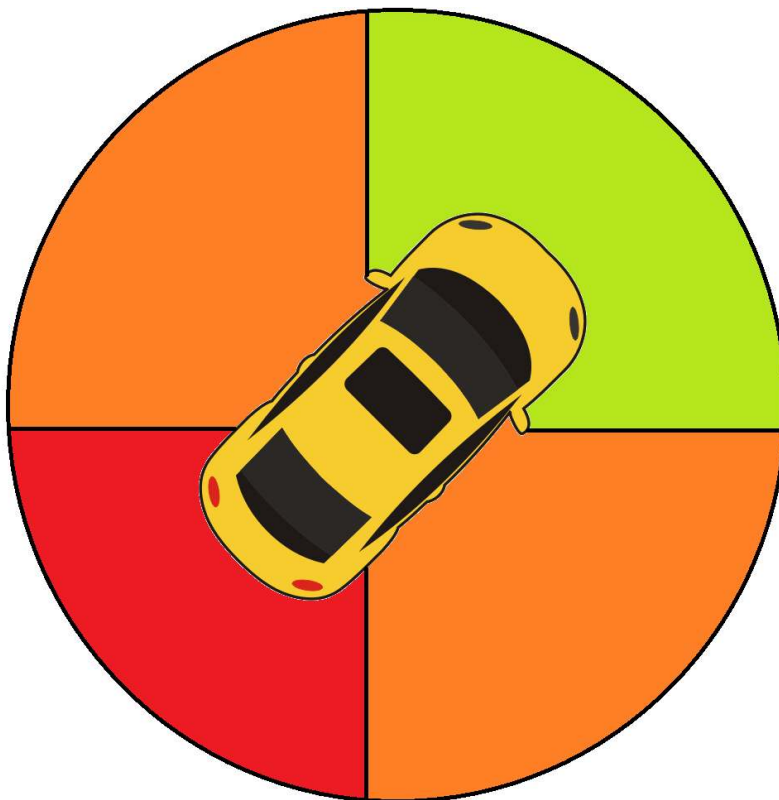
Líder vysiela svoju pozíciu cez GPS. Túto pozíciu prijímajú ostatné vozidlá v konvoji a nasledujú jeho trasu. V prípade že je líder viditeľný pre ostatné vozidlá, využívajú sa pre jeho nasledovanie, zistenie rýchlosti a obchádzanie prekážok vonkajšie senzory.

Vozidlá musia čeliť veľkému množstvu rôznych extrémnych podmienok, ako je napríklad nepredvídateľné správanie ostatných účastníkov cestnej premávky. Aby tieto problémy zvládli, VisLab si dal osobitne záležať na dizajne vozidiel a na definícii ich správania. Napriek tomu že sú vozidlá hardvérovo zhodné, majú rôzne ciele. Prvé vozidlo zbiera údaje o teréne počas celej cesty a v niektorých úsekoch cesty je riadené operátorom. Vozidlá, ktoré idú za lídrom, len prioritne sledujú trasu definovanú prvým vozidlom. [39]

## 4 NAVRHOVANÉ SNÍMAČE

Po dôkladnom preštudovaní problematiky som sa nakoniec rozhodol zamerať na snímač Velodyne HDL-64E LIDAR a na kamerové snímače vo vozidlách. Výhodou snímaču Velodyne HDL-64E oproti ostatným laserovým snímačom je 360° oblasť merania. Tento snímač bol priamo navrhnutý na vizuálnu navigáciu vozidla. Ako dostupný kamerový snímač som dostal k dispozícii kameru Prosilica GC 1290C od firmy Allied Vision Technologies. Jej výhodou je široká možnosť využitia a veľký dátový tok.

Za výhodné pri riadení autonómneho vozidla považujem rozdeliť si snímače do 4 sektorov, podľa oblastí ktorú snímajú (napr. podľa Obr. 4.1). Takéto rozdelenie by umožnilo ľahšie určiť prioritu dát z daného snímača pri riadení autonómneho vozidla.



Obr. 4. 1 Rozdelenie snímačov do 4 prioritných sektorov

### 4.1 Laserový snímač Velodyne Lidar HDL-64E

Velodyne HDL-64E LIDAR (Obr. B.8 vid' príloha) býva najčastejšie využívaný pri riadení dnešných autonómnych vozidiel a z dnes dostupných snímačov sa ukázal byť najlepším snímačom na riadenie autonómneho vozidla.

Existujú dve rôzne verzie tohto snímaču, ktoré sa líšia len minimálne(verzia S2 a S2.1) a to hlavne vo VFOV(Vertical Field Of View – vertikálne pole pohľadu) a tým aj primárnym využitím. [15]

Hlavnou výhodou tohto snímaču oproti ostatným je jeho HFOV(Horizontal Field Of View – horizontálne pole pohľadu). Snímač dokáže mapovať okolie v 360° v horizontálnom smere (Obr. B.5 vid' príloha). Takto dokáže za jednu sekundu zmapovať vyše 1 300 000 dátových bodov v celkovom poli pohľadu(HFOV aj VFOV) a využíva pri tom 64 laserových diód. Tieto diódy sú rozdelené do dvoch laserových blokov (každý obsahuje 32 laserových diód). Obe tieto bloky rotujú spolu ako jeden celok. Tento dizajn umožňuje mapovať desiatky tisíc bodov za sekundu pomocou jedného páru laserových diód (čo je exponenciálne viac dátových bodov za sekundu ako dokáže zmapovať snímač s dizajnom rotujúceho zrkadla). Senzor využíva na rotáciu priame pripojenie na motor bez pasového alebo reťazového prevodu a rotuje rýchlosťou 300-1200 otáčok za minútu (5-20Hz). Udávaný dosah snímania je až 120 metrov a využíva pritom oku bezpečný laser spĺňajúci prvú triedu bezpečnosti. Ďalšie vlastnosti tohto snímaču sú zobrazené na Obr. 4.2. [16][10]

Specifications	
Sensor:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 64 lasers/detectors</li> <li>• 360 degree field of view (azimuth)</li> <li>• 0.09 degree angular resolution (azimuth)</li> <li>• 26.8 degree vertical field of view (elevation) - +2° up to -24.8° down with 64 equally spaced angular subdivisions (approximately 0.4°)</li> <li>• &lt;2 cm distance accuracy (one sigma)</li> <li>• 5-15 Hz field of view update (user selectable)</li> <li>• 50 meter range for pavement (~0.10 reflectivity)</li> <li>• 120 meter range for cars and foliage (~0.80 reflectivity)</li> <li>• &gt;1.333 M points per second</li> <li>• Operating temperature - 10° to 50° C</li> <li>• Storage temperature - 10° to 80° C</li> </ul>
Laser:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Class 1 - eye safe</li> <li>• 4 x 16 laser block assemblies</li> <li>• 905 nm wavelength</li> <li>• 5 nanosecond pulse</li> <li>• Adaptive power system for minimizing saturations and blinding</li> </ul>
Mechanical:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15V ± 1.5V @ 4 amps</li> <li>• &lt;29 lbs.</li> <li>• 10" tall cylinder of 8" OD diameter</li> <li>• 300 RPM - 900 RPM spin rate (user selectable)</li> <li>• Environmental Protection IP67</li> </ul>
Output:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 MBPS UDP Ethernet packets</li> </ul>

Copyright ©2010 Velodyne Lidar, Inc. Specifications are subject to change without notice.  
Other trademarks or registered trademarks are property of their respective owners. MAR 2010

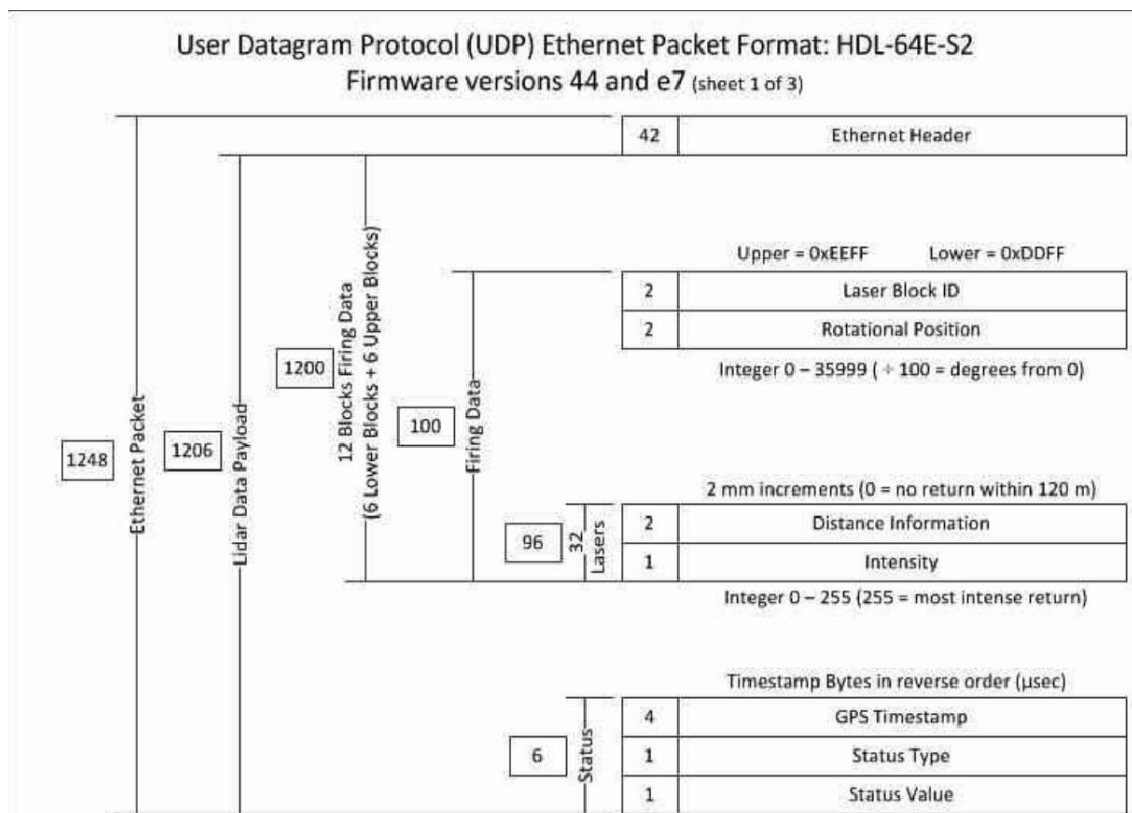
Obr. 4. 2 Vlastnosti snímaču Velodyne HDL-64E Lidar, [16]

Senzor funguje v rozmedzí napätí 12-16V. Napätie nad 16V môže senzor poškodiť. Nemá žiadny štartovací spínač, pri pripojení napájania sa spustí rotácia. Pokiaľ rotácia nedosiahne 300 RPM senzor má blokujúci obvod, ktorý zabraňuje spusteniu laserov. Senzor je kompatibilný len so sieťovými kartami, ktoré majú buď MDI alebo AUTO MDIX schopnosť. K vnútorným nastaveniam a k updatovaniu firmware v snímači slúži RS-232 DB9 konektor. IP adresa snímača, tak isto ako aj cieľová IP adresa, sú statické. Tieto adresy sa dajú vo vnútorných nastaveniach snímaču zmeniť. [15]

Lasery sú číslované postupne, začínajúc 0 až 31 (spodný blok laserov) a 32 až 63 (horný blok laserov), tzn. že laser č. 32 sa spustí súčasne s laserom 0, atď. Snímač má 32 párov laserov, ktoré fungujú súčasne a každá dvojica má teda rovnaké oneskorenie. K prvej streľbe laserového páru dôjde 419,3ps po vydaní príkazu. Ďalších 6 vypálení laserových párov zaberie 139ps a až potom sú zozbierané dáta vyslané. Dokopy trvá 100μs, kým je celý 1248 bajtový paket vyslaný zo snímaču. [15]

Reálny čas, kedy bol laser vypálený zistíme:

$$\text{Reálny čas} = (\text{Čas odčítaný z paketu}) - (\text{Čas z tabulky (príloha C)}) \quad (1)$$



Obr. 4. 3 Zloženie paketu vysielaného z HDL 64E (podľa aktuálneho firmware-u)[15]

Pri vývoji vlastnej aplikácie pre spracovanie dát z Velodyne LIDAR HDL-64E je nutné dodržať týchto 5 krokov:

1. Zabezpečiť komunikáciu so senzorom.
2. Vytvoriť kalibračnú tabuľku, buď z kalibračných údajov obsiahnutých v streame zo snímača alebo z priloženého db.xml dátového súboru.
3. Analyzovať paketové dáta
4. Aplikovať kalibračné faktory
5. Znáznorniť, alebo uložiť dáta podľa potreby

Snímač sa chová ako UDP server, ktorý od štartu vysiela pakety o veľkosti 1248 bajtov do zbernice. Zloženie paketu je zobrazené na Obr. 4.3, na ktorom je vidieť, že dátová časť je veľká 1206 bajtov ( $12 \cdot 100B + 6B$  kalibračné dáta) a zvyšok z paketu je tzv. ethernetová hlavička (informácie týkajúce sa snímača). Každý 100-bajtový záznam obsahuje identifikátor bloku (2B, 0xEEFF pre horný blok a 0xDDFF pre dolný blok laserov), hodnotu natočenia (2B integer v rozsahu 0 až 35999 teda  $0^\circ$  až  $359,99^\circ$ ), 32\*3-bajtových správ o každom lasery.

Najľahší a najspoľahlivejší spôsob ako spraviť kalibračnú tabuľku je prečítať kalibračné dáta priamo z UDP paketov. Alternatívne, možno nájsť kalibračné dáta v súbore db.xml, ktorý je dodaný spolu so snímačom na CD (poprípade sa dá stiahnuť na stránkach Velodyne-u).

Každý zo 64 laserov je individuálne zameraný a preto musí mať každý svoje vlastné kalibračné hodnoty. Tieto hodnoty sú v súbore db.xml obsiahnuté nasledovne [15]:

**rotCorrection** – tento parameter obsahuje uhl'ovú korekciu rotácie v jednotke  $[\circ]$ , pričom kladné hodnoty znamenajú rotáciu smerom vľavo a záporné hodnoty smerom vpravo (pri pohľade na skener zozadu)

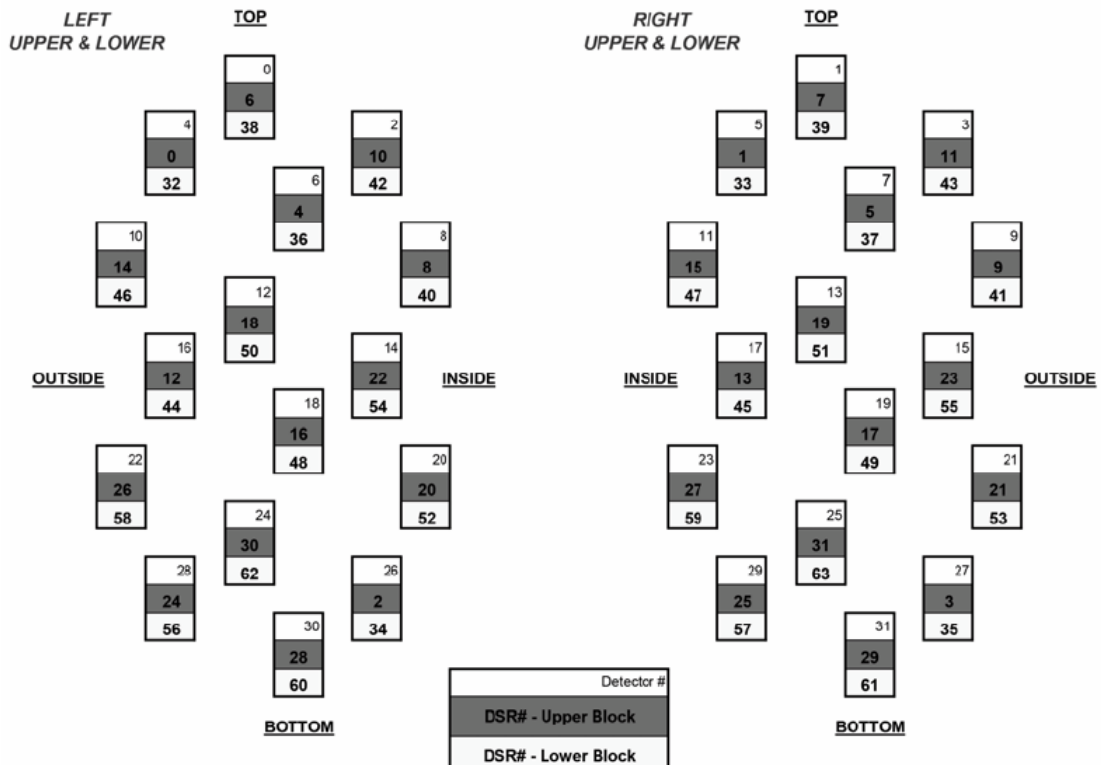
**vertCorrection** – tento vertikálnu uhl'ovú korekciu laseru v stupňoch, pričom kladné hodnoty znamenajú korekciu nahor a záporné hodnoty znamenajú korekciu nadol

**distCorrection** – každý laser ma svoju unikátnu vzdialenosť, vzhľadom na jeho konštrukciu. Tento korekčný faktor sa udáva v centimetroch a môže byť priamo aplikovaný do vzdialenosti odčítanej z paketu.

**veroffsetCorrection** – tento faktor reprezentuje výšku každého laseru od spodku základne snímaču. Táto hodnota je pre všetky lasery daného bloku rovnaká (líši sa len medzi blokmi)

**horizoffsetCorrection** – táto hodnota obsahuje horizontálny ofset každého laseru (pri pohľade na snímač zozadu). Je to buď kladná alebo záporná konštanta rovnaká pre všetky lasery.

Všetky udávané kalibračné hodnoty sú väčšinou pre každý laser rôzne, pričom tieto hodnoty uvažujeme pri pohľade na skener zozadu (Obr. 4.4).



Obr. 4. 4 Poradie laserov pri pohľade na senzor zozadu

Snímač ignoruje dáta prichádzajúce zo vzdialenosti menšej než 3 stopy(0,9m). Na zobrazenie 3D mraku bodov (3D Point-Cloud, vid'. Obr. B.5 v prílohách), slúži software DSR(Digital Sensor Reader), ktorý je dodávaný spolu so snímačom. Príklad kódu tohto programu (v jazyku C++) je v priloženom DVD.[15]

Velodyne využíva dvojbodovú kalibráciu na výpočet hodnôt zo súboru db.xml. Kalibrácia funguje nasledovne:

1. Vykona kalibráciu vzdialeného bodu na 25,04m
2. Vykona kalibráciu blízkeho bodu X na 2,4m
3. Vykona kalibráciu blízkeho bodu Y na 1,93m
4. Lineárnou interpoláciou získa korekciu vzdialenosti pre X a Y (len ak sú bližšie ako 25m)

Vzorec pre výpočet kalibrácie je nasledovný[15]:

$$D_x = D_{1x} + (D_{2x} - D_{1x}) \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (2)$$

$$D_y = D_{1y} + (D_{2y} - D_{1y}) \frac{(y - y_1)}{(x_2 - y_1)} \quad (3)$$

,kde:

$x_1=2,4m$

$x_2=25,04m$

$y_1=1,93m$

$D_{1x}$  = vzdialenosť upraveného X od blízkeho bodu

$D_{1y}$  = vzdialenosť upraveného Y od blízkeho bodu  
 $D_{2x} = D_{2y}$  = korekcia vzdialenosti pre vzdialený bod

Vo vnútorných nastaveniach snímaču sú všetky sériové príkazy (s výnimkou jednej verzie príkazu rýchlosti rotácie) ukladané do flash pamäte snímaču. Tým sa zabezpečí uchovanie nastavení. Treba si uvedomiť, že senzor nemá funkciu echa (teda nie je možné zistiť, či daný príkaz do senzoru dorazil správne). Sériové príkazy sa dajú do senzoru poslať pomocou jednoduchého terminálového programu, alebo nahraním súborov s príponou \*.bat.

Možné typy sériových príkazov sú[15]:

- #HDLRPMxxxx\$ - príkaz nastaví rýchlosť rotácie a uloží ju do flash pamäte (xxxx je štvorčíslicie medzi 0300 a 1200, implicitne je 0600) (pozn. ide nastaviť aj väčšia hodnota rotácie, môže snímač poškodiť)
- #HDLRPNxxxx\$ - príkaz nastaví rýchlosť rotácie a uloží ju do pamäte RAM (xxxx je štvorčíslicie medzi 0300 a 1200, implicitne je 0600)
- #HDLIPAssssssssssssddddd\$ - príkaz zmení adresu snímaču a cieľovú adresu (sss je 12 čísiel IP adresy snímaču a ddd je 12 čísiel cieľovej IP, implicitne je adresa snímaču 192.168.3.43 a cieľová adresa 192.168.3.255, pozn. prázdne políčka IP adresy sú v príkaze nahradené 0)
- #HDLFOVsssn\$ - zmení horizontálne pole pohľadu (sss je začiatkový uhol pohľadu a nnn je koncový uhol pohľadu v stupňoch od 000 po 360)

Je takisto možné nahráť kalibračné dáta zo súboru db.xml do flash pamäte senzoru a použiť časovú synchronizáciu pomocou GPS. Predvolená rýchlosť rotácie je 600RPM. Treba si uvedomiť, že zmenou rýchlosti otáčania sa nezmení veľkosť dát prichádzajúcich zo snímaču. Veľkosť dát bude rovnaká, zmení sa len horizontálne rozlíšenie výsledného obrazu (so zvyšujúcimi sa otáčkami sa znižuje rozlíšenie). Takisto to funguje s rýchlosťou, ktorou sa automobil pohybuje.

Pripojenie snímaču Velodyne HDL-64E na GPS je realizované cez sériový port pomocou externého adaptéru. Tento adaptér spolu s GPS prijímačom poskytuje firma Velodyne, ako doplnok k snímaču. Pre funkciu časového razítka sa vyžaduje GPS snímač generujúci synchronizačný pulz. Je možné využiť GPS prijímač dodávaný firmou Velodyne, ktorý je priamo predprogramovaný na túto funkciu a spojený s externým adaptérom, alebo použiť vlastný GPS prijímač. V prípade druhej možnosti musí byť GPS zariadenie konfigurované na sekundový synchronizačný pulz (PPS), ktorý typicky vystupuje cez špeciálny drôt sériového portu (ACK alebo DCD pin sériového portu) a raz za sekundu posiela záznam. Žiadny iný výstupný signál z GPS snímača neprijme. Dĺžka synchronizačného pulzu nie je rozhodujúca, ale záznam musí začať 10 až 500ms po skončení pulzu. Záznam by mal byť konfigurovaný na HHMMSS formát (nový firmware podporuje aj HHMMSS.S formát).

Posledný 6 Bytov vyslaného paketu potom obsahuje nasledovné(vid' Obr. 4.5):  
4B – 32 bitový unsigned integer popisujúci hodnotu časového razítka od GPS v  $\mu\text{s}$ ,  
pričom v pakete je táto hodnota uložená v 8 hexa číslach v reverznom poradí

1B – 8 bitový ASCII znak

1B – 8 bitové dáta

Pričom možné ASCII znaky sú:

H – znak určujúci že ďalšia hodnota je v hodinách

M – znak určujúci že nasledujúca hodnota je v minútach

S – znak určujúci že nasledujúca hodnota je v sekundách

D – znak určujúci že nasledujúca hodnota je v dňoch

N – znak určujúci že nasledujúca hodnota je v mesiacoch

Y – znak určujúci že nasledujúca hodnota je v rokoch

G – znak určujúci že nasledujúca hodnota oznamuje stav GPS

Sú 4 stavy GPS:

0: žiadne spojenie s GPS

A: GPS aj PPS(Pulse Per Second) majú signál

V: len GPS signál

P: len PPS signál

T – znak určujúci že nasledujúca hodnota oznamuje teplotu snímaču

V – znak určujúci že nasledujúca hodnota oznamuje verziu software-u

V prípade že GPS nie je pripojené, využíva snímač jeho vlastné hodiny, ktoré začínajú dátumom „Jan 1 2000“. Pri využití vnútorných hodín snímaču sa dá očakávať časová nestálosť asi 5 sekúnd za deň. Tieto hodiny neberú do úvahy prestupné roky. Ak je GPS pripojené v móde v ktorom neustále beží, bude presnosť hodín snímaču ekvivalentná hodinám GPS. Ak GPS hodiny bežia v móde, v ktorom sa po určitej dobe uzamknú, potom následná presnosť hodín snímača je niekde medzi  $\pm 50\mu\text{s}$ . V prípade odpojenia GPS sa snímač prepne na vlastné hodiny.[15]

Status Type Rotates Through				Status Value Example		
Hex	ASCII	String	Description	Hex	ASCII	
48	72	H	Hours	15	21	21 Hours (9 pm)
4D	77	M	Minutes	3B	19	19 Minutes
53	83	S	Seconds	37	55	55 Seconds
44	68	D	Date	0F	15	15 <sup>th</sup> day of the Month
4E	78	N	Month	0C	12	12 <sup>th</sup> Month (December)
59	89	Y	Year	0A	10	2010
47	71	G	GPS	50	86	P = GPS has sync signal
54	84	T	Temperature °C	1B	27	Unit at 27°C
56	86	V	Firmware Version	47	N/A	Version 4.07
31	49	1	Calibration & Unit Parameters  (refer to sheet 2 of Datagram diagram)			
32	50	2				
33	51	3				
34	52	4				
35	53	5				
36	54	6				
37	55	7				

GPS Status Values		
Hex	ASCII	String and Definition
41	65	A = GPS receiving both sync signal and NMEA time command record
56	86	V = GPS receiving NMEA time command record only
50	80	P = GPS receiving sync signal only
00	00	D = GPS not connected

32 bit unsigned integer  
GPS Timestamp Example  
92 18 52 D6

Reverse Order  
D6 52 18 92

Convert to Decimal  
3595704466 µsec  
or  
3595.704466 sec

**LEGEND**

Bytes

Obr. 4. 5 Ukážka toho, čo všetko môže obsahovať posledných 6B paketu [15]

PACKET#7653:

04d0 44 60 04 59 46 04 1e 39 04 61 32 1e 52 d6 59 08 D`.YF..9.a2.R.Y.

d6 52 1e <b>32 Hex = 840848086 (10E-6 s)</b> = <b>8408.48086 seconds</b>	59 ASCII = "Y"	08 Hex= 08 <b>year 2008</b>
---	----------------	--------------------------------

PACKET#7654:

04d0 **42 63 04 5b fb 05** 1e 9d 04 36 **52 1f 52 d6 47 41** Bc.[.... .6R.R.GA

<b>d6 52 1f 52 Hex = 3595706194 (10E-6 s)</b> = <b>3595.706194seconds</b>	<b>47 ASCII = "G"</b>	41 ASCII= "A" <b>(GPS has signal)</b>
--	-----------------------	--

Obr. 4. 6 Príklady rozboru posledných bajtov paketu

## 4.2 Kameraný snímač Prosilica GC1290C

Prosilica GC1290C (Obr. 4.7) je CCD (Charge-Coupled Device – zariadenie s viazanými nábojmi) kamera s rozlíšením 1280x960 pixelov. Spojenie nadväzuje cez gigabitové ethernetové rozhranie (GigE Vision®). GC1290 obsahuje vysoko-senzitívny HAD CCD senzor ICX445 od Sony EXview. Rozlíšenie tejto kamery je 1,2MP 32fps.[43]



Obr. 4. 7 Kamera Prosilica GC1290 [15]

Kamera má vlastnú internú pamäť, v ktorej sú uložené nastavenia kamery, poprípade frame-y. Programovateľná je pomocou príkazov obsiahnutých v dostupných SDK knižniciach v jazykoch C, C++, C#.

Táto kamera má široké využitie najmä v priemysle. Jej výhodou je veľké množstvo nastavení (veľkosť obrazu, expozícia, farba). Pracuje v rozsahoch napätí 5 až 16V (nominálna hodnota napätia je 12V s minimom 500mA) a v rozsahu teplôt 0 až 50°C.

Veľkou výhodou tejto kamery je možnosť synchronizovať ju na externú zmenu. Spúšť kamery (trigger) môže byť naprogramovaná na rôzne hrany signálu, alebo na určitý level signálu. Taktiež môže byť naprogramované oneskorenie po ktorom sa spustí spúšť kamery. Kamera má dva typy I/O pinov: izolovaný a neizolovaný. V prípade využitia v hlučných prostrediach sa uplatní izolovaný vstupný pin, naopak ak nie je hluk prostredia problémom a je požadovaná rýchlejšia odozva je lepšie použiť neizolovaný vstupný pin. S použitím vhodného objektívu (so zaostrením na nekonečno) je táto kamera schopná spracovať kvalitný obraz z akejkoľvek vzdialenosti.

Pri programovaní je potrebné dávať si pozor na poradie použitých funkcií knižnice PvAPI, a dôležité je použiť medzi niektorými funkciami programové oneskorenie, lebo inak dané funkcie nebudú fungovať (v manuály tento problém popísaný nie je).

Typ senzoru	Sony ICX445AQA
Typ uzávierky	Progressive Interline
Rozlíšenie	1280 x 960 pixlov
Veľkosť pixlu	3,75μm x 3,75μm
Optický formát	1/3 palca
FPS pri plnom rozlíšení	32,8 FPS
FPS pri polovičnom rozlíšení	59,8 FPS
Vstupno-výstupné piny	1 pár izolovaných I/O, 1 pár neizolovaných I/O, 1 pár RS-232 I/O
Napájacie požiadavky	Menej než 3W (5 až 16V)
Digitalizácia	12 bitov
Prevádzková teplota	0°C až 50°C
Prevádzková vlhkosť	20 až 80% nekondenzujúca
Veľkosť	33x46x59 (v mm, HxWxL)
Hardvérové rozhranie	Štandard IEEE 802.3 1000BASE-T/-TX
Softvérové rozhranie	Štandard GigE Vision Standard 1.0
Zosilnenie	0 až 24dB

Tab. 4. 1 Hlavné špecifikácie konkrétnej kamery podľa výrobcu [15]

Pred použitím tejto kamery je nutné správne nastaviť sieťovú kartu a nainštalovať potrebné ovládače (dostupné v priloženom DVD v zložke „Kamera“ je zložka s názvom „SDK+ Viewer“, ktorá obsahuje ovládač kamery a program na nastavovanie a testovanie kamery). Je potrebné si uvedomiť že kamera posiela veľké množstvo dát a na plné využitie jej potenciálu, je nutné v sieťovej karte povoliť podporu Jumbo paketov (pakety s väčším množstvom dát než 1500B). Nastavenie statickej IP, ani vypnutie ostatných sieťových prvkov ako to je popísané v manuály nie je nutné. V prípade, že kamera po nastavení nezobrazuje obraz môže byť problém s podporou Jumbo paketov (treba skúsiť nastaviť v programe veľkosť paketu 1500), alebo v nastavení TriggerMode (módu spúšte) na „Software“.

## 5 ZÁVER

Najdôležitejšou súčasťou autonómne riadeného vozidla je riadiaci algoritmus. Preto som sa rozhodol v krátkosti naštudovať najpravdepodobnejšie a najvyužívanejšie spôsoby, akými môže byť autonómne vozidlo riadené. Algoritmus, ktorý riadi rôzne autonómne vozidlá, býva väčšinou utajovaný a podlieha autorskému zákonu. Po preštudovaní rôznych materiálov považujem za najvýhodnejšie, na riadenie autonómneho vozidla, využiť modulárnu neurónovú sieť kombinovanú s fuzzy regulátorom. Takáto sieť by sa vyznačovala rýchlejšim časom učenia a vhodnými vlastnosťami oboch typov implementovaných riadiacich štruktúr. Algoritmus riadenia autonómneho vozidla musí obsahovať bezpečnostnú poistku, vďaka ktorej môže v prípade nutnosti zasiahnuť do riadenia vozidla ľudský operátor (vodič).

Mojou snahou bolo hlavne popísať spôsobu fungovania a riadenia autonómneho vozidla pomocou snímačov. Z tohto dôvodu som sa rozhodol zamerať na opis a funkcie snímačov súvisiacich s motorovou časťou vozu, snímačov zvyšujúcich bezpečnosť a snímačov využívaných pri riadení autonómneho vozidla. Na návrh vedúceho som do práce zahrnul aj pár snímačov zvyšujúcich komfort, napr. snímač dažďa (tento snímač sa dá taktiež využiť pri riadení autonómneho vozidla). Veľa zo snímačov využívaných v automobiloch som vynechal pretože pre popis mnou riešeného problému sú takmer zbytočné (Snímač znečistenia, snímač teploty, snímač obsadenia sedadla, snímač natočenia volantu, a i.). Sústredil som sa hlavne na snímače ktoré sa využívajú v autonómne riadených vozidlách a na riadiace systémy (ABS, ESP,...).

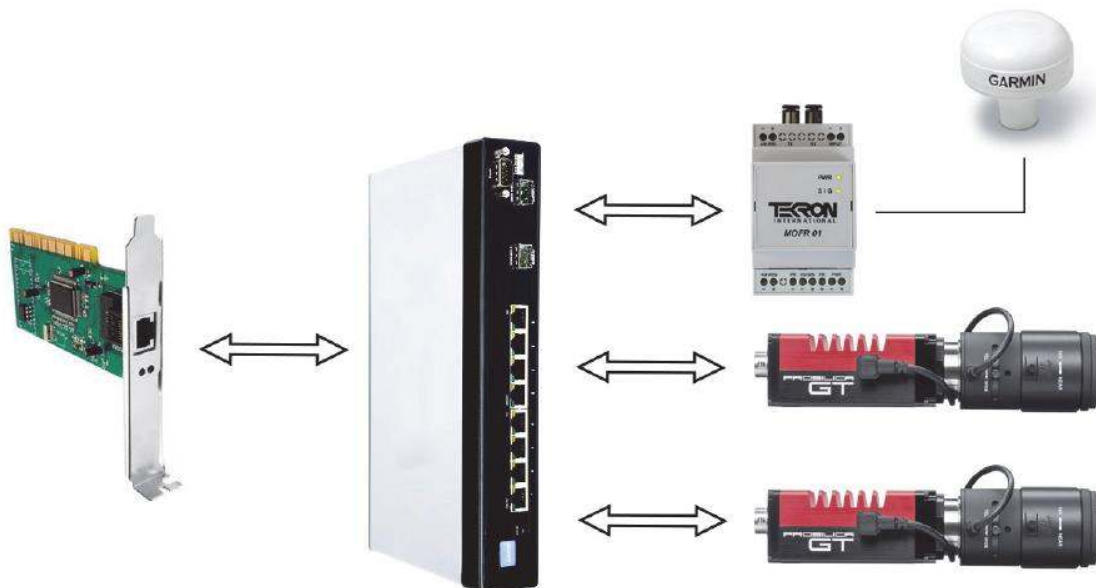
Po dôkladnom naštudovaní problematiky riadenia autonómnych vozidiel, som sa rozhodol zamerať najmä na kamerový a laserový snímač. Tieto dva typy snímačov sa ukázali byť najdôležitejšie pri vizuálnej navigácii autonómne riadeného vozidla.

Z dôvodu nedostatku času a zložitosti riešenia sme sa rozhodli zmeniť tretí bod zadania a vytvoriť program, ktorý bude schopný extrahovať a ukladať informácie prichádzajúce z týchto dvoch snímačov, aby sa dali neskôr tieto informácie spracovať a vyhodnotiť. Daný program bol zo začiatku písaný v grafickom rozhraní jazyku C#, ale v tomto programovacom jazyku sa mi z kamerového snímaču nepodarilo získať obraz, preto som sa rozhodol program prepísať do konzolovej aplikácie jazyka C++.

V programe je v prípade kamery Prosilica použitá veľkosť paketu 1500B (príkaz `PvAttrUInt32Set(CameraHandle, „PacketSize“,1500)`), čo je najväčšia možná veľkosť obyčajného paketu, no optimálna veľkosť paketu z tohto typu kamery je 9kB(v programe 8228B). V mojom prípade veľkosť paketu 8228 spôsobovala stratu paketov (čierny obraz), aj napriek nastaveniu Jumbo paketov (pakety s väčším množstvom dát) na sieťovej karte. Tento problém sa týka použitej sieťovej karty a vyriešiť sa mi bohužiaľ nepodarilo. Z tohto dôvodu som musel v programe znížiť požiadavky na kvalitu obrazu (rozlíšenie, expozícia,...). V prípade použitia sieťovej karty na ktorej funguje funkcia Jumbo paketov, je možné tieto parametre v programe veľmi jednoducho zmeniť vo funkcii `NastavKameru()`. Program som sa snažil doložiť vhodnými komentármi, aby bol ľahko zrozumiteľný a aby bolo dobre vidieť, ktoré parametre programu treba na

základe použitého PC zmeniť (okrem ciest k daným knižniciam). Pre spustenie daného programu na iných PC je potrebné správne nastaviť cesty k daným knižniciam (knižnice OpenCV a knižnica PvApi).

Čo sa týka časovej synchronizácii údajov, laserový snímač Velodyne má možnosť pripojenia sa na GPS, ktoré k údajom z tohto snímača pripája časovú značku. Kamera Prosilica GC1290C túto možnosť bohužiaľ neposkytuje, ale napríklad kamera Prosilica GT1290C ovláda PTP (**Precision Time Protocol**), teda synchronizáciu hodín (štandard IEEE1588). V podstate sa jedná o rovnakú kameru (väčšina parametrov je totiž rovnaká), no kamera typu GT je navrhnutá do prostredia s horšími podmienkami. Výmenou za túto kameru, by zostal program takmer nezmenený a k synchronizácii by sa dal využiť protokol PTP. Pomocou tohto protokolu sa dá dosiahnuť synchronizácia údajov do 2 $\mu$ s. Synchronizácia začína, keď zariadenie nakonfigurované ako „Master PTP clock“ (hlavné hodiny) vyšle multicastom (na viac kanálov) synchronizačný telegram. Zariadenia si následne vypočítajú časový rozdiel medzi ich hodinami a hlavnými hodinami. Aby všetky zariadenia boli rovnako synchronizované, je nutné aby boli na jednej sieti (rovnaké číslo podsiete). Pri použití kamery radu GT prídavnú funkcie typu PtpMode a TimeStampValue (a ich rôzne nastavenia a variácie) oproti kamere typu GC. Pri pripojení GPS do rovnakej siete, do akej je pripojená kamera GT, stačí nastaviť parameter PtpMode na hodnotu „Slave“ alebo „Auto“. Pri nastavení „Auto“, si kamera za hlavné hodiny vyberie hodiny GPS. Synchronizáciu rôznych snímačov použitých pri riadení autonómneho vozidla podľa hodín GPS považujem za najúčinnjší spôsob synchronizácie, aký sa dá pri autonómnych vozidlách použiť.[43]



Obr. 5. 1 Schéma zapojenia pre synchronizáciu dvoch kamier radu GT pomocou hodín GPS [43]

Za nevyhnutné snímače pri riadení autonómneho vozidla považujem tieto 3 druhy snímačov: Kamerový snímač, Laserový snímač a GPS modul, pričom za

najvýhodnejšie spojenie pokladám za zapojenie všetkých prvkov automatizovaného systému do jednej počítačovej siete. Pri takomto zapojení je treba dávať pozor, aby nebol snímač Velodyne HDL-64E v režime broadcastu (niektoré obvody v sieti by to nemuseli zvládnuť). Navrhujem využiť 2 až 4 kamier na stereoskopické sledovanie oblasti pred vozidlom a využitie 1 kamery na snímanie dopravného značenia.

Počas semestru prebehol experiment (vid'. Obr. 4.8), ktorého cieľom bolo získať dáta zo snímača HDL-64E z exteriéru (hlavne v oblastiach s vozidlami). Časť z týchto dát je uložená v priloženom DVD (súbor s príponou \*.dat). Získané dáta som sa pokúsil pomocou programu, ktorý simuluje skener HDL-64E (tento program je taktiež súčasťou DVD) zobrazit' v priloženom programe DSR, no s týmto programom som mal na svojom PC problémy a dáta nezobrazoval. Po niekoľkodňovej snahe tento problém vyriešiť, som použil k zobrazeniu dát program tretej strany s názvom RTMAPS Studio (**R**eal **T**ime **M**ultisensor **A**dvanced **P**rototyping **S**oftware), pomocou ktorého sa mi dáta z tohto snímača podarilo zobrazit'.

Vzhľadom k malému obsahu dát, ktorý tento experiment priniesol a ich zhoršenej kvalite padol návrh na ďalší experiment, tentokrát ale už s využitím môjho programu. Tento experiment sa nám už ale s časových dôvodov bohužiaľ nepodarilo uskutočniť, čo je veľká škoda, pretože tento experiment mal priniesť veľké množstvo dát zo snímačov v exteriéri pri simulácii rôznych dopravných situácií.



Obr. 5. 2 Fotografia z uskutočneného experimentu

## 6 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ECKERMANN, Erik. World history of the automobile. Warrendale, Pa.: Society of Automotive Engineers, c2001, x, 371 p. ISBN 07-680-0800-X.
- [2] ZABLER, Erich. Snímače v motorových vozidlech,. Praha: Bosch, 2001. ISBN 8090313256 9788090313255.
- [3] AutoNOMOS Labs [online]. [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://www.autonomos.inf.fu-berlin.de/>
- [4] Autonomus Car Navigates the Streets of Berlin [online]. [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://autonomos.inf.fu-berlin.de/news/press-release-92011>
- [5] Tartan Racing: A Multi-Modal Approach to the DARPA Urban Challenge [online]. [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: [http://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2007/4/Tartan\\_Racing.pdf](http://www.ri.cmu.edu/pub_files/2007/4/Tartan_Racing.pdf)
- [6] Urban Challenge :Technical Evaluation Criteria [online]. [cit. 2012-xx-xx]. Dostupné z: [http://archive.darpa.mil/grandchallenge/docs/Technical\\_Evaluation\\_Criteria\\_031607.pdf](http://archive.darpa.mil/grandchallenge/docs/Technical_Evaluation_Criteria_031607.pdf)
- [7] Moderné elektronické systémy v automobiloch [online]. [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://rybiansky.szm.com/elc.pdf>
- [8] What we're driving at [online]. [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://googleblog.blogspot.cz/2010/10/what-were-driving-at.html>
- [9] Ars 300 Long Range Radar Sensor 77 GHz [online]. [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: [http://www.conti-online.com/generator/www/de/en/continental/industrial\\_sensors/themes/ars\\_300/ars\\_300\\_en.html](http://www.conti-online.com/generator/www/de/en/continental/industrial_sensors/themes/ars_300/ars_300_en.html)
- [10] Velodyne HDL-64E Laser Rangefinder (LIDAR) Pseudo-Disassembled [online]. [cit. 2012-11-11]. Dostupné z: <http://www.hizook.com/blog/2009/01/04/velodyne-hdl-64e-laser-rangefinder-lidar-pseudo-disassembled>
- [11] TARTAN RACING [online]. [cit.2012-11-11]. Dostupné z : <http://www.tartanracing.org/>
- [12] Vlček, J.: Snímače v motorových vozidlech, Doplnkový text k publikaci Jednoduchá elektronika pro obor Autoelektrikář, Autotronik, Automechanik [online]. [cit.2012-11-11]. Dostupné z : [http://www.tzbinfo.cz/download.py?file=docu/texty/0001/000102\\_cidla\\_snimace.pdf](http://www.tzbinfo.cz/download.py?file=docu/texty/0001/000102_cidla_snimace.pdf)
- [13] NEGNEVITSKY, Michael. Artificial intelligence: a guide to intelligent systems. 2nd ed. Harlow: Addison-Wesley, 2005, 415 s. ISBN 03-212-0466-2.
- [14] ESP (Electronic Stability Programme) [online]. [cit. 2012-11-15]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/esp-electronic-stability-programme/>
- [15] Velodyne HDL-64E User's Manual and programming guide [online]. [cit. 2012-11-15]. Dostupné z: <http://velodynelidar.com/lidar/products/manual/63-HDL64ES2h%20HDL-64E%20S2%20CD%20HDL-64E%20S2%20Users%20Manual.pdf>
- [16] Velodyne HDL-64E Datasheet [online]. [cit. 2012-11-15]. Dostupné z: [http://velodynelidar.com/lidar/products/brochure/HDL-64E%20S2%20datasheet\\_2010\\_lowres.pdf](http://velodynelidar.com/lidar/products/brochure/HDL-64E%20S2%20datasheet_2010_lowres.pdf)
- [17] CRACKNELL, Arthur P a Ladson HAYES. Introduction to remote sensing. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, c2007, 335 p., [16] p. of plates. ISBN 978-084-9392-559.
- [18] AIM (Autonomous Intersection Management) [online]. [cit. 2012-11-15]. Dostupné z: <http://www.cs.utexas.edu/~aim/>

- [19] JURGEN, Ronald K. Adaptive cruise control. Warrendale, PA: SAE International, c2006, vi, 474 p.: PT (Series) (Warrendale, Pa.), 132. ISBN 978-076-8017-922.
- [20] STANFORD RACING TEAM: Stanley [online]. [cit. 2012-11-28]. Dostupné z: <http://cs.stanford.edu/group/roadrunner/stanley.html>
- [21] BMW Night Vision [online]. [cit. 2012-11-28]. Dostupné z: [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/safety/vision\\_assistance/night\\_vision.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/safety/vision_assistance/night_vision.html)
- [22] Smart Cars: Hardware [online]. [cit. 2012-11-28]. Dostupné z: <http://users.cecs.anu.edu.au/~rsl/car/car.html>
- [23] faceLAB 5: In-vehicle Eyetracking [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.seeingmachines.com/product/facelab/in-vehicle-eyetracking/>
- [24] Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://robots.stanford.edu/papers/junior08.pdf>
- [25] Google's LIDAR-based Self Driving Car [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://blog.lidarnews.com/googles-lidar-based-self-driving-car>
- [26] Could we ever learn to love driverless cars? [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.bbc.co.uk/news/magazine-11513316>
- [27] Antilock Braking System (ABS) [online]. [cit. 2012-12-11]. Dostupné z: [http://visual.merriam-webster.com/transport-machinery/road-transport/brakes/antilock-braking-system-\(abs\).php](http://visual.merriam-webster.com/transport-machinery/road-transport/brakes/antilock-braking-system-(abs).php)
- [28] PŘIBYL, Pavel a Miroslav SVÍTEK. *Inteligentní dopravní systémy*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 543 s. ISBN 80-730-0029-6.
- [29] *Technologies: časopis o informatice, (tele)komunikacích a podnikání : magazine on informatics, (tele)communications and business*. Praha: WIRELESSCOM,s.r.o., 2008, roč. 13, Zvláštne vydanie ITS Bratislava '08. ISSN 1213-7162. Dostupné z: [http://www.telematika.cz/download/editorials/T%26P\\_itsbla08\\_web.pdf](http://www.telematika.cz/download/editorials/T%26P_itsbla08_web.pdf)
- [30] Anti-lock braking system (ABS) [online]. [cit. 2012-12-19]. Dostupné z: <http://www.mercedesclass.net/safety-2/anti-lock-braking-system-abs/>
- [31] Effectiveness of ABS and Vehicle Stability Control Systems [online]. [cit. 2012-12-19]. Dostupné z: <http://www.monash.edu.au/miri/research/reports/other/racv-abs-braking-system-effectiveness.pdf>
- [32] The self-driving car logs more miles on new wheels [online]. [cit. 2012-12-19]. Dostupné z: <http://googleblog.blogspot.cz/2012/08/the-self-driving-car-logs-more-miles-on.html>
- [33] HANYANG UNIVERSITY [online]. [cit. 2012-12-25]. Dostupné z: <http://www.hanyang.ac.kr>
- [34] University of the Bundeswehr Munich: Research [online]. [cit. 2012-12-25]. Dostupné z: <http://www.unibw.de/lrt8/forschung-en>
- [35] ELROB: The European Robot Trial [online]. [cit. 2012-12-25]. Dostupné z: <http://www.elrob.org/objectives.html>
- [36] AutoNOMOS Labs: Spirit of Berlin [online]. [cit. 2012-12-25]. Dostupné z: <http://www.autonomos.inf.fu-berlin.de/technology/spirit-of-berlin>
- [37] Google's cars will change everything – driverless cars (part1/6) [online]. [cit. 2012-12-25]. Dostupné z: <http://www.seer.ws/driverless-cars-googles-cars-will-change-everything>
- [38] SHELLEY, Stanford's robotic racecar, hits the track [online]. [cit. 2012-12-25]. Dostupné z: <http://engineering.stanford.edu/research-profile/shelley-stanfords-robotic-racecar-hits-track>

- [39] The VisLab Intercontinental Autonomous Challenge [online]. [cit. 2013-1-2]. Dostupné z: <http://viac.vislab.it/>
- [40] ViSLAB: Automotive [online]. [cit. 2013-1-2]. Dostupné z: <http://vislab.it/automotive/>
- [41] LAMON, Pierre, Sascha KOLSKI, Rudolph TRIEBEL, Roland SIEGWART a Wolfram BURGARD. The SmartTer for ELROB 2006: a Vehicle for Fully Autonomous Navigation and Mapping in Outdoor Environments. In: [online]. [cit. 2013-1-2]. Dostupné z: <http://projects.asl.ethz.ch/smart-team/TechnicalPaperSmartTeamV3.pdf>
- [42] Prosilica GC1290 Technical Manual [online]. [cit. 2013-4-4]. Dostupné z: [http://www.alliedvisiontec.com/fileadmin/content/PDF/Products/Technical\\_Manual/GC\\_Series/700036A\\_-\\_GC1290\\_User\\_Manual.pdf](http://www.alliedvisiontec.com/fileadmin/content/PDF/Products/Technical_Manual/GC_Series/700036A_-_GC1290_User_Manual.pdf)
- [43] KALENCHUK, Arlin. Precision Time Protocol IEEE1588 with AVT Prosilica GT cameras [online]. [cit. 2013-5-22]. Dostupné z: [http://www.alliedvisiontec.com/fileadmin/content/PDF/Support/Application\\_Notes/AppNote\\_-\\_PTP\\_IEEE1588\\_with\\_Prosilica\\_GT.pdf](http://www.alliedvisiontec.com/fileadmin/content/PDF/Support/Application_Notes/AppNote_-_PTP_IEEE1588_with_Prosilica_GT.pdf)

## 7 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

ABD – Automatic **B**locking of **D**ifferential  
ABS – **A**ntiblockiersystem alebo **A**nti-lock **B**rake **S**ystem  
ACC – **A**daptive **C**ruise **C**ontrol - **A**daptívny tempomat  
ADAS – **A**dvanced **D**river **A**ssistance **S**ystems  
AIM – **A**utonomous **I**ntersection **M**anagement  
ANFIS – **A**daptive **N**euro-**F**uzzy **I**nterference **S**ystem  
ASR – **A**cceleration **S**lip **R**egulation  
CCD – **C**harge-**C**oupled **D**evice  
CIED/C-IED – **C**ounter-**I**mprovised **E**xplosive **D**evice  
DARPA – **D**efense **A**dvanced **R**esearch **P**rojects **A**gency  
DDC – **D**ynamic **D**rive **C**ontrol  
DSC – **D**ynamic **S**tability **C**ontrol  
DSR – **D**igital **S**ensor **R**eader  
EDS – **E**lektronische-**D**ifferenzial-**S**perre alebo **E**lektronic **D**iferential **S**lippery  
EOD – **E**xplosive **O**rdnance **D**isposal  
EOR – **E**xplosive **O**rdnance **R**econnnaissance  
ESP – **E**lectronic **S**tability **P**rogram /**P**rogramme  
ETC – **E**lectronic **T**hrottle **C**ontrol  
ETS – **E**lectronic **T**raction **S**upport /**S**ystem  
FDR – **F**ahrdynamik-**R**egelung  
FIR – **F**ar **I**nfra**R**ed  
GPS – **G**lobal **P**ositioning **S**ystem  
HFOV – **H**orizontal **F**ield **O**f **V**iew  
IEDD – **I**mprovised **E**xplosive **D**evice **D**isposal  
INS – **I**nertial **N**avigation **S**ystem  
ITS – **I**ntelligent **T**ransport **S**ystem  
LIDAR (LADAR) – **L**ight **D**etection **A**nd **R**anging  
MDF – **M**ission **D**ata **F**ile  
NARA – **N**eural network designed to **A**pproximate **R**easoning **A**rchitecture  
PPS – **P**ulse **P**er **S**econd  
PSM – **P**orsche **S**tability **M**anagement  
PTP – **P**recision **T**ime **P**rotocol  
RADAR – **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging  
RNDF – **R**oute **N**etwork **D**efinition **F**ile  
RTMAPS – **R**eal **T**ime **M**ultisensor **A**dvanced **P**rototyping **S**oftware  
TCS – **T**raction **C**ontrol **S**ystem  
VFOV – **V**ertical **F**ield **O**f **V**iew  
VSA – **V**ehicle **S**tability **A**ssist  
VSC – **V**ehicle **S**tability **C**ontrol

# PRÍLOHY

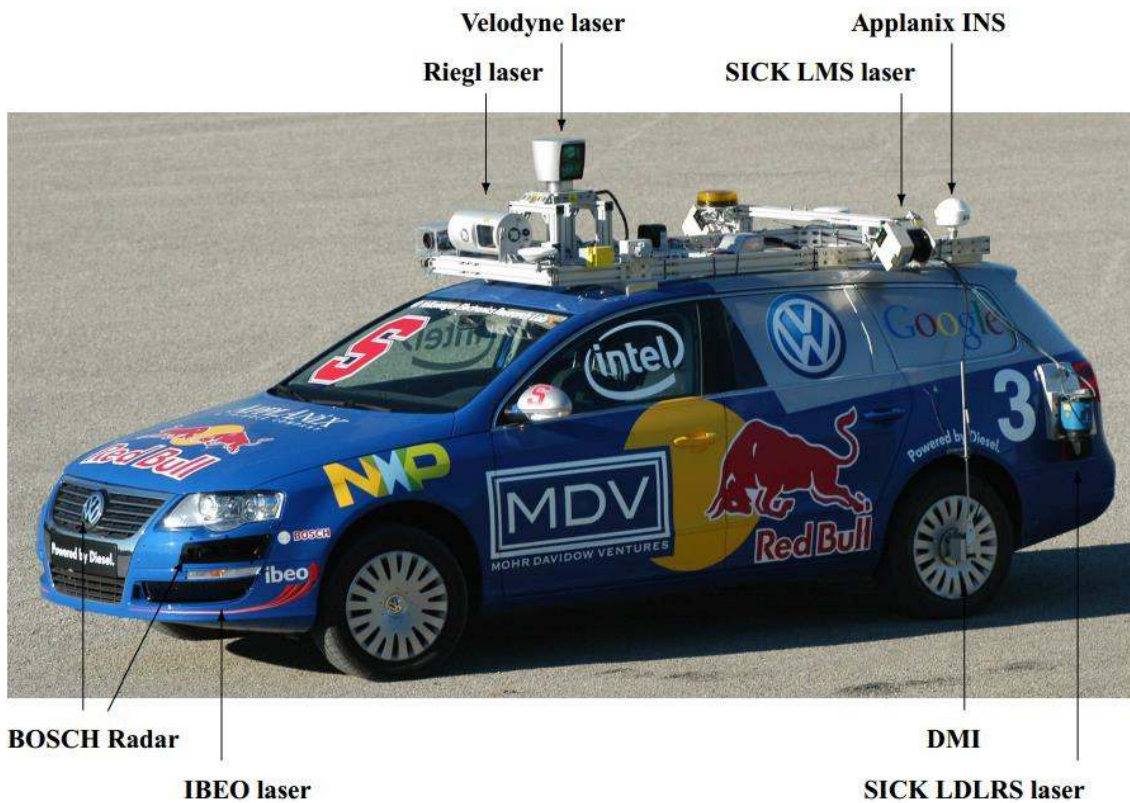
## A. Autonómne riadené vozidlá



Obr. A. 1 Autonómne riadené vozidlo Stanfordskej univerzity „Stanley“, výherca DARPA Grand Challenge 2005 [20]



Obr. A. 2 Autonómne riadené vozidlo „Boss“, výherca súťaže DARPA Urban Challenge [11]



Obr. A. 3 Autonómne riadené vozidlo „Junior“ Stanfordskej univerzity vybavený piatimi rôznymi laserovými meracími systémami, multi-radarom a viacsignálovým navigačným systémom [24]



Obr. A. 4 Vozidlo A1 z Hanyang University, víťazca kórejskej súťaže „Autonomous Vehicle Competition“ (AVC) [33]



Obr. A. 5 Vozidlo MuCAR-3 z University of the Bundeswehr Munich, účastník veľtrhu M-ELROB 2012 [34]



Obr. A. 6 Google driverless car – Jedno z prvých autonómne riadených áut firmy Google [37]



Obr. A. 7 Vozidlo „Spirit of Berlin“ z Freie Universität Berlin, účastník súťaže DARPA: Urban Challenge [34]



Obr. A. 8 Robotické vozidlo „Shelley“ zo Stanfordskej univerzity [38]

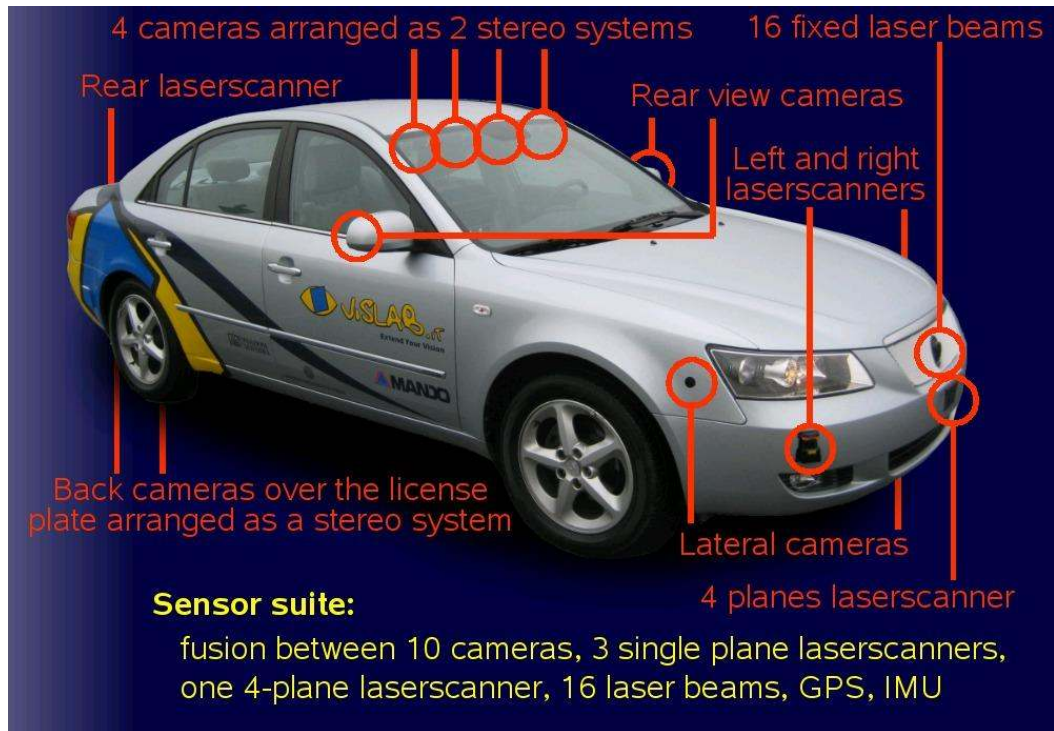


Obr. A. 9 Vozidlo BRAiVE (skratka pre BRAin-drive) od talianskej firmy VisLAB [40]

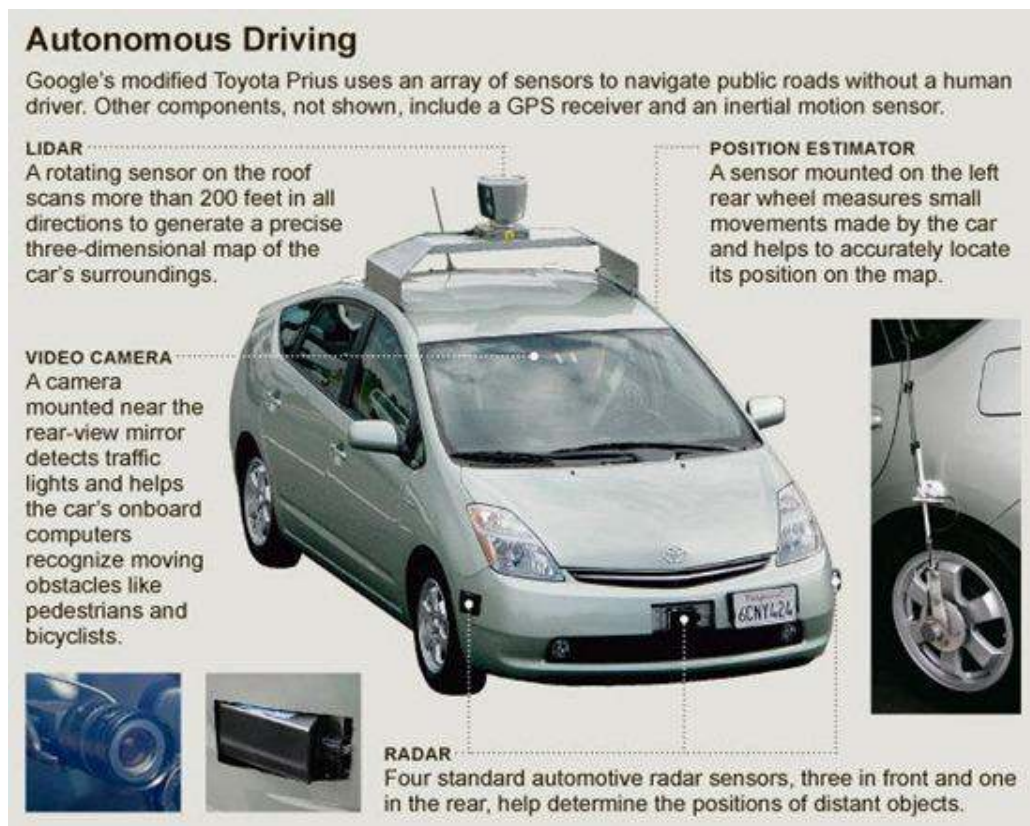


Obr. A. 10 Autonómne vozidlo, ktoré sa zúčastnilo medzikontinentálnej súťaže VIAC [39]

## B. Snímače



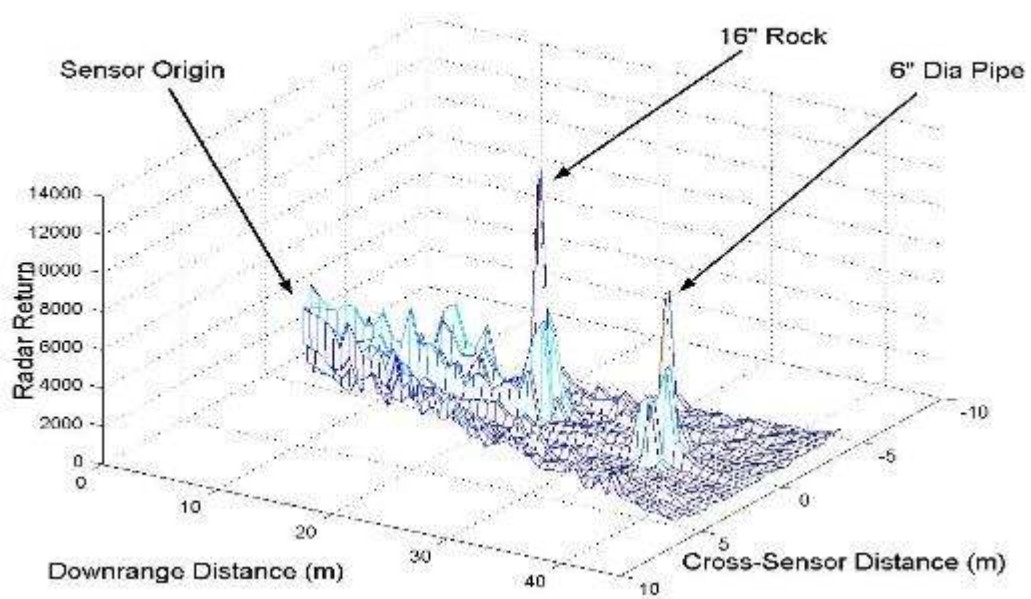
Obr. B. 1 Popis a umiestnenie snímačov vozidla BRAiVE [40]



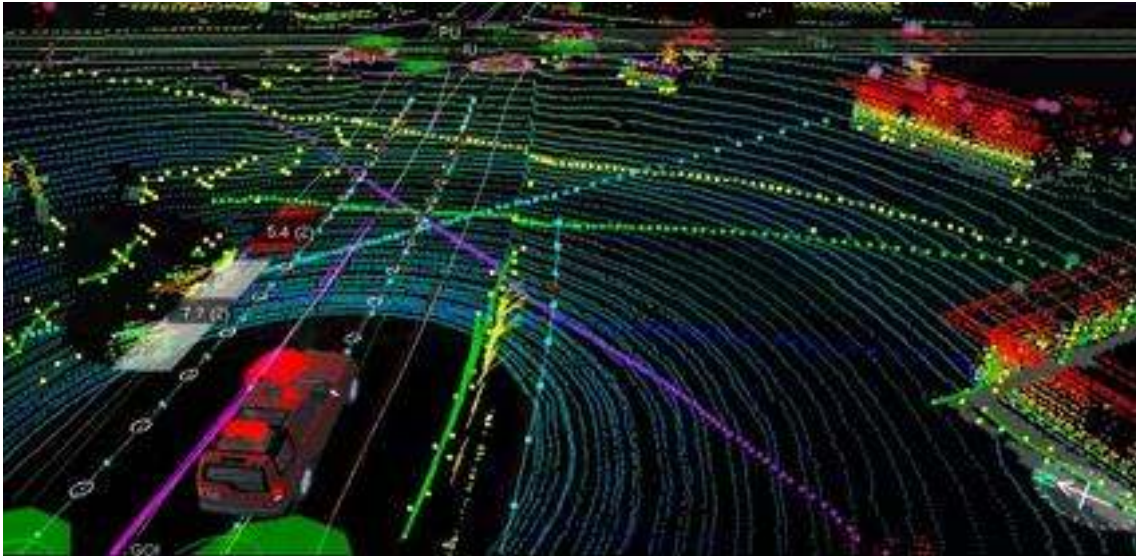
Obr. B. 2 Popis snímačov autonómne riadeného vozidla od firmy Google [25]



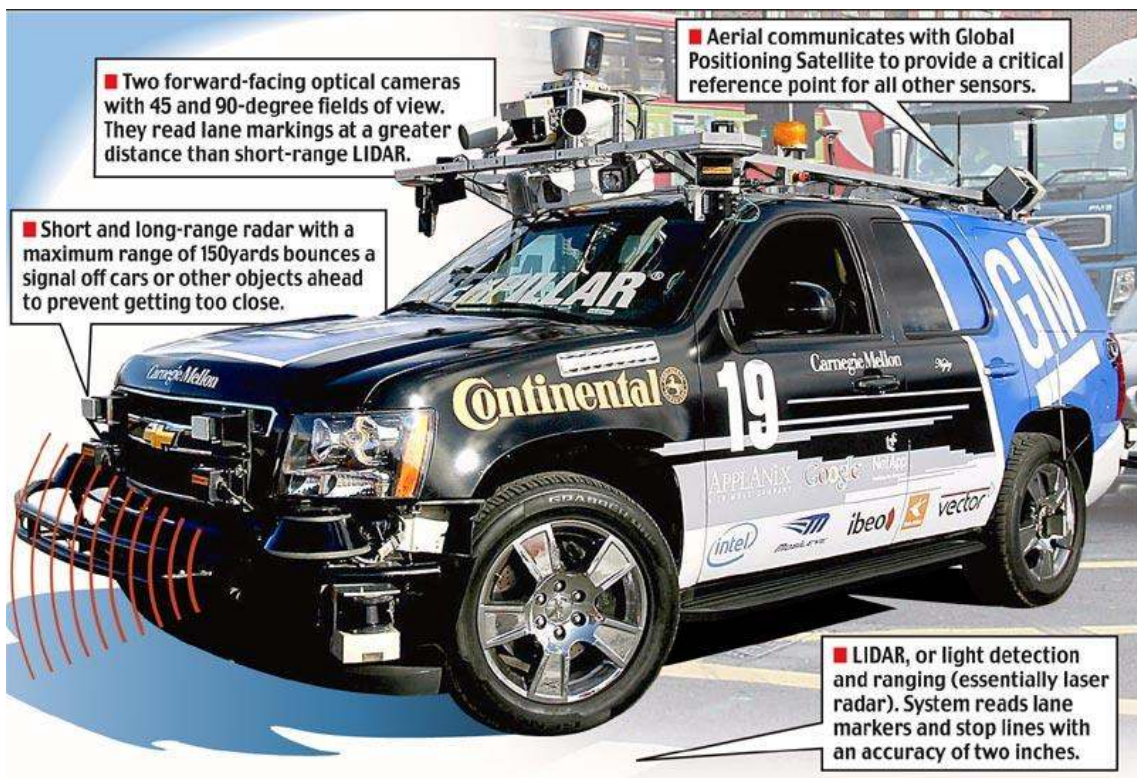
Obr. B. 3 Skenovanie prekážky pomocou radaru [7]



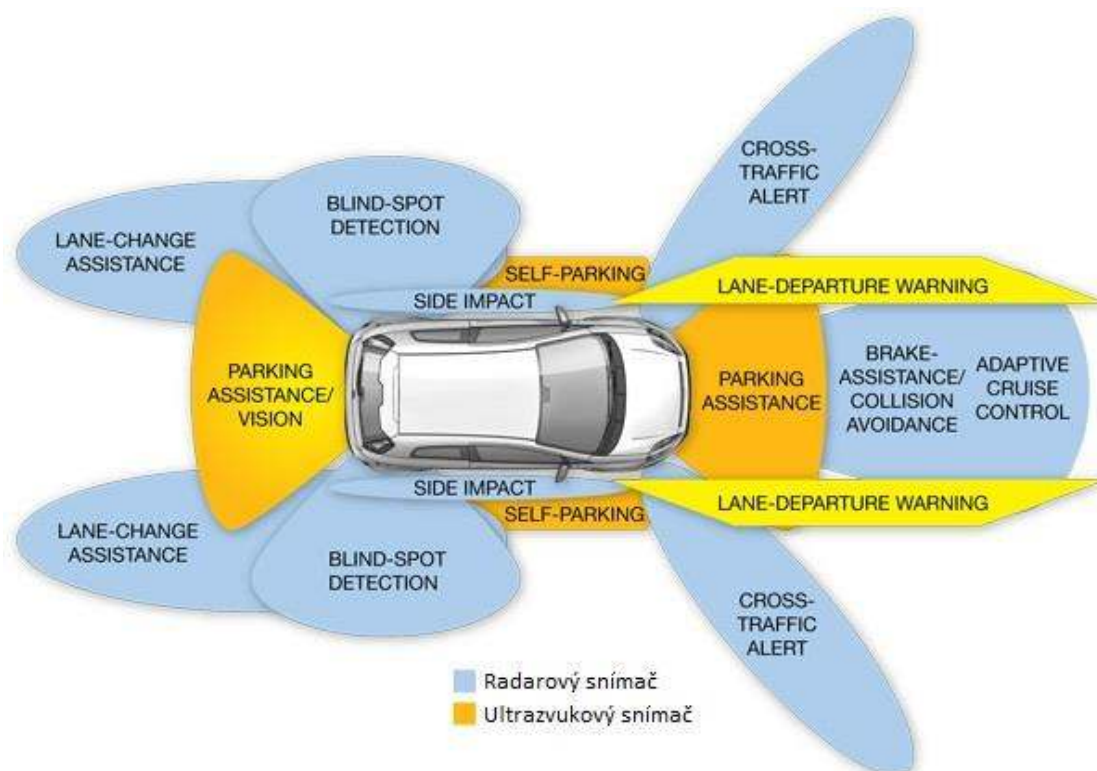
Obr. B. 4 Skenovanie prekážky pred vozidlom , vyhodnotenie radarového snímaču z obrázku B.3 [7]



Obr. B. 5 Spracované výstupné dáta z LIDARového snímaču [10]



Obr. B. 6 Rozmiestnenie a funkcia snímačov autonómne riadeného vozidla „Boss“ [11]



Obr. B. 7 Najčastejšie využívané snímače v moderných vozidlách a ich rozmiestnenie, funkcia, dosah a typ [11]



Obr. B. 8 Laserový snímač Velodyne HDL-64E LIDAR [10]

### C. Časovacia tabuľka pre snímač Velodyne HDL-64E[15]

Laser firing time table for HDL64 S2 FW V48.																	
Data Block	Laser Block	Laser Number 0~15 and 32~47( Upper, Lower)															
		0, 32	1, 33	2, 34	3, 35	4, 36	5, 37	6, 38	7, 39	8, 40	9,41	10,42	11,43	12, 44	13, 45	14, 46	15, 47
1	Upper	288	286.74	285.54	284.34	282	280.74	279.54	278.34	276	274.74	273.54	272.34	270	268.74	267.54	266.34
2	Lower	288	286.74	285.54	284.34	282	280.74	279.54	278.34	276	274.74	273.54	272.34	270	268.74	267.54	266.34
3	Upper	240	238.74	237.54	236.34	234	232.74	231.54	230.34	228	226.74	225.54	224.34	222	220.74	219.54	218.34
4	Lower	240	238.74	237.54	236.34	234	232.74	231.54	230.34	228	226.74	225.54	224.34	222	220.74	219.54	218.34
5	Upper	192	190.74	189.54	188.34	186	184.74	183.54	182.34	180	178.74	177.54	176.34	174	172.74	171.54	170.34
6	Lower	192	190.74	189.54	188.34	186	184.74	183.54	182.34	180	178.74	177.54	176.34	174	172.74	171.54	170.34
7	Upper	144	142.74	141.54	140.34	138	136.74	135.54	134.34	132	130.74	129.54	128.34	126	124.74	123.54	122.34
8	Lower	144	142.74	141.54	140.34	138	136.74	135.54	134.34	132	130.74	129.54	128.34	126	124.74	123.54	122.34
9	Upper	96	94.74	93.54	92.34	90	88.74	87.54	86.34	84	82.74	81.54	80.34	78	76.74	75.54	74.34
10	Lower	96	94.74	93.54	92.34	90	88.74	87.54	86.34	84	82.74	81.54	80.34	78	76.74	75.54	74.34
11	Upper	48	46.74	45.54	44.34	42	40.74	39.54	38.34	36	34.74	33.54	32.34	30	28.74	27.54	26.34
12	Lower	48	46.74	45.54	44.34	42	40.74	39.54	38.34	36	34.74	33.54	32.34	30	28.74	27.54	26.34

Data Block	Laser Block	Laser Number 16~31 and 48~63( Upper, Lower)															
		16,48	17,49	18,50	19,51	20,52	21,53	22,54	23,55	24,56	25,57	26,58	27,59	28,60	29,61	30,62	31,63
1	Upper	264	262.74	261.54	260.34	258	256.74	255.54	254.34	252	250.74	249.54	248.34	246	244.74	243.54	242.34
2	Lower	264	262.74	261.54	260.34	258	256.74	255.54	254.34	252	250.74	249.54	248.34	246	244.74	243.54	242.34
3	Upper	216	214.74	213.54	212.34	210	208.74	207.54	206.34	204	202.74	201.54	200.34	198	196.74	195.54	194.34
4	Lower	216	214.74	213.54	212.34	210	208.74	207.54	206.34	204	202.74	201.54	200.34	198	196.74	195.54	194.34
5	Upper	168	166.74	165.54	164.34	162	160.74	159.54	158.34	156	154.74	153.54	152.34	150	148.74	147.54	146.34
6	Lower	168	166.74	165.54	164.34	162	160.74	159.54	158.34	156	154.74	153.54	152.34	150	148.74	147.54	146.34
7	Upper	120	118.74	117.54	116.34	114	112.74	111.54	110.34	108	106.74	105.54	104.34	102	100.74	99.54	98.34
8	Lower	120	118.74	117.54	116.34	114	112.74	111.54	110.34	108	106.74	105.54	104.34	102	100.74	99.54	98.34
9	Upper	72	70.74	69.54	68.34	66	64.74	63.54	62.34	60	58.74	57.54	56.34	54	52.74	51.54	50.34
10	Lower	72	70.74	69.54	68.34	66	64.74	63.54	62.34	60	58.74	57.54	56.34	54	52.74	51.54	50.34
11	Upper	24	22.74	21.54	20.34	18	16.74	15.54	14.34	12	10.74	9.54	8.34	6	4.74	3.54	2.34
12	Lower	24	22.74	21.54	20.34	18	16.74	15.54	14.34	12	10.74	9.54	8.34	6	4.74	3.54	2.34

## D. DVD

Priložené DVD obsahuje:

- Elektronickú verziu bakalárskej práce (xjasso00.pdf)
- Manuály, datasheety a ovládače k spomínaným snímačom (v zložkách „Kamera“ a „Velodyne HDL-64E“)
- Program na získanie a uloženie dát z navrhnutých snímačov (zložka „Program“)
- Program, ktorý simuluje snímač HDL-64E (v zložke „Velodyne HDL-64E“ je zložka s názvom „ScannerSimulator“)
- Príklad zdrojového kódu programu DSR (textový dokument „DSR Source Example.txt“ uložený v zložke „Velodyne HDL-64E“)
- Doplnkové videá:
  - „Adaptive Cruise Control Audi.avi“ – príklad funkcie systému ACC
  - „AIM Traffic Control for the Future.webm“ – vysvetlenie funkcie systému AIM z kapitoly 3.3
  - „BMW Night Vision.avi“ – príklad funkcie termovíznej kamery vo vozidlách BMW (kapitola 2.3.4.4)
  - „Bosch ESP.avi“ – virtuálna ukážka funkcie systému ESP
  - „How Google's Self Driving Car Works.webm“ – video z konferencie, na ktorej prebiehala ukážka ako funguje autonómne riadené vozidlo firmy Google. Na videu je pekne vidieť využitie snímaču Velodyne HDL-64E pri riadení tohto vozidla.