

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra vozidel a pozemní dopravy**



**Bakalářská práce**

**Inteligentní dopravní systémy v silničních vozidlech**

**Vojtěch Vondrlík**

© 2024 ČZU v Praze

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Vondrlík

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Intelligentní dopravní systémy v silničních vozidlech**

Název anglicky

**Intelligent transport systems in road vehicles**

## Cíle práce

Cílem bakalářské práce je literární rešerše zaměřená na inteligentní dopravní systémy.

## Metodika

- 1 Úvod
- 2 Cíl práce
- 3 Přehled řešené problematiky
- 4 Závěr
- 5 Seznam použitých zdrojů
- 6 Přílohy

## Doporučený rozsah práce

40 stran včetně obrázků a tabulek

## Klíčová slova

senzor, bezdrátová komunikace, eCall.

---

## Doporučené zdroje informací

ESKANDARIAN, Azim, ed. Handbook of intelligent vehicles. London: Springer, c2012. Springer reference.

ISBN 978-0-85729-084-7.

PETERS G. A., PETERS B. J.: Automotive vehicle safety. New York: Taylor & Francis, 2002. ISBN 0415263336.

SEIFFERT U., WECH L.: Automotive safety handbook. London, UK: Professional Engineering Pub., c2003.

ISBN 076800912X.

ULRICH, Seiffert. Integrated Automotive Safety Handbook. SAE International, 2014. ISBN13 (EAN):

9780768064377

VLK, František. Automobilová elektronika. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.

VLK, František. Lexikon moderní automobilové techniky. Brno: František Vlk, 2005. ISBN 80-239-5416-4.

WINNER, Hermann, Felix LOTZ a Christina SINGER. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.

ISBN 978-3-658-05733-6.

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. David Marčev, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2022

**doc. Ing. Martin Kotek, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2024

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Inteligentní dopravní systémy v silničních vozidlech" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 3. 2024

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Davidu Marčevovi, Ph.D. za odborné vedení a věnovaný čas v průběhu zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

# Inteligentní dopravní systémy v silničních vozidlech

## Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje pokročilým asistenčním systémům pro řidiče a jejich hardwarovým prvkům. Text práce je rozdělen do dvou hlavních částí. V první části jsou postupně popsány asistenční systémy pro řidiče, kde je každému systému věnovaná vlastní kapitola, jako je adaptivní tempomat, autonomní nouzové brzdění, inteligentní osvětlení, noční vidění, rozpoznávání dopravních značek, udržování v jízdním pruhu, sledování mrtvého úhlu a asistent parkování. Druhá část práce je koncipována do čtyř kategorií: senzory výpočetní platforma, akční členy a komunikační sítě ve vozidle. Postupně jsou popsány senzory jako radary, lidary, ultrazvukové senzory, kamery, globální navigační satelitní systém, inerciální měřicí jednotky a odometrické senzory. Dále se práce věnuje důležitosti výkonných výpočetních platform. Načež navazuje kapitola akčních členů, které provádí úkony vyslané řídicí jednotkou a speciální pozornost je tu věnována budoucnosti systému drive-by-wire. Práce se na závěr věnuje komunikačním sítím ve vozidle, zejména sběrnici CAN a Ethernetu.

**Klíčová slova:** asistenční systém, radar, lidar, ultrazvukový senzor, kamera, globální navigační satelitní systém, inerciální měřicí jednotka, odometrický senzor, výpočetní platforma, CAN, Ethernet

# Intelligent transport systems in road vehicles

## Abstract

The bachelor's thesis focuses on advanced driver assistance systems and their hardware components. The thesis text is divided into two main parts. In the first part, the driver assistance systems are described step by step, where each system is given its own chapter, such as adaptive cruise control, autonomous emergency braking, intelligent lighting, night vision, traffic sign recognition, lane keeping, blind spot monitoring, parking assistant. The second part of the thesis is organized into four categories: sensors, computing platform, actuators and in-vehicle communication networks. Sensors such as radar, lidar, ultrasonic sensors, cameras, global navigation satellite system, inertial measurement units, odometry sensors are described in turn. The importance of powerful computing platforms is also discussed. This is followed by a chapter on actuators that perform the actions sent by the controller, and special attention is given to the future of drive-by-wire systems. The thesis concludes with a look at in-vehicle communication networks, in particular the CAN bus and Ethernet.

**Keywords:** assistance system, radar, lidar, ultrasonic sensor, camera, global navigation satellite system, inertial measurement unit, odometric sensor, computing platform, CAN, Ethernet

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Přehled řešené problematiky</b> .....	<b>3</b>
3.1 Pokročilé asistenční systémy pro řidiče .....	3
3.1.1 Adaptivní tempomat .....	3
3.1.2 Autonomní nouzové brzdění.....	5
3.1.3 Inteligentní osvětlení.....	6
3.1.4 Noční vidění.....	7
3.1.5 Rozpoznávání dopravních značek .....	8
3.1.6 Udržování v jízdním pruhu .....	9
3.1.7 Sledování mrtvého úhlu .....	10
3.1.8 Asistent parkování .....	11
3.2 Hardware .....	12
3.2.1 Senzory .....	12
3.2.1.1 Radary.....	15
3.2.1.2 Lidary .....	17
3.2.1.3 Ultrazvukové senzory .....	19
3.2.1.4 Kamery .....	21
3.2.1.5 Globální navigační satelitní systém.....	23
3.2.1.6 Inerciální měřicí jednotky.....	25
3.2.1.7 Odometrické senzory.....	27
3.2.2 Výpočetní platforma .....	28
3.2.3 Rozhraní akčních .....	30
3.2.3.1 Systém Drive-by-wire .....	31
3.2.4 Komunikační sítě ve vozidlech.....	32
3.2.4.1 Controller Area Network.....	33
3.2.4.2 Ethernet.....	34
<b>4 Závěr</b> .....	<b>35</b>
<b>5 Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>37</b>
<b>6 Seznam obrázků</b> .....	<b>42</b>
<b>7 Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>43</b>



# 1 Úvod

V posledních desetiletích se bezpečnost stala jedním z nejdůležitějších kritérií při vývoji a hodnocení moderních vozidel. Neustále rostoucí nároky na bezpečnost silničního provozu vedly k výraznému technologickému pokroku v automobilovém průmyslu. Jedním z nejnápadnějších trendů v této oblasti je rozvoj a implementace pokročilých asistenčních systémů pro řidiče, známých jako Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). Tyto systémy představují klíčovou složku současných snah o zvýšení bezpečnosti, pohodlí a celkové efektivity řízení. S přibývajícím počtem vozidel na silnicích a zvyšující se komplexností dopravních situací jsou inteligentní asistenční systémy nezbytné pro zmírnění rizik nehodovosti a podporu řidičů v náročných nebo nečekaných dopravních situacích.

Rozvoj ADAS není možný bez paralelního pokroku v oblasti softwaru a hardwaru, které tyto systémy tvoří. V této práci je kladen důraz na technologický pokrok, který umožňuje vývoj a implementaci stále sofistikovanějších asistenčních systémů. Vývoj výkonných výpočetních platform, pokročilých senzorů a spolehlivých komunikačních sítí představuje základní pilíře, na kterých stojí funkčnost a efektivita ADAS. Tyto hardwarové komponenty jsou nezbytné pro sběr a zpracování velkého množství dat v reálném čase, což je nezbytné pro přesné a spolehlivé fungování asistenčních systémů.

Tato práce nabízí pohled na současný stav a význam pokročilých asistenčních systémů a hardwarových technologií, které je podporují. Postupně jsou systematicky probrány nejdůležitější systémy ADAS, od adaptivního tempomatu přes systémy pro udržování vozu v jízdním pruhu, až po parkovací asistenty a další technologie zvyšující bezpečnost a pohodlí řidičů. Zvláštní pozornost je věnována hardwarovým prvkům, včetně senzorů, jako jsou radar, lidar a kamery, výpočetních jednotek a komunikačních sítí. Každá z těchto komponent hraje klíčovou roli v detekci objektů a situací v okolí vozidla, zpracování získaných dat a v provedení akcí, které mohou zabránit potenciálním nehodám nebo minimalizovat jejich následky.

## **2 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je zpracování uceleného souhrnu o pokročilých asistenčních systémech pro řidiče implementovaných v moderních vozidlech a klíčových hardwarových komponentů, které jsou zásadní pro jejich spolehlivé fungování.

## 3 Přehled řešené problematiky

V současné době se automobilový průmysl rychle vyvíjí a stále více se zaměřuje na integraci pokročilých asistenčních systémů pro řidiče, které zvyšují bezpečnost na silnicích a podporují pohodlí řidičů. V první části této práce budou postupně probrány tyto nejznámější asistenční systémy. Klíčem k jejich spolehlivému a efektivnímu fungování je nejen pokročilý software, ale především sofistikované hardwarové komponenty. Ve druhé části práce jsou postupně probrány komponenty, jako jsou senzory, výpočetní platforma, akční členy a komunikační sítě ve vozidlech, jež jsou základem pro správnou interpretaci dat z okolního prostředí vozidla, což umožňuje asistenčním systémům provádět rychlá a přesná rozhodnutí.

### 3.1 Pokročilé asistenční systémy pro řidiče

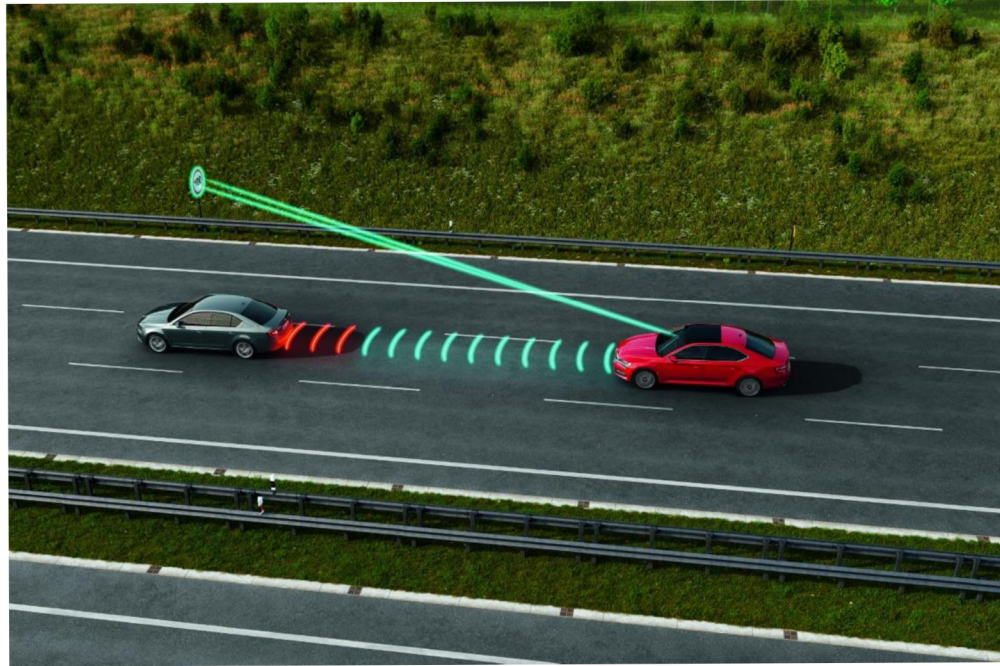
Pokročilé asistenční systémy pro řidiče (ADAS - Advanced Driver-Assistance System) jsou sofistikované systémy, které mají za účel zvýšit komfort a bezpečnost při řízení tím, že systém přebírá určité řidičské úkoly.

#### 3.1.1 Adaptivní tempomat

Tento systém (ACC - Adaptive Cruise Control) založený na radarové technologii, přizpůsobuje rychlost vozidla dopravním podmínkám v rámci určitých limitů, aniž by řidič musel rychlost upravovat manuálně. Po zvolení požadované rychlosti a bezpečné vzdálenosti od jiného vozidla se vozidlo automaticky přizpůsobí těmto parametrům. K tomu však dochází pouze v případě, že jiné vozidlo jede nižší rychlostí, než je požadovaná nastavená rychlost vozidla s aktivovaným ACC. Okolní objekty jsou detekovány radarovým systémem. Ten lze také substituovat i jinými technologiemi jako lidar či kamera. Pokud na základě dat ze senzorů systém sledování okolí zjistí kritickou situaci při přibližování k vozidlu jedoucí před ním, tak automaticky pomocí aktivace brzd přizpůsobí rychlost vozidla k dosažení bezpečné vzdálenosti. Při opětovném dosažení bezpečné vzdálenosti je vozidlo znovu schopno automaticky zrychlit na přednastavenou rychlost. Tento systém umožňuje plynulejší a bezpečnější jízdu zejména na dálnicích a dálkových trasách a snižuje potřebu častého ručního řízení rychlosti vozidla. Významně tím přispívá k pohodlí a bezpečnosti řidiče a ostatních účastníků silničního provozu. [1]

Některá novější vozidla dnes už také mají tzv. prediktivní tempomat, který je schopen upravovat rychlost na základě údajů z mapových podkladů navigace či pohotově reagovat na dopravní značky (viz obr. 1). Vozidlo si je tedy nejenom vědomo rychlostních omezení na daných úsecích, ale také dokáže včas reagovat na zatáčky či jiná místa na trase, jenž vyžadují přizpůsobení rychlosti pro bezpečné projetí. Pro tuto funkci musí být do vozidla implementována multifunkční kamera a GNSS. [2]

*Obrázek 1 Prediktivní tempomat [2]*



### 3.1.2 Autonomní nouzové brzdění

Pokročilý bezpečnostní systém (AEB - Autonomous Emergency Braking) ve vozidlech, který je navržen tak, aby pomáhal předejít dopravním nehodám nebo snížil jejich závažnost prostřednictvím autonomního nebo poloautonomního zásahu do brzdového systému vozidla. Tento systém reaguje na potenciálně nebezpečné situace (viz obr. 2) a aktivuje brzdy vozidla, když se přiblíží k srážce a řidič nereaguje na akustické upozornění a nepřijme žádné opatření ke zpomalení nebo zastavení. Systém využívá různé senzory, včetně radarů, lidarů a kamer, aby monitoroval okolí vozidla. Tyto senzory neustále sbírají informace o překážkách v okolí vozidla. Musí být schopen tyto objekty také rozpoznat, aby nedošlo k aktivaci brzd, když se před vozidlem objeví například malá větev. Ta totiž představuje minimální riziko pro řidiče a jeho vozidlo. Větší nebezpečí by vyvolal systém aktivací brzd pro okolní vozidla, a proto je důležitá správná detekce objektů jako jsou vozidla před ním, chodci nebo překážky na silnici. Dále senzory a kamery poskytují data pro výpočet vzdálenosti objektu a jeho rychlosti z níž systém dopočítá rychlostní rozdíl, který je klíčový pro předpověď srážky. To může zahrnovat příliš rychlý přibližující se objekt, který vozidlo nebo řidič blízko sleduje. Pokud systém zjistí nebo předpokládá, že hrozí srážka a řidič není schopen reagovat dostatečně rychle, AEB může automaticky aktivovat brzdy vozidla, to může zahrnovat postupné brzdění, aby se snížila rychlost vozidla a minimalizovala intenzita srážky nebo dokonce plné brzdění, pokud je to nezbytné k zabránění kolizi. [3] [4]

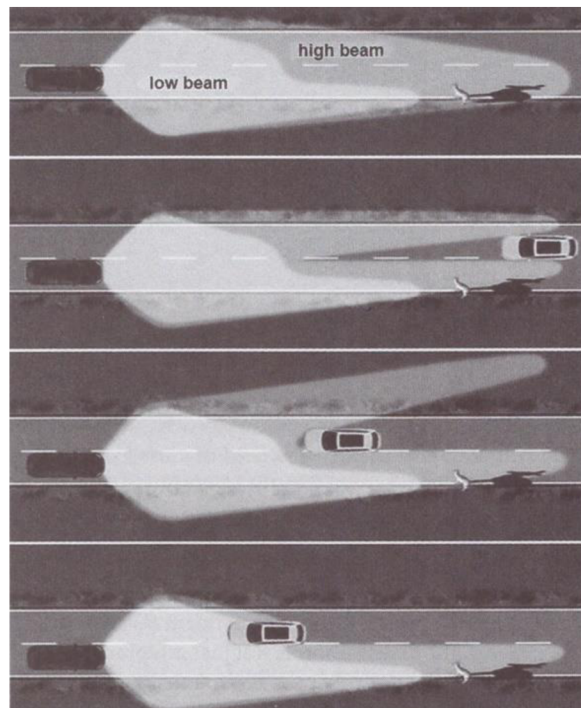
Obrázek 2 Autonomní nouzové brzdění [3]



### 3.1.3 Inteligentní osvětlení

Asistenční systémy s adaptivními světlomety (AFS - Adaptive Front-light System) mohou včas rozpoznat relevantní objekty. Tyto systémy využívají kameru ke sledování protijedoucích vozidel a vozidel před vozidlem řidiče a podle toho přizpůsobují rozložení světla světlometů. Jednou z funkcí je asistent dálkových světel. Asistent dálkových světel umožňuje automatické zapínání a vypínání dálkových světel v závislosti na dopravní situaci. Dálková světla se vypnou, pokud senzory zaznamenají protijedoucí vozidla nebo vozidla před vozidlem řidiče. Jakmile je prostor před vozidlem opět volný, dálková světla se automaticky znovu aktivují. Řidič tak má optimální výhled, aniž by ovlivňoval protijedoucí vozidla. Dalším vývojem asistenta dálkových světel je adaptivní dynamický světlomet, který automaticky přizpůsobuje rozsah světla (viz obr. 3), takže prostor před vozem je optimálně osvětlen a řidič má větší výhled. Kamera nejen zjišťuje, že se před vozidlem nacházejí další vozidla, ale také identifikuje jejich polohu. Díky těmto informacím je možné plynule přizpůsobit hranici světla a tmy světlometů mezi rozložením potkávacích a dálkových světel v závislosti na dosahu protijedoucích vozidel nebo vozidel před kamerou. Distribuce světla se nepřizpůsobuje pouze vertikálně, ale lze ji také horizontálně natáčet. Díky tomu je možné v dálkových světlech ztlumit vybraná místa a tím neoslňovat ostatní účastníky silničního provozu a zároveň maximalizovat viditelnost řidiče, protože se vypnou pouze tehdy, pokud by ovlivňovala okolní provoz. [1]

Obrázek 3 Dynamický asistent osvětlení [1]



### 3.1.4 Noční vidění

Systemy nočního vidění zaznamenávají prostor před vozidlem pomocí kamery, čímž umožňují řidiči v noci a v nepříznivém počasí lépe vidět prostor před vozidlem, který je promítán na digitální přístrojové desce. Používají se buď pasivní, nebo aktivní systémy (viz obr. 4). Pasivní systémy používají termokameru, která je citlivá na všechny zdroje tepla v zorném poli (např. chodce, vozidla) a zřetelně je osvětluje na přístrojové desce ve vozidle. Kromě toho může systém využívat inteligentní zpracování obrazu ke klasifikaci chodců a v případě potřeby je označit na displeji. To je užitečné například v případě, že chodec přechází silnici. Pasivní systém má větší dosah, jelikož není omezen dosvitem infračervené kamery (dosah až 300 m). Nevýhodou oproti aktivnímu systému je naopak horší kvalita zpracovávaného obrazu z kamery.

Při využití aktivních asistenčních systémů nočního vidění je použita vestavěná infračervená kamera, která osvětluje prostor před vozidlem infračerveným světlem s dosahem přibližně 150 metrů. Infračervené světlo odražené od okolí je pak opět detekováno kamerou vozidla, která je rovněž citlivá na infračervené světlo. Na rozdíl od pasivního systému se řidiči na displeji zobrazuje zcela osvětlený obraz okolí a řidiči je tak poskytnut kvalitnější výstup. Její funkce je také citlivá na zhoršené venkovní podmínky, jenž zkracují dosah infračerveného světla. [1] [5]

Obrázek 4 Obraz z aktivního (vlevo) a pasivního (vpravo) systému [5]



### 3.1.5 Rozpoznávání dopravních značek

Tento asistenční systém (TSR - Traffic Sign Recognition) umožňuje vozidlům automaticky detekovat a rozpoznávat dopravní značky umístěné na silnici. Tato funkce je součástí pokročilých asistenčních systémů řidiče, které mají za cíl zvýšit bezpečnost, pohodlí a efektivitu jízdy. Systém využívá kameru umístěnou na vozidle, obvykle ve spodní části čelního skla. Kamera snímá okolí a zachycuje obrazová data, která jsou následně analyzována. Získaná obrazová data jsou zpracována pomocí sofistikovaných algoritmů zpracování obrazu. Tyto algoritmy jsou určeny k detekci a identifikaci dopravních značek na základě jejich tvarů, barev a symbolů, které porovnává s uloženými značkami v paměti systému. TSR rozpoznává různé typy dopravních značek, jako jsou omezení rychlosti, zákazy předjíždění, značky upozorňující na zatáčky, či různé informace o přednosti v jízdě. Informace z rozpoznání značek jsou následně zpracovány a zobrazeny řidiči na palubní desce (viz obr. 5). V případě, že je detekována důležitá informace na dopravní značce, TSR může aktivovat vizuální nebo zvukové upozornění pro řidiče. Například, pokud je detekováno omezení rychlosti, systém může upozornit řidiče na aktuálně platnou maximální povolenou rychlost. TSR často spolupracuje s dalšími pokročilými asistenčními systémy, jako jsou prediktivní tempomaty, asistenční systémy udržování pruhu a další. Tato integrace umožňuje vozidlům reagovat dynamicky na aktuální dopravní podmínky.

[5] [6]

Obrázek 5 Rozpoznávání dopravních značek [6]

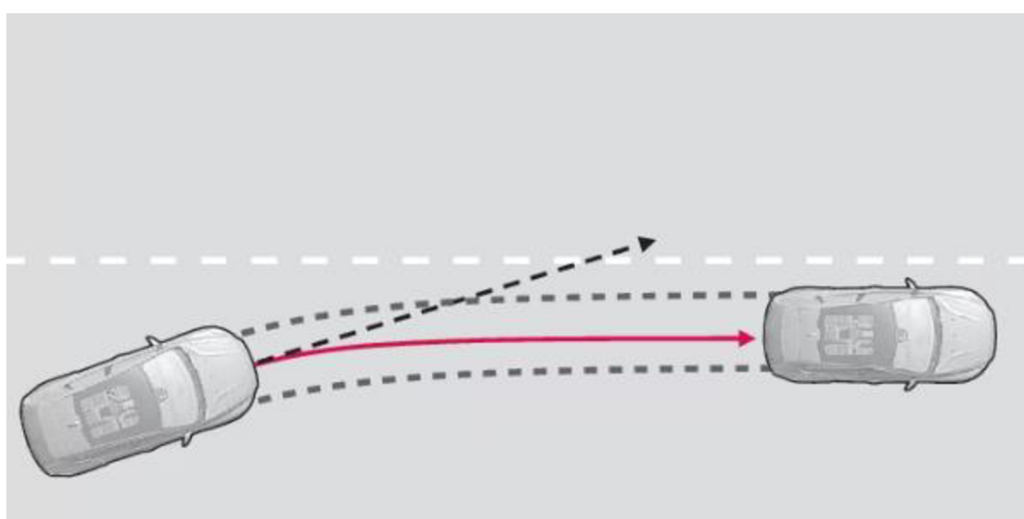




### 3.1.6 Udržování v jízdním pruhu

Udržování v jízdním pruhu je technologie (LKA – Lane Keep Aid) navržená k pomoci řidičům udržovat vozidlo v jízdním pruhu a snížit tím riziko nehody jeho neočekávaným opuštěním. Nalezne využití zejména při dlouhých monotónních cestách, kdy řidič může ztratit soustředění či přejít do mikrosnánku. Vozidlo je vybaveno kamerami a senzory, které monitorují jízdní pruhy. Tyto senzory mohou detekovat čáry na silnici a sledovat polohu vozidla v rámci těchto jízdních pruhů. Důležitým předpokladem je viditelné značení na silnici, aby mohlo dojít ke správné detekci jízdních pruhů. V opačném případě zůstává systém neaktivní. Dalším předpokladem pro aktivaci systému LKA je dosažení určité rychlosti, které se může v různých vozidlech lišit. Většinou se jedná o interval rychlostí od 60 km/h. LKA je rozšíření systému LDW (Lane Departure Warning - Varování před opuštěním jízdního pruhu), jehož funkcí je varovat řidiče v případě, že vozidlo opouští jízdní pruh bez použití směrových světel. Když tato situace nastane řidič bývá obvykle varován zvukovým signálem nebo vibracemi ve volantu či sedadle. Systém LKA může navíc při opuštění jízdního pruhu mírně zasáhnout do řízení vozidla, aby jej vrátil do středu jízdního pruhu, čímž pomáhá udržet vozidlo ve správné dráze (viz obr. 6). Nedochozí tím ovšem k plnému převzetí kontroly nad řízením a řidič bývá následně upozorněn, aby opět převzal řízení sám. V některých situacích může asistent jízdních pruhů umožnit vozidlu přejet boční čáry bez zásahu do řízení nebo bez poskytnutí varování. Toto se může vyskytovat například v případech, kdy vozidlo při nerušeném výhledu přejede do sousedního pruhu během průjezdu zatáčkou. [5] [7] [8]

Obrázek 6 Korekce směru pro udržení vozidla v jízdním pruhu [7]



### 3.1.7 Sledování mrtvého úhlu

Varování před kolizí s vozidlem nacházejícím se v mrtvém úhlu je jedním z mnoha pokročilých asistenčních systémů, které pomáhají předcházet nehodám. Tento specifický bezpečnostní systém upozorní řidiče, pokud se v jeho mrtvém úhlu objeví jiné vozidlo nebo pokud se jiné vozidlo zařadí do sousedního jízdního pruhu a hrozí kolize (viz obr. 7). Nebezpečí dopravní nehody spojené s mrtvým úhlem se zejména projevuje na dálnicích, obzvláště při vstupu na dálnici nebo při předjíždění jiného vozidla. Mrtvý úhel je část úhlu výhledu za vozidlem, který je řidiči zakryt neprůhlednou částí karoserie a polohou jeho očí, přičemž u každého vozidla má mrtvý úhel odlišnou velikost. Jelikož vnitřní a vnější zpětná zrcátka nedokážou pokrýt celý tento prostor, je tak jedoucí vozidlo ve vedlejším jízdním pruhu v určité části výhledu zcela řidiči schováno a hrozí nebezpečí kolize. V rámci tohoto specifického bezpečnostního systému vozidlo pomocí senzorů umístěných na zadním nárazníku a bočních zrcátkách kontroluje, zda se v mrtvém úhlu nebo ve vedlejším jízdním pruhu nenachází nějaké vozidlo. Pokud senzory zaznamenají jedoucí vozidlo ve vedlejším jízdním pruhu, které se nachází v určité blízkosti nebo není vidět v mrtvém úhlu řidiče, rozsvítí se vizuální kontrolka integrovaná do bočního zrcátka. V případě, kdy řidič dá směrovku do směru, kde se nachází jiné vozidlo, kontrolka na příslušné straně začne blikat. U některých modelů vozidel ji může doplnit i akustické upozornění či škrbnutí volantu, aby došlo ke zdržení odbočovacího manévru za účelem vyhnutí se kolizi. [9] [10] [11]

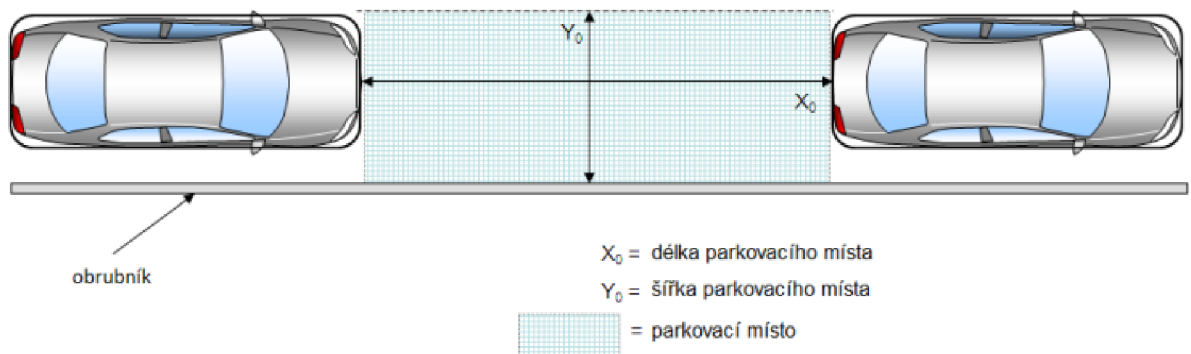
Obrázek 7 Sledování mrtvého úhlu [11]



### 3.1.8 Asistent parkování

Systém asistovaného parkování (PAS - Parking Assistance System) je technologie určená pro parkování vozidla s minimálním nebo žádným zásahem řidiče. Cílem je maximálně usnadnit proces parkování, obzvláště na místech s omezeným prostorem, kde je obtížné parkovat, například v úzkých uličkách nebo při paralelním parkování. Tato technologie pomáhá řidičům dosáhnout přesného parkování a minimalizovat riziko poškození vozidla nebo okolních vozidel a objektů při parkovacích manévrech. Spuštěním PAS začíná systém hledáním a návrhem vhodného místa pro odstavení vozidla (viz obr. 8). Systém po identifikaci vhodného místa a stanovení cílové polohy vozidla započne výpočet optimální trajektorie. Následně už dochází k samotné asistenci při vedení vozidla do cílové polohy. Rovněž v celém průběhu parkovacího manévru systém sleduje okolí a detekuje případné překážky. Systém PAS využívá různé senzory pro detekci překážek a výpočet vzdáleností. Jedná se například o ultrazvukové senzory, kamery či lidary. Ale také využívá senzory pro určení rychlosti a relativní polohy vozidla vůči parkovacímu místu. K tomu se mohou využívat například odometrické senzory a inerciální měřicí jednotky. V některých systémech PAS může být i další nadstavbou schopnost vyparkovat vozidlo z parkovacího místa. [12] [13]

Obrázek 8 Analýza parkovacího místa [12]



## 3.2 Hardware

V této části práce jsou popsány hardwarové komponenty, které jsou klíčové pro realizaci funkcí systémů pokročilé asistence řidičů (ADAS). Pro účel zjednodušení a lepšího porozumění jsou tyto komponenty rozděleny do tří základních kategorií: senzory, výpočetní platformy a rozhraní akčních členů. Každá z těchto kategorií je následně podrobněji zkoumána v samostatných kapitolách, kde jsou jednotlivé prvky a jejich funkce v kontextu ADAS popsány.

### 3.2.1 Senzory

Senzory se postupně stávají nezbytnou součástí moderních vozidel a lze je nazvat jejich ušima a očima, které umožňují vozidlu monitorovat své okolí. V zásadě existují dva typy senzorů: pasivní a aktivní. Pasivní senzory fungují tak, že pohlcují okolní energii, zatímco aktivní senzory vysílají určitou formu energie do okolí a přijímají a měří odražené signály. Například kamery jsou pasivní, zatímco radary a lidary jsou aktivní. Schopnost aktivních senzorů pracovat v různých podmínkách prostředí závisí na jejich specifickém způsobu činnosti; například lidary pracují ve tmě, ale stereokamery obvykle ne, přestože oba využívají světelnou energii. Nezávisle na tom, jakou technologii používají, musí být aktivní senzory schopny se vypořádat i s šumem a rušením z okolí. [14]

Vyjma senzorů pozorující vnější prostředí, jsou také nezbytné senzory, které umožňují měřit vnitřní stav vozidla, jako je rychlost kol, akcelerace nebo úhlová rychlost. Senzory, které měří vnitřní stav vozidla, se nazývají proprioceptivní senzory, zatímco senzory, které umožňují vozidlu pozorovat okolí, se nazývají exteroceptivní senzory. Obvykle se používají oba typy senzorů k výpočtu polohy vozidla vzhledem k okolí. Nicméně je důležité, aby vozidlo mělo možnost vypočítat svou polohu pouze na základě údajů z proprioceptivních senzorů, protože informace z exteroceptivních senzorů nemusí být vždy k dispozici. [15]

Každý senzor disponuje specifickými vlastnostmi, které určují jeho složitost. Některé senzory lze do vozidel snadno zabudovat, protože jsou určeny k jedinému účelu a mají tedy omezené možnosti a složitost. Do této kategorie obecně spadají senzory motoru a senzory směru. Jiné senzory jsou složitější a vyžadují použití algoritmů, aby se plně využil potenciál informací, které poskytují. Obvykle se jedná o senzory, které jsou závislé na formách energie, jež se obtížněji ovládají a detekují. Do této kategorie patří aktivní senzory pro měření vzdálenosti (ultrazvukové senzory), senzory rychlosti (Dopplerovy radary) a senzory vidění (kamery). Využití jejich složitosti se vyplácí, jelikož poskytují vozidlu rozšířené možnosti monitorování okolí díky širokému spektru získávaných informací a mají širší rozsah činnosti. Některé z nich lze dokonce použít k více účelům, což umožňuje jejich aplikaci v různých aspektech systémů ADAS a zvyšuje efektivitu systémové integrace. Senzory ve vozidlech sbírají data a předávají je výpočetní platformě, která je následně analyzuje. Informační hodnota těchto surových dat je plně realizována teprve po zpracování pomocí specifických softwarů. Tyto data shromážděná senzory jsou transformována softwarovými komponentami, což umožňuje vozidlu interpretovat informace a adekvátně reagovat. Tento proces zahrnuje použití middleware, tedy mezivrstvy systémové architektury, která slouží jako propojení mezi hardwarem (senzory a akční členy) a výkonnými algoritmy vozidla. Middleware tak hraje klíčovou roli v transformaci surových dat na užitečné informace pro podporu rozhodovacích procesů a operací vozidla v reálném čase. [16]

## **Klíčové aspekty**

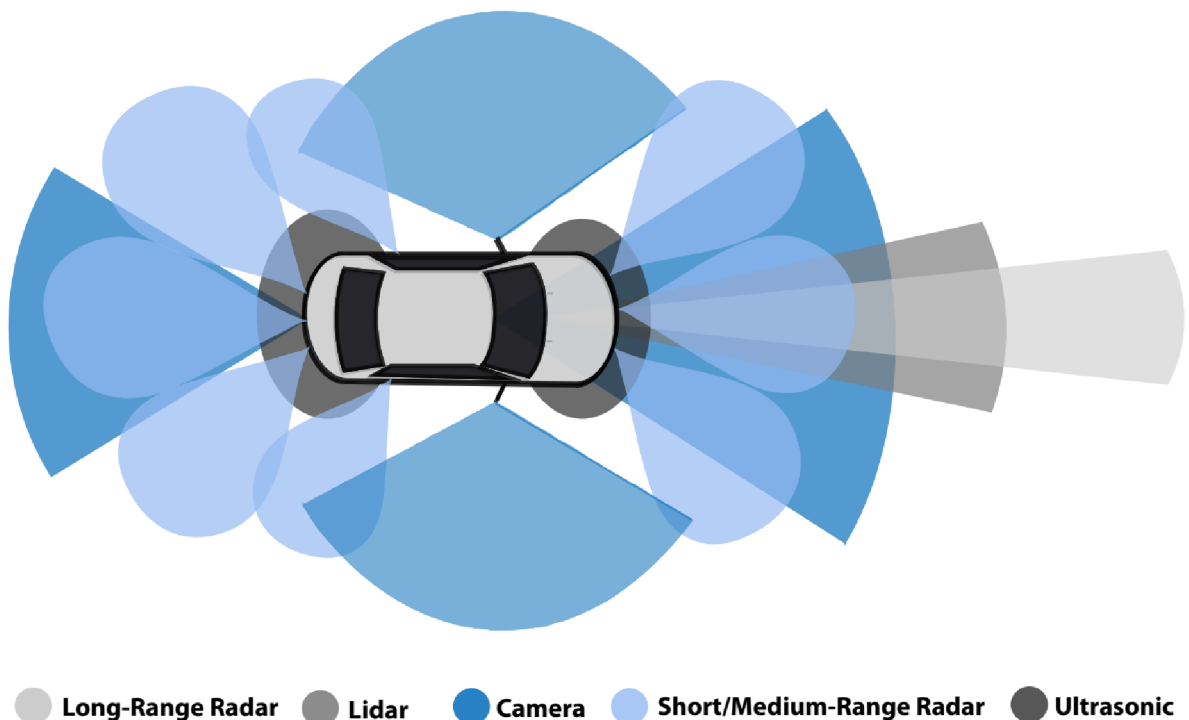
V rámci vývoje automobilových technologií představuje výběr optimální konfigurace senzorů pro vozidla klíčovou výzvou pro inženýry a designéry. Tento proces zahrnuje komplexní úvahy, přičemž jedním z přístupů k problematice je pozorování okolního světa. Inspiraci lze čerpat z přírody, kde každý živý organismus je vybaven specifickým souborem orgánů, které mu umožňují vnímat okolní prostředí. Například netopýři jsou aktivní v noci a spoléhají na echolokaci podobnou sonaru k vnímání svého prostředí. Naopak orli mají vynikající zrak, který jim umožňuje vidět kořist na velkou vzdálenost, ale ve tmě je téměř neefektivní. Tyto principy lze aplikovat i při výběru senzorů pro vozidla, kde je důležité zvážit podmínky a prostředí, ve kterých budou pracovat. Například radary s velkým dosahem mohou být nezbytné pro vozidla na dálnici, zatímco pro městské prostředí mají méně vhodné využití, protože vozidla potřebují detekovat velké množství různorodých překážek ve svém bezprostředním okolí.

Konfigurace senzorů však není jen otázkou funkčnosti, ale také nákladů. Některé senzory jsou stále relativně drahé, což je může vylučovat u modelů vozidel nižší třídy. Pokud jsou náklady neúnosné, může být nutné kompenzovat nedostatek jednoho konkrétního typu senzoru inteligentním využitím jiných, snadněji dostupných senzorů. Ať už nakonec zvolíme jakýkoli typ senzorů, je nezbytné zajistit, aby vozidlo mělo dostatečný výpočetní výkon pro zpracování dat ze všech senzorů současně. Další klíčovou otázkou je design a estetika vozidla, která hraje významnou roli při rozhodování zákazníků o koupi. Zde je nutné provést kompromis a vybrat správné senzory a jejich umístění ve vozidle, aniž by byla ohrožena kvalita designu. [16]

## Typy senzorů

V konečném důsledku neexistuje dokonalý senzor, takže vývojáři obvykle používají kombinaci různých typů senzorů, jak je znázorněno na obrázku 9. Dokonce i v rámci konkrétních kategorií senzorů existují jemné rozdíly mezi různými značkami a modely, které musí být nutné zohlednit. Dobrá znalost silných stránek a omezení jednotlivých senzorů je proto zásadním předpokladem pro výběr nejlepší varianty.

Obrázek 9 Příklad konfigurace senzorů [16]



### 3.2.1.1 Radary

Radar, což je zkratka pro radiovou detekci a zaměřování, je senzor využívající rádiové (či mikrovlnné) vlny, tj. elektromagnetické vlny delší než infračervené světlo. Základní komponenty radaru se skládají z vysílače, přijímače a antény. Vysílač umožňuje radaru generovat signály, anténa tyto signály směřuje a přijímač je zpracovává po jejich odrazu zpět od objektů, což umožňuje detekci, lokalizaci a sledování objektů. Tato technologie využívá principu ozvěny, kdy vysílá impulsy rádiových vln, které se následně odrážejí od okolních objektů. Vracející se vlny poskytují informace o směru, vzdálenosti a odhadované velikosti každého objektu. Radary lze také použít k určení směru a rychlosti pohybu objektu pomocí vysílání několika po sobě jdoucích pulzů. Existují dva základní typy radarů: echolokační a Dopplerův radar. Echolokační radary fungují, jak je popsáno výše, přičemž získávání dat z dvou nebo více echolokátorů umístěných na různých místech ve vozidle umožňuje získat dodatečné informace o poloze objektu, například o jeho úhlu. Dopplerův radar tuto schopnost rozšiřuje analýzou fází vln, kdy sleduje každou konkrétní vlnu a zjišťuje rozdíly v poloze, tvaru a formě vlny při jejím návratu. Na základě těchto informací pak lze určit, zda vlna prošla kladným nebo záporným posunem. Záporný posun znamená, že se objekt pohybuje směrem od radaru, zatímco kladný posun znamená, že se pohybuje směrem k radaru. Velikost posunu lze použít k určení rychlosti objektu.

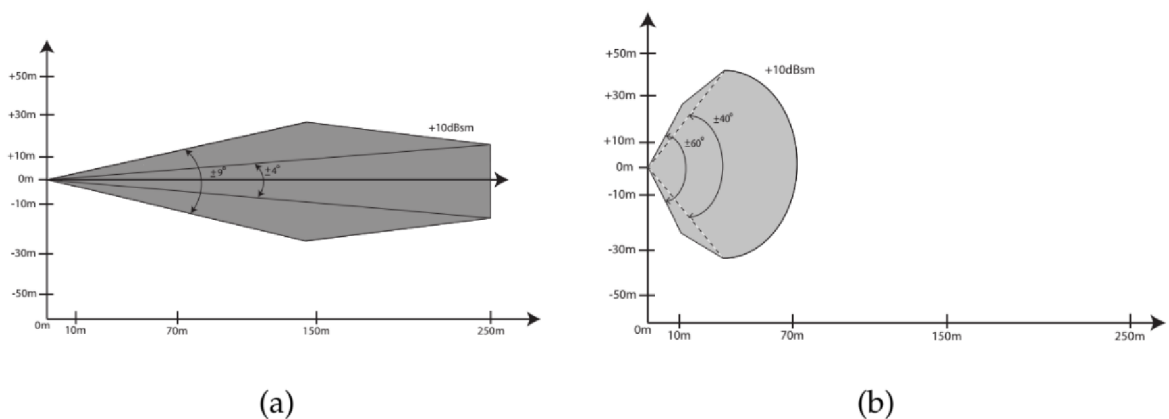
Díky těmto vlastnostem se radar začal postupně implementovat do vozidel. V počáteční fázi implementace radarových systémů se výrobci omezili na použití radarů s pracovní frekvencí 24 GHz. Postupně, s cílem dosáhnout vyšší přesnosti a rozlišení, byla tato technologie rozšířena o radarové systémy pracující na vyšších frekvencích, konkrétně 77 GHz a následně 79 GHz. Tento vývoj vedl k významnému zlepšení výkonnosti radarových senzorů, které se nyní řadí mezi nejrozšířenější senzorové systémy v moderních vozidlech. Radarové senzory hrají zásadní roli v pokročilých asistenčních systémech řidiče (ADAS), jakož jsou adaptivní tempomat, systémy pro monitorování mrtvého úhlu nebo asistenční systémy pro podporu změny jízdního pruhu. [16] [17] [18]

## Výhody a nevýhody radarů

Díky svému velkému dosahu a funkcím využívající Dopplerův jev se radar stal hlavním senzorem pro detekci a sledování vzdálených objektů. Nabízí řadu klíčových výhod. Radar lze například využít za jakýchkoli světelných podmínek (včetně přímého slunečního světla a tmy), za jakýchkoli rušivých povětrnostních podmínek (například za deště, mlhy a sněžení), ve větrných lokalitách a při jízdě vysokou rychlostí. Radary také nabízejí dostatečné rozlišení i na větší vzdálenosti (až 250 metrů) a jsou dostupné za rozumnou cenu v sériové výrobě. V neposlední řadě lze díky Dopplerovu jevu odhadovat polohu i rychlost detekovaných objektů. Mezi nevýhody radaru patří horší výsledky u nekovových objektů a jeho relativně úzký úhel otevření. Některé radary jsou vybaveny funkcemi, které umožňují dynamicky upravovat úhel otevření a dosah v závislosti na rychlosti vozidla, jak je znázorněno na obrázku 10. Když vozidlo jede vysokou rychlostí, systém zmenší úhel otevření, aby dosáhl maximálního dosahu. Když jede nižší rychlostí (např. v městském provozu), úhel otevření se nastaví na maximum snížením dosahu, což umožní lepší detekci chodců, kol a dalších objektů v blízkosti vozidla.

[16]

Obrázek 10 Pracovní úhel radaru pro dlouhý dosah (a) a krátký dosah (b) [16]

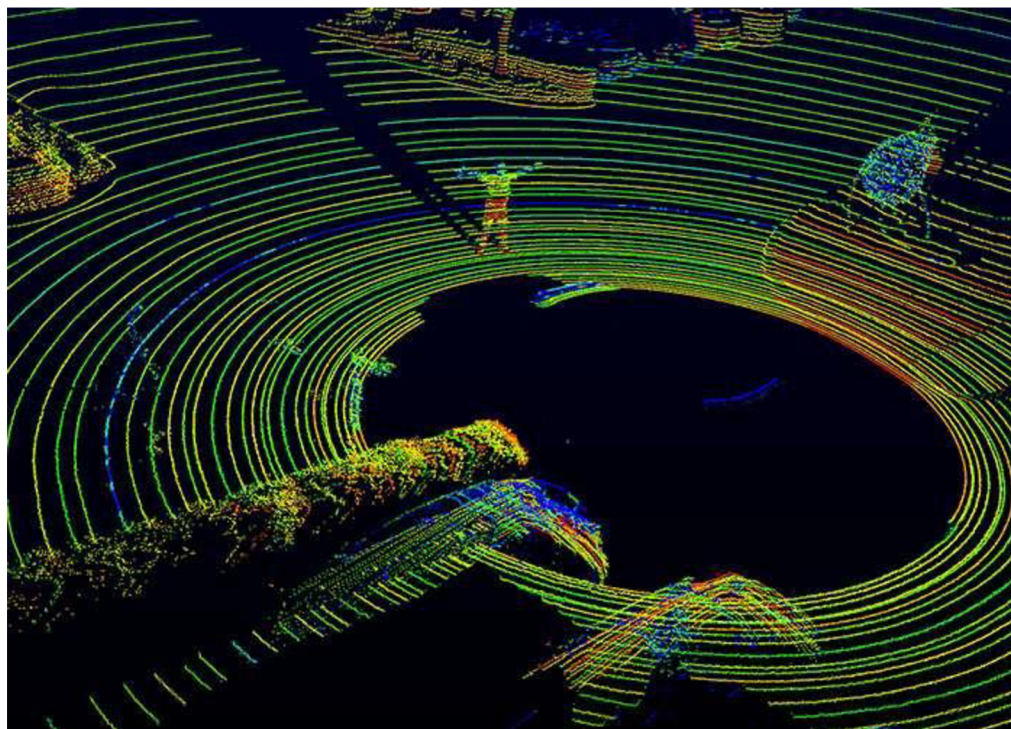




### 3.2.1.2 Lidary

Lidar je zkratka pro světelnou detekci a měření vzdálenosti. Technologie lidarů je založena na podobném principu jako radar, jinými slovy určuje polohu a vzdálenost objektů na základě odrazu vysílané elektromagnetické energie, ale místo rádiových vln využívá pulzní laserové světlo. Lidar se obvykle skládá ze tří hlavních součástí: laserového zdroje, skeneru a detektoru. Laserový zdroj vysílá úzké světelné paprsky, často v blízkosti infračerveného záření, dokud nenarazí na objekt, jako je strom, chodec nebo vozidlo. Paprsek se pak od objektu odrazí a vrátí se do systému lidarů, kde skener zachytí vracející se paprsek a směřuje vrácené ho do detektoru, který zjišťuje dobu, za kterou se paprsek vrátí. Skener je často tvořen otočným zrcátkem nebo mikro-elektromechanickým systémem (MEMS). Lidary uvolňují tisíce nebo dokonce miliony impulsů za sekundu a vzniká tak obrovské množství dat, která se následně využívají k vytvoření velmi přesné a podrobné 3D mapy okolí (viz obr. 11). Rozlišení mapy a dosah systému je určen počtem vysílaných pulzů, frekvencí laseru a citlivostí detektoru. Kromě toho mohou být lidary vybaveny sofistikovanými algoritmy zpracování signálu a filtračními technikami, které eliminují šum a rušení způsobené nepříznivými podmínkami prostředí, což z nich činí výkonný nástroj pro širokou škálu systémů ADAS, jako je adaptivní tempomat, asistence nouzového brzdění či také může pomáhat při parkování a sledování slepých úhlů při změně pruhu. [18] [19] [20]

Obrázek 11 Příklad vizualizace nezpracovaných dat z lidarů ve 3D prostoru [19]



## Výhody a nevýhody lidarů

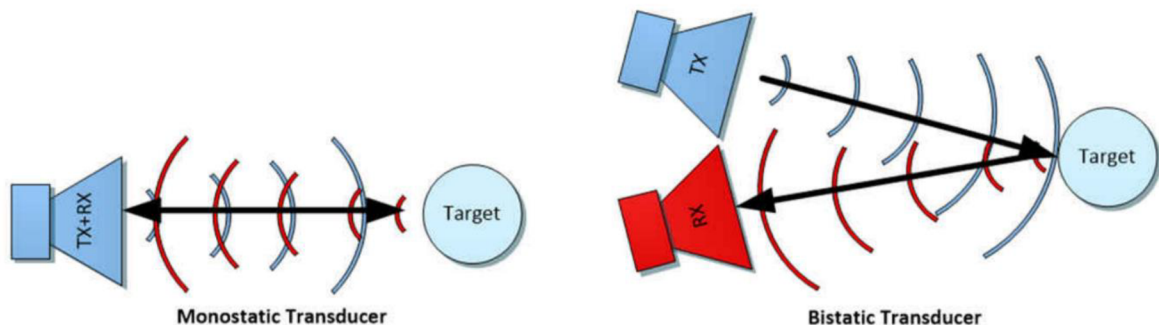
Vysoká přesnost a rozlišení spolu s relativně velkým dosahem činí lidar ideálním řešením pro 3D mapování okolí. Kratší vlnová délka světla, obvykle v rozmezí 700-1550 nanometrů, umožňuje lidarům detekovat menší objekty, oproti radarovým systémům, které pracují na mnohem delších vlnových délkách, obvykle v rozmezí centimetrů až metrů. Navzdory užitečnosti lidarů v automobilových systémech zůstává vysoká jednotková cena lidarových senzorů největší překážkou širšího rozšíření této technologie v sériově vyráběných vozidlech. Vyšší náklady lze přičíst několika faktorům, včetně potřeby vysoce přesných laserů, citlivých detektorů a vyšší nároky na výpočetní výkon. Kromě toho mohou celkovou složitost a cenu systému zvyšovat mechanické součásti potřebné pro proces skenování, jako jsou například rotující zrcadla.

Neustálý technologický pokrok a probíhající vývoj polovodičových lidarů (tj. lidarů, které se nerotují a nemají žádné pohyblivé části) však slibuje dosáhnout výrazného snížení nákladů na snímače a jejich velikosti. Protože se laserové paprsky odrážejí i od malých částic, jako je mlha a prach, jsou lidary citlivější na prostředí a za špatného počasí generují více "šumu" než jejich radarové protějšky. Proto je zabudování lidarových senzorů do vozidel složitější než u radarů. Filtrační algoritmy sice mohou někdy pomoci snížit rušení způsobené sněhovými vločkami nebo dešťovými kapkami, ale jsou mnohem méně účinné, pokud jsou laserové pulzy blokovány prachem, ledem nebo sněhem na povrchu samotného senzoru. [18] [20] [21]

### 3.2.1.3 Ultrazvukové senzory

Ultrazvuk je termín používaný k označení zvukových vln, které se nacházejí mimo rozsah slyšitelnosti lidského ucha, tj. mají frekvenci vyšší než 20 kHz. Ultrazvukové senzory využívají akustické vlny k detekci blízkých objektů, podobně jako netopýři využívají echolokaci k manévrování ve tmě a detekci kořisti. Ultrazvukové senzory mohou měřit vzdálenost a zjišťovat přítomnost objektů vypočtením časového intervalu mezi vysláním pulzu a přijetím odrazu zvukových vln. V závislosti na vlastnostech senzoru a objektu je účinný dosah od několika centimetrů až po několik metrů. Zvukové vlny jsou vysílány prostřednictvím piezoelektrického převodníku, který v monostatické konfiguraci může sloužit rovněž jako přijímač odraženého zvuku. U bistatických ultrazvukových senzorů jsou použity dva oddělené piezoelektrické převodníky, jeden funguje jako vysílač a druhý jako přijímač zvukových vln (viz obr. 12). Nicméně monostatická konfigurace je vhodnější pro systémy, kde je potřeba měřit na kratší vzdálenost a detekovat objekty v blízkosti vozidla, jako je parkovací asistent. Poskytuje tak pro systémy ADAS dostatečnou efektivitu a spolehlivost. Tyto senzory jsou také menší, což usnadňuje jeho umístění ve vozidlech, kde je omezený prostor a je důležitá jednoduchost konstrukce. [22]

Obrázek 12 Monostatické schéma (vlevo), bistatické schéma (vpravo) [22]



## **Výhody a nevýhody ultrazvukových senzorů**

Ultrazvukové senzory se díky své relativně přijatelné ceně obvykle používají jako levný prostředek pro detekci přítomnosti a polohy objektů v blízkosti vozidla, zejména v systémech parkovacího asistenta. Ultrazvuk funguje dobře ve většině situací, protože na něj nemá vliv většina povětrnostních podmínek. Přestože ultrazvukové senzory poskytují poměrně málo detailů, nejsou závislé na světle, což může být výhodou v případech, kdy by nedostatečné nebo příliš silné světlo mohlo přinést zavádějící výsledky. Fungují také v dešti, mlze a sněhu, pokud samotný snímač není pokrytý nečistotami, sněhem nebo ledem. Ve vnitřních prostorách, ve městě nebo v přeplněném prostředí nabízí jejich schopnost detekovat různé materiály bez ohledu na jejich tvar, průhlednost nebo barvu. Jediným požadavkem pro ultrazvukové snímání je, aby cílový materiál byl pevný nebo kapalný. To umožňuje bezkontaktní detekci také nekovových materiálů. Naopak nepřesné výsledky nebo nefunkčnost může vykazovat v případech měkkých, zvuk pohlcujících materiálů nebo u šikmých hladkých ploch, kde se zvukové vlny neodrážejí zpět směrem k senzoru.

Při použití ultrazvukových senzorů je třeba řešit několik dalších problémů. Mohou být ovlivňovány vysokofrekvenčními zvuky z vnějšího okolí a mají obvykle nízké rozlišení, malý pracovní rozsah a vykazují omezenou funkčnost v situacích, kdy je vysoká rychlost větru nebo se vozidlo samo pohybuje vysokou rychlostí, což bývají přesně ty okamžiky, kdy je optimální výkon senzoru rozhodující. Ultrazvukové senzory proto vynikají, když se vozidlo pohybuje pomalu, díky čemuž jsou ideální pro couvání nebo vyjíždění z parkovacího místa. [22] [23] [24]

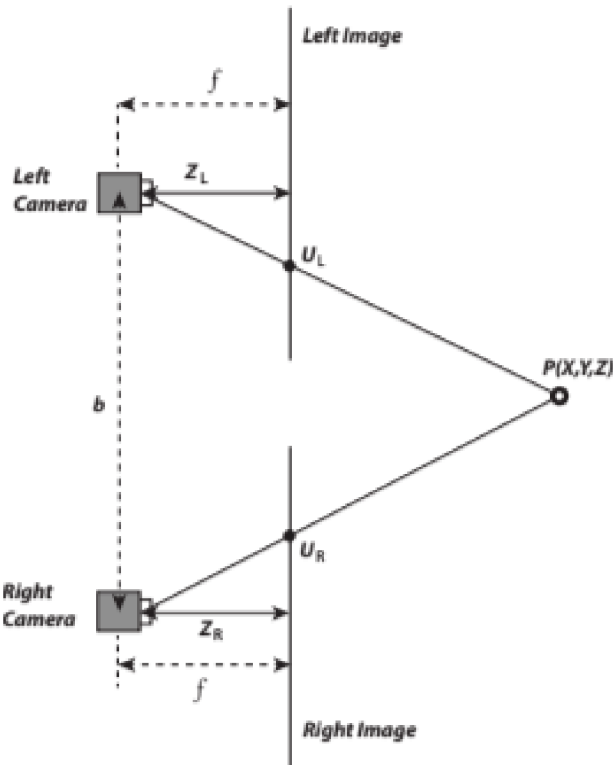
### 3.2.1.4 Kamery

V současné době se kamerová technologie používá nejen k poskytování živého proudu obrazu ze zadního pohledu, který pomáhá při parkování, ale také jako klíčový prostředek pro různé inovace ADAS, od detekce jízdních pruhů v reálném čase, rozpoznávání objektů a komplexního vnímání hloubky, díky čemuž jsou nepostradatelné pro bezpečnost a efektivitu provozu. Kamery jsou na rozdíl od lidarů, radarů nebo ultrazvukových senzorů pasivní senzory. Pasivně přijímají světelné vlny a aktivně nevysílají žádnou formu energie (výjimkou jsou kamery s měřením doby letu). Kamery se v zásadě skládají ze tří hlavních součástí: optiky, obrazového snímače a obrazového procesoru. Konstrukce objektivů a filtrů, které tvoří optiku kamery, závisí na zamýšleném použití. Kamery pro čelní pohled obvykle používají objektivy s dlouhým ohniskem a velkou clonou, aby kamera "viděla" co nejvíce v situacích s nízkým osvětlením, zatímco kamery pro boční a zadní pohled používají širokoúhlé objektivy s malou clonou, aby zachytily co nejvíce blízkých objektů v okolním prostředí. Obrazový snímač a obrazový procesor jsou zodpovědné za zachycení, filtrování a zpracování přijatých světelných vln do podoby digitálních nezpracovaných videoproudů. Některé inteligentní kamerové systémy jsou rovněž vybaveny výkonným digitálním signálovým procesorem, který provádí detekci objektů v reálném čase, rozpoznávání značek, detekci jízdních pruhů a další úlohy a přenáší seznamy detekovaných objektů jako samostatné sběrníkové zprávy. [16] [25]

Stereokamery jsou v podstatě dvě monokamery směřující stejným směrem. Toto uspořádání má dva samostatné vstupní videoproudy, jeden pro levou kameru a druhý pro pravou, což lze využít k určení hloubky a přesné polohy objektů v prostředí (viz obr. 13). Jednou z klíčových vlastností stereokamer je schopnost korespondenčního vyhledávání, které spočívá ve vyhledávání podobností v různých senzorech, aby se vytvořil souvislý obraz okolí. K tomu lze použít různé algoritmy. Algoritmy založené na zkoumání oblastí berou v úvahu malou oblast jednoho obrazu a hledají podobnou oblast v jiném obraze. Naproti tomu algoritmy založené na význačných bodech identifikují jedinečné rysy v každém snímku s cílem přiřadit společné body. Namísto výpočtu plochy lze výpočty provádět z mnohem menších identifikovatelných složek obrazu, včetně hran, rohů a čar.

Epipolární geometrii lze použít jako základ pro snížení složitosti hledání korespondence, pokud tedy existuje několik pixelů v jednom obraze, které odpovídají pixelům v druhém obraze, lze generovat pomocí epipolárních linií, což je proces, při kterém se objekt v pohledu jedné kamery promítá do obrazové roviny druhé kamery. Tato technika založená na význačných bodech umožňuje systému identifikovat podobnosti a kombinovat snímky. Podobný princip se používá k vytvoření prostorového zobrazení.

Obrázek 13 Geometrie hloubky ve stereokamerách [16]



Kamery s časem letu (TOF) jsou schopny zachytit celou 3D scénu z pevné pozice. K určení vzdálenosti signálů mají kamery TOF obvykle vedle objektivu připevněno fotonické směšovací zařízení. K určení vzdálenosti objektů se používá infračervený světelný zdroj založený na principu činnosti time-of-flight, který se používá v lidarech, radarech a ultrazvukových senzorech. Díky tomuto oddělenému měření vzdálenosti jsou výpočty vzdálenosti v TOF kamerách mnohem jednodušší než ve stereokamerách. Kamery mají ve vozidlech základní a technicky složité postavení, protože fungují jako primární senzory, které poskytují důležité vizuální údaje pro vnímání a navigační systémy. Jejich úloha přesahuje pouhé snímání obrazu a zahrnuje složité procesy počítačového vidění, které interpretují okolí s přesností na úrovni pixelů. [16]

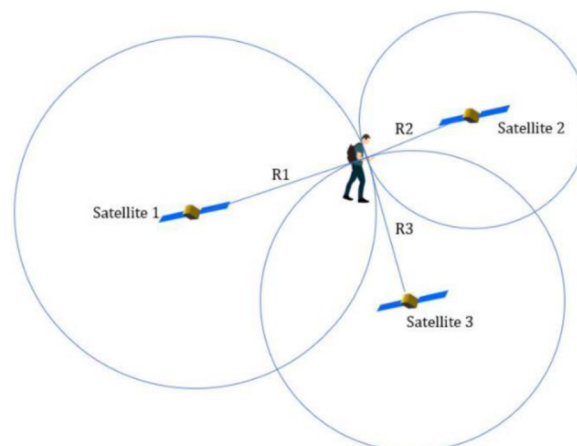
## Výhody a nevýhody kamer

V porovnání se senzory dosahu, jako jsou lidary, radary a ultrazvukové senzory, zachycují kamery širší škálu frekvencí, včetně barev. To umožňuje bohatší sémantickou interpretaci scén, včetně detekce jízdních pruhů, rozpoznávání dopravních značek. V některých případech může vizuální lokalizace pomocí kamer přinést lepší výsledky než lokalizace pomocí lidarů, například v situacích, kdy lze orientační body, jako jsou budovy, snáze rozlišit podle jejich textury než jen podle jejich struktury. Další výhodou je, že kamery mají obvykle nižší jednotkové náklady než radary a lidary. Technologie kamer je však citlivá na okolní světlo. Kamery nefungují dobře na přímém slunečním světle a jejich účinnost je také výrazně snížena ve špatně osvětleném prostředí. Negativní vliv mají také změny počasí, kdy silný déšť, sníh nebo mlha mohou způsobit nepoužitelnost obrazu z kamery. [16] [25] [26]

### 3.2.1.5 Globální navigační satelitní systém

GNSS, neboli globální navigační satelitní systém, je technologie, která umožňuje určení polohy vozidla na zemském povrchu s vysokou přesností pomocí rádiových vln vysílané družicemi. Jedná se o obecný termín, který označuje všeobecně síť družic určený pro navigaci a určování polohy na Zemi. Nejznámějším představitelem je GPS provozovaná americkou vládou, konkrétně americkým letectvem (United States Air Force). Mezi další systémy patří ruský GLONASS, evropský Galileo či čínský BeiDou, přičemž moderní přijímače často podporují více systémů současně, což uživatelům umožňuje využívat signály z různých satelitů bez ohledu na jejich původ. To vede k lepší přesnosti, spolehlivosti a dostupnosti signálu v různých podmínkách a na různých místech. Družice obíhají kolem Země a vysílají signály, které obsahují informace o jejich polohách a přesném čase. Poloha přijímače GNSS umístěného ve vozidle se vypočítává na základě matematického principu zvaného trilaterace (viz obr. 14). [27]

Obrázek 14 Trilaterace [29]



Když má přijímač čtyři nebo více použitelných signálů z alespoň čtyř z těchto satelitů, může vypočítat svou polohu. Pokud má přijímač GNSS vestavěné atomové hodiny, jsou zapotřebí pouze tři družice. První dva satelity poskytují informace, které pomáhají při určování polohy z hlediska zeměpisné šířky a délky. Třetí satelit přidává možnost vypočítat nadmořskou výšku, což umožňuje určit trojrozměrnou polohu. Čtvrtý satelit se používá k opravě jakýchkoli časových nesrovnalostí mezi hodinami v přijímači GNSS a atomovými hodinami na satelitech. Tato korekce je zásadní pro přesnost, protože systém spoléhá na extrémně přesné časování. Snadno dostupná satelitní navigace s globálním pokrytím dala vzniknout několika klíčovým inovacím, včetně systémů ADAS. Za pomoci digitální mapy a palubního počítače se vozidla mohou automaticky lokalizovat na globální mapě, vypočítat trasy a navigovat řidiče do zvoleného cíle. V současné době řidiči využívají služeb dopravních informací v reálném čase, jako jsou například Google Maps, které řidičům poskytují okamžité aktualizace alternativních tras a pomáhají jim vyhnout se kolonám mnoho kilometrů před nimi. [28] [29] [30]

### **Výhody a nevýhody globálního navigačního satelitního systému**

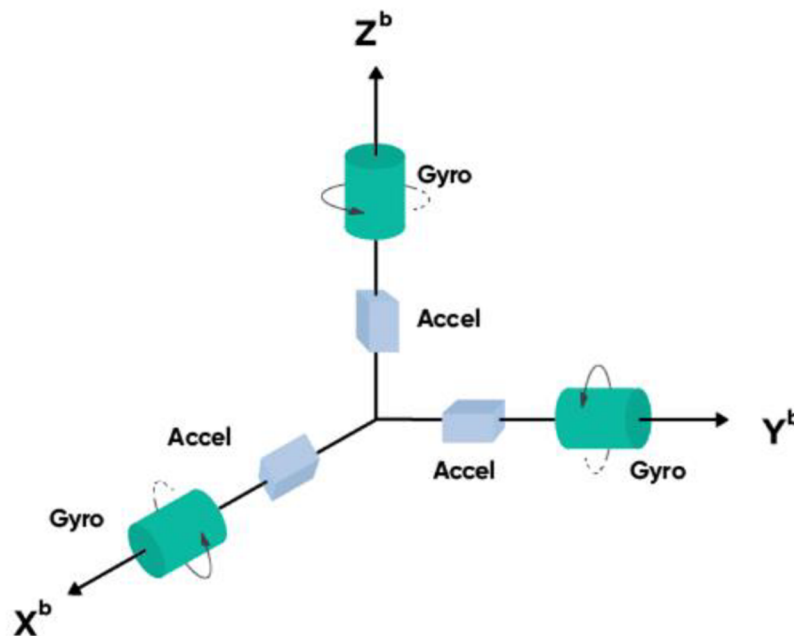
System GNSS s globálním pokrytím, jako je GPS nebo Galileo, lze použít k určení polohy přijímače kdekoli na povrchu Země a doplňuje vizuální a lokalizační senzory tím, že poskytuje zdroj absolutního určení polohy, nezávislý na relativních polohových senzorech. Přijímače GNSS se staly běžnými a cenově dostupnými a díky jejich všudypřítomnému použití v moderních chytrých telefonech jsou nyní dostupné téměř kdekoli. Hlavním omezením určování polohy na základě GNSS je, že pro spolehlivou funkci je nutná přímá viditelnost mezi přijímačem a satelity. To znamená, že určování polohy pomocí GNSS funguje nejlépe v otevřených prostorech s volným výhledem a vůbec nefunguje ve vnitřních prostorech, jako jsou garáže a tunely. Ve městech s těsně postavenými vysokými budovami může dojít k zhoršení signálu díky vícecestnému rozptylu, kdy se signál odráží od okolních objektů a přijímač ho zachytává z různých směrů, což snižuje přesnost polohování. Dalším problémem je, že veřejně dostupný systém GPS dosahuje přesnosti určení polohy pouze přibližně 2 až 5 metrů, což nemusí být pro některé aplikace dostatečně přesné. Přesnost lze zlepšit technologiemi jako diferenciální GPS (DGPS) nebo real-time kinematický GPS (RTK GPS), které ale vyžadují speciální základnové stanice a jsou tak dostupné pouze v některých oblastech světa. [31] [32] [33]



### 3.2.1.6 Inerciální měřicí jednotky

Pro systémy ADAS je nezbytné, aby mělo neustále přesné informace o poloze vozidla v reálném čase při jakýchkoli změnách prostředí. Vozidla musí být schopna určit, kde se nacházejí a kam jedou, jakož i v situacích, kdy je signál GNSS ztracen nebo narušen. Inerciální měřicí jednotky (IMU) je schopna měřit pohyb převáděním detekované setrvačnosti, což jsou síly vzniklé v důsledku odporu objektu vůči změně směru, na výstupní data, která popisují pohyb objektu. IMU se obvykle skládá ze tří gyroskopů a tří akcelerometrů, které zajišťují možnost odhadu polohy v šesti stupních volnosti. Snímače akcelerometru měří lineární podélné zrychlení ve třech ortogonálních osách (x, y, z). Integrací zrychlení v čase se získá rychlost a integrací rychlosti v čase se změní poloha. Snímače gyroskopu pak indikují úhlové zrychlení neboli rychlost otáčení kolem každé z os, čímž zjišťují náklon, sklon a odklon vozidla (viz obr. 15). Některé modely obsahují také tři magnetometry, které umožňují odhad polohy v devíti stupních, což zlepšuje celkovou přesnost a spolehlivost IMU. Magnetometry měří magnetické pole Země a umožňují IMU určit svůj směr vzhledem k magnetickému severu. Data z IMU se spojují s GNSS a dalšími detekčními systémy, aby se vyplnily mezery mezi aktualizacemi GNSS a aby bylo možné bezpečně navigovat vozidlo po krátkou dobu, kdy jsou GNSS a jiné senzory narušeny. [34] [35]

Obrázek 15 Akcelerometry a gyroskopy zobrazené ve třech ortogonálních osách [35]



Mezi osvědčené a spolehlivé technologie IMU patří mechanické, prstencové laserové gyroskopy (RLG) nebo vláknové optické gyroskopy (FOG). Z důvodu větších rozměrů a zejména vyšší nákladovosti jsou tyto technologie pro komerční aplikace do vozidel ve větších objemech neúnosná. Pokroky v oblasti senzorů IMU s mikro-elektromechanickým systémem (MEMS) a pokroky v algoritmech fúze senzorů snižují rozdíly ve výkonnosti a jsou příslibem dosažení cenové dostupnosti potřebné pro rozsáhlé nasazení a jejich následné využití v systémech ADAS a navigačních systémech. [35] [36]

Akcelerometr MEMS je v podstatě hmota zavěšená na pružině, hmotnost se nazývá zkušební hmota a směr, kterým se hmota může pohybovat, se nazývá osa citlivosti. Pokud je akcelerometr vystaven lineárnímu zrychlení podél osy citlivosti, zrychlení způsobí posun zkušebního tělesa na jednu stranu, přičemž velikost výchylky je úměrná zrychlení. MEMS gyroskopy měří úhlovou rychlost pomocí teorie Coriolisova jevu, který označuje sílu setrvačnosti, jež působí na pohybující se objekty vzhledem k rotujícímu rámci. Na těleso zavěšené na pružinách působí hnací síla v ose  $x$ , která způsobuje jeho rychlé kmitání ve směru této osy. Při pohybu se uplatňuje úhlová rychlost  $\omega$  kolem osy  $z$ . V důsledku Coriolisovy síly tak na těleso působí síla v ose  $y$  a měří se výsledný posun. Ačkoli existuje mnoho různých typů magnetometrů, většina magnetometrů MEMS se při měření okolního magnetického pole spoléhá na magnetorezistenci. Magnetorezistivní magnetometry mění odpor v důsledku změn magnetického pole. [37]

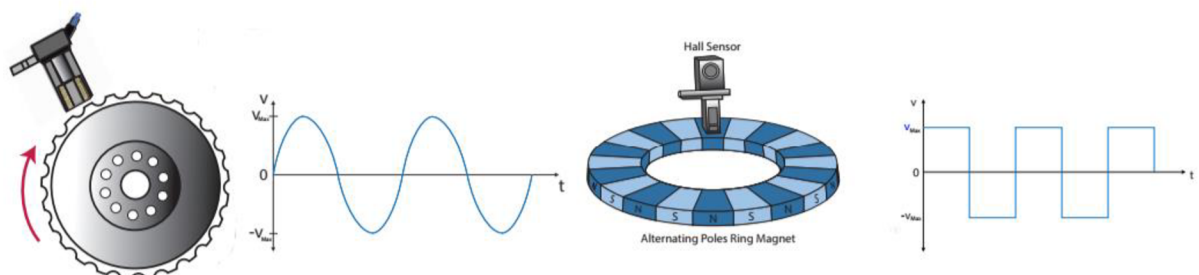
## Výhody a nevýhody inerciálních měřících jednotek

IMU jsou pasivní senzory určené ke snímání parametrů pozice vozidla, které lze monitorovat nezávisle na okolních podmínkách, jako je gravitační pole Země a magnetické pole. Netrpí vícecestnými efekty ani degradací signálu v městských kaňonech nebo na lesních cestách. Díky této vlastnosti je jejich využití ideální v prostředích, kde jiné typy senzorů mohou selhávat, například kvůli vícecestnému šíření signálu nebo ztrátě signálu v komplikovaných městských nebo lesních prostředích. Informace poskytované těmito jednotkami jsou pro vozidla zásadní, neboť na nich mohou spolehlivě stavět navigační systémy a řízení bez ohledu na okolní podmínky. Tato vysoká úroveň dostupnosti však neznamená, že IMU jsou bez chyb. Typické problémy, které mohou ovlivnit přesnost IMU, zahrnují šum, drift (posun), a chyby v měřítku, které vedou k akumulaci chyb v čase. Pro minimalizaci těchto nepřesností a zlepšení celkové přesnosti měření se využívají různé algoritmy a techniky. Mezi ně patří především Kalmanův filtr, který je v oblasti zpracování signálů uznávaný pro svou schopnost efektivně odhadovat stav systému v reálném čase. Jeho aplikace umožňuje integraci dat získaných z akcelerometrů a gyroskopů, přičemž významně snižuje vliv šumu a jiných náhodných chyb. Je obzvláště užitečný pro odhad polohy a rychlosti zařízení, přičemž kompenzuje chyby gyroskopů, které jsou k tomu nejvíce náchylné. [34] [38] [39]

### 3.2.1.7 Odometrické senzory

Odometrické senzory neboli počítadla ujeté vzdálenosti jsou speciální snímače určené k měření ujeté vzdálenosti vozidla vynásobením počtu otáček kola obvodem pneumatiky. Existují dvě základní kategorie odometrických snímačů: aktivní a pasivní (viz obr. 16). Aktivní snímače vyžadují pro svůj provoz externí zdroj energie, zatímco pasivní snímače jsou energeticky nezávislé. V automobilovém sektoru se odometrické funkce obvykle implementují prostřednictvím snímačů otáček kol, jež poskytují informace o rychlosti otáčení kol a umožňují tak určení ujeté vzdálenosti jednotlivými koly. Tyto informace jsou klíčové pro správnou funkci standardních bezpečnostních systémů, jako je například protiblokovací brzdový systém (ABS), který je významně závislý na přesných údajích o rychlosti kol.

Obrázek 16 Vlevo pasivní a vpravo aktivní odometrický senzor [16]



Pasivní snímače využívají princip synchronního otáčení pulzního kola s monitorovaným kolem. Alternace zubů a mezery na pulzním kole generuje změny v magnetickém toku mezi cívkou a permanentním magnetem, což je zaznamenáno jako změny ve střídavém napětí. Tento jev je využit pro určení rychlosti. Na rozdíl od pasivních snímačů, aktivní snímače rychlosti kol pracují na principu detekce střídavých magnetických polí, která jsou generována speciálně navrženým prstencem s alternujícími magnetickými póly. Detekce těchto změn probíhá pomocí magnetorezistivních či Hallových senzorů, které převádějí zaznamenané změny na pulzně šířkově modulované signály. Klíčovým rozdílem oproti pasivním snímačům je, že aktivní snímače vyžadují pro svůj provoz externí zdroj energie dodávaný řídicí jednotkou vozidla. [16]

### **Výhody a nevýhody odometrických senzorů**

Odometrické snímače představují cenově dostupné zařízení schopné poskytovat přesné údaje o ujeté vzdálenosti vozidla. Zejména moderní aktivní odometrické snímače se vyznačují schopností detekovat rychlost vozidla již od velmi nízkých hodnot, konkrétně od 0,1 km/h, přičemž jsou značně rezistentní vůči vibracím a teplotním rozdílům. Přesto však tyto snímače čelí problému kumulace chyb v průběhu času, které mohou být způsobeny řadou faktorů, včetně driftu vozidla, prokluzu kol, nerovnosti povrchu a dalšími proměnnými. Tato skutečnost může vést k poklesu přesnosti snímačů při měření na dlouhé vzdálenosti. Vzhledem k těmto omezením se údaje získané z odometrických snímačů často kombinují s informacemi získanými z jiných zdrojů, jako jsou systémy globálního navigačního satelitního systému (GNSS) a inerciální měřicí jednotky (IMU), aby se zvýšila celková přesnost určení polohy vozidla. Tento přístup umožňuje použití pokročilých algoritmů, jako je Kalmanův filtr, pro optimalizaci a korekci dat, čímž se dosahuje vysoké úrovně přesnosti v určení polohy. [16]

## **3.2.2 Výpočetní platforma**

Senzory popsané v předchozí části jsou očima a ušima vozidla, tedy technologií, která mu umožňuje vnímat okolí. Výpočetní platforma je mozkiem, který všechna tato data zpracovává a v reálném čase spojuje informace ze senzorů, aby vytvořil obraz o svém okolí. Jakmile výpočetní platforma pochopí, co se děje v okolí vozidla, může přijímat rozhodnutí a vysílat pokyny do rozhraní akčních členů, aby provedl jakýkoli potřebný pohyb. Tento proces vnímání, rozhodování a působení tvoří základ pro automatizovanou navigaci.

## **Klíčové úvahy**

Vytvoření robustního a vysoce přesného 3D obrazu okolí vozidla a jeho polohy je nezbytné pro bezpečné a spolehlivé fungování pokročilých asistenčních systémů. Při návrhu nebo výběru výpočetní platformy pro vozidla by se mělo zvážit několik klíčových aspektů, aby bylo zajištěno, že platforma bude vyhovovat potřebám moderních vozidel a splní očekávání jak výrobců, tak uživatelů.

### **- Rychlost zpracování dat**

Senzory generují velké objemy dat, která musí být zpracována v reálném čase. Proto je zásadní zajistit dostatečnou kapacitu pro přenos dat, která je přímo úměrná počtu nasazených kamer, lidarů, radarů a dalších senzorů ve vozidle. Všechna tato data je třeba nejen zachytit a zpracovat, ale představují také značný problém, pokud jde o jejich ukládání. Přístup k uloženým nezpracovaným datům ze snímačů je nezbytnou součástí diagnostiky poruch a dalších funkcí, takže jak řadič úložiště, tak samotná úložná zařízení (HDD nebo SSD) musí být navrženy tak, aby zvládaly tyto vysoké rychlosti přenosu dat, aby nedocházelo k vytváření úzkých míst, tzn. omezený průtok dat, který snižuje celkovou výkonnost nebo efektivitu přenosu.

### **- Výpočetní výkon**

Kromě současného zpracování obrovského množství dat musí mít výpočetní platforma také dostatečný výpočetní výkon, aby mohla v každé situaci učinit správná rozhodnutí. Několik milisekund zpoždění může mít vážné následky, proto je téměř nulová latence nezbytností. Například při rychlosti 90 km/h urazí vozidlo každou sekundu 25 metrů. Pokud by tedy při nutnosti nouzového brzdění jelo vozidlo rychlostí 90 km/h a zareaguje o jednu sekundu později, celková brzdná dráha je o 25 metrů delší, než by měla být. Takovéto zpoždění může znamenat rozdíl mezi úspěšným zastavením a tragickou nehodou. [16]

### **- Spotřeba energie**

Vzhledem k očekávanému přechodu na elektrická vozidla je zásadní, že maximální dojezd těchto vozidel závisí na celkové spotřebě energie, což zahrnuje nejen hnací ústrojí, ale i všechny elektronické komponenty. Aby se předešlo nadměrnému vybíjení baterie, je nezbytné, aby vývojáři navrhli výpočetní platformy, které kombinují vysokou energetickou efektivitu s robustním výpočetním výkonem. Tato optimalizace je klíčová pro prodloužení dojezdu elektromobilů a zajištění jejich efektivního a ekonomického provozu. [16] [40]

## - Spolehlivost

Aby bylo zajištěno, že vozidlo může bezpečně fungovat ve všech možných zeměpisných lokalitách a klimatických podmínkách, včetně v prostředí extrémních teplot - musí výpočetní platforma splňovat standardy pro automobilový průmysl; například rozsah provozních teplot od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Výpočetní platforma a její hardwarové komponenty musí být také dostatečně robustní, aby odolávaly mechanickým vibracím, což je další klíčový faktor pro udržení funkčnosti a spolehlivosti v náročných podmínkách. [16]

### 3.2.3 Rozhraní akčních

Rozhraní akčních členů je zodpovědné za převod příkazů vozidla vydaných výpočetní platformou na skutečný fyzický pohyb vozidla. Pokud se například výpočetní platforma rozhodne natočit úhel řízení o tři stupně doleva, rozhraní akčních členů zaručuje, že všechny související nízkourovňové instrukce pro modul řízení jsou provedeny s přesností a v požadovaném časovém rámci, aby se úhel řízení opravdu změnil o přesně tři stupně doleva. Rozmanitost konkrétních nízkourovňových ovládacích prvků, které jsou potřebné k realizaci tohoto příkazu, se může lišit v závislosti na specifikách jednotlivých vozidel. Rozhraní akčních členů tedy funguje jako abstrakční vrstva nezávislá na vozidle, která umožňuje jednotnou interakci s různými hardwarovými komponentami nebo ovládacími systémy vozidel bez nutnosti přímé interakce s konkrétními nízkourovňovými ovládacími prvky každého vozidla. Tato vrstva slouží jako univerzální rozhraní mezi výpočetní platformou vozidla a jeho fyzickými mechanismy, což vývojářům umožňuje implementovat funkce řízení a kontrolu pohybu vozidla bez nutnosti detailní znalosti o specifických hardwarových komponentách použitých v každém vozidle. Tímto způsobem může výpočetní platforma vozidla efektivně řídit různé aspekty jeho pohybu, jako je směr řízení, akcelerace či brzdění, bez potřeby přizpůsobování se konkrétnímu hardwarovému nastavení každého modelu vozidla. [16]

### 3.2.3.1 Systém Drive-by-wire

Drive-by-wire technologie začíná postupně pronikat do automobilového průmyslu, zejména v elektrifikovaných vozidel a vozidel s pokročilými asistenčními systémy řidiče (ADAS). Tato inovativní technologie slibuje revoluci ve vývoji vozidel, která by byla bezpečnější, efektivnější a inteligentnější díky nahrazení konvenčních mechanických a hydraulických řídicích mechanismů elektronickými signály. Takováto změna umožňuje přímou elektronickou kontrolu nad klíčovými funkcemi vozidla, včetně řízení, brzdění a akcelerace. Systémy drive-by-wire mohou zvýšit bezpečnost vozidel, ať už je budou využívat budoucí autonomní vozidla nebo auta s řidiči. V roce 2021 představila společnost Brembo modulární brake-by-wire systém pojmenovaný Sensify, který umožňuje podstatně přesnější kontrolu nad brzdným tlakem díky nezávislé regulaci brzdné síly na každém kole, což přináší dle jejich slov výhody v podobě nižších emisí, zlepšeného výkonu a zajištění maximální bezpečnosti.

Automobily vybavené systémem ADAS nebo technologií pro omezené autonomní řízení jsou schopné detekovat stav silnice a povětrnostní podmínky, což drive-by-wire systémy mohou využívat k adaptaci řídicích vstupů za účelem předcházení potenciálním nehodám. Díky rychlé reakční schopnosti výpočetní platformy vozidla, která je významně rychlejší než u lidského řidiče, může ADAS efektivně zpracovávat rozhodnutí a komunikovat s fyzickými komponenty vozidla. Pro rozvoj autonomních vozidel je zásadní drive-by-wire systém, který umožňuje softwaru vozidla přímé rozhodování o směru a rychlosti jízdy. Prozatímní systémy, které jsou navrženy s redundantními bezpečnostními zálohami. V případě brake-by-wire systému je zachováno fyzické propojení mezi pedálem a brzdami. V momentě, kdyby selhal elektronický systém, aktivuje se ventil, který přeměruje brzdou sílu zpět do tradičního hydraulického brzdového systému. [41]

### 3.2.4 Komunikační síť ve vozidlech

Pokud jsou senzory očima a ušima vozidla a výpočetní platforma jeho mozkiem, pak je síť ve vozidle jeho centrálním nervovým systémem. Komunikace mezi hardwarovými komponentami vozidla je zajištěna prostřednictvím rozličných typů komunikačních sítí, přičemž výběr konkrétního typu je determinován sestavou senzorů a řídicích jednotek vozidla. Každý senzor se vyznačuje specifickými parametry, jako jsou rychlost přenosu dat a komunikační protokol, což vyžaduje flexibilitu v konfiguraci síťové infrastruktury. Tento trend směřuje k evoluci od decentralizovaných k více centralizovaným síťovým architekturám, což odráží rostoucí komplexitu a diverzitu senzorických systémů. Vzhledem k široké paletě dostupných senzorů je pravděpodobné, že výpočetní platforma vozidla bude muset integrovat více síťových systémů, jako jsou například Controller Area Network (CAN) a Ethernet, aby bylo možné efektivně spravovat a koordinovat výměnu dat mezi různými komponentami vozidla. Porovnání nejběžnějších síťových technologií v automobilovém průmyslu je zobrazeno na obrázku 17. [42] [43] [44]

Obrázek 17 Srovnání CAN a Ethernet sítí s jinými sběrnici pro vozidla [44]

	LIN	CAN	CAN FD	FLEXRAY	MOST	ETHERNET
<b>Speed</b>	10-20 kbps	1 Mbps	8 Mbps	10 Mbps	150 Mbps (shared)	100 Mbps (per node)
<b>Data size</b>	8 B	8B	64 B	254 B	370 B	1500 B
<b>Cabling</b>	Single wire	UTP*	UTP	UTP	UTP or fiber optic	UT
<b>Topology</b>	Bus	Bus	Bus / passive star	Bus / Star / Mixed	Ring	Star / Tree / Ring
<b>Where Used</b>	Sensors, Actuators (lights, mirrors, etc.)	Backbone, Body, Chassis, Powertrain	Body, Powertrain, Distributed Control, Chassis	High-performance powertrain, Backbone, Drive-by-wire, Chassis	Information & Entertainment Systems	Diagnostics, ECU Programming, Information & Entertainment
<b>Error Detection</b>	8-bit CRC	15-bit CRC	17 or 21-bit CRC	24-bit CRC	CRC	32-bit CRC
<b>Redundancy</b>	N/A	N/A	N/A	Yes	Yes	N/A
<b>Determinism</b>	N/A	N/A	N/A	Yes	Yes	Not inherent
<b>Cost</b>	\$	\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$	\$\$



### 3.2.4.1 Controller Area Network

Již 30 let patří sběrnice CAN (Controller Area Network) k nejběžnější typům síťové architektury v automobilovém průmyslu. Jde o základní komunikační protokol, používaný pro různé účely, od motorové řídicí jednotky (ECU) po systémy pro bezpečnostní pásy a airbagy. Jeho robustnost, spolehlivost a efektivita v komunikaci mezi různými komponenty vozidla z něj činí stálici v automobilovém průmyslu. S rostoucí konektivitou se vozidla mění v datová centra na kolech a sběrnice CAN má stále více funkcí. Technické vlastnosti sběrnice CAN ji učinily zvláště účinnou v prostředí vozidel, počínaje její vysokou tolerancí vůči šumu, kterou podporuje fyzická vrstva a protokol CAN. Kromě toho CAN podporuje nativní multicast a broadcast. Multicast je metoda, při které se data odesílají z jednoho zdroje k více specifickým příjemcům, zatímco broadcast znamená odesílání dat z jednoho zdroje všem příjemcům v síti. Dále poskytuje vestavěné priority rámců. Každý rámeček CAN má identifikátor, který určuje jeho prioritu, přičemž rámcům s nižšími identifikátory je dána vyšší priorita v síti a nabízí nedestruktivní řešení kolizí, který umožňuje rámcům s vyšší prioritou "vyhrát" přístup k médiu bez ztráty dat v případě kolize. CAN nevyžaduje centrální řídicí jednotku pro řízení přístupu k médiu, což znamená, že všechna zařízení v síti mohou rovnocenně komunikovat. Díky své robustnosti a efektivitě v řešení kolizí může CAN efektivně fungovat i na sběrnících měřících desítky metrů, což je ideální pro aplikace vyžadující delší kabeláž. Sběrnice CAN omezená na maximální rychlost přenosu dat 1 Mb/s se snaží držet krok s požadavky moderních vozidel, ale s přibývajícím počtem zařízení připojených na stejnou sběrnici výrazně klesá její výkon. Výrobci automobilů tento problém obcházejí tím, že do vozidel přidávají více sběrnic CAN. Spojení mezi těmito sběrnici jsou z hlediska usnadnění síťové komunikace dostatečná, ale bezpečnost je obvykle opomíjena, přestože zranitelnost připojených vozidel vůči kybernetickým útokům roste. Modernizované verze sběrnice CAN - včetně CAN-FD a CAN-XL - se snaží vylepšit základní verzi tím, že podporují větší propustnost (z 1 Mb/s u tradiční sběrnice CAN na 8 až 10 Mb/s u CAN-FD/XL), vyšší rychlost linek a větší velikosti rámců. Ačkoli tato vylepšení nepochybně zvýší robustnost a spolehlivost systému CAN, rostoucí propojenost a autonomie vozidel bude vyžadovat další průzkum alternativních technologií pro vývoj komunikačních sítí, které budou lépe odpovídat požadavkům moderních vozidel. [43] [44] [45]

### 3.2.4.2 Ethernet

Vzhledem k neustálému vývoji systémů ADAS, vyžadují tyto technologie pro své fungování stále větší šířku pásma. Tato potřeba rychlosti, vysoké odolnosti spolu s redukcí kabeláže a nízkou cenou ethernetového hardwaru je velkým faktorem, který podporuje Ethernet mezi výrobci automobilů. Ethernet tak nabízí další cestu k vybudování komunikační sítě pro vozidla, která splňuje moderní potřeby a bude stále více fungovat jako páteř automobilové sítě, jenž nabízí výkonnější, bezpečnější a efektivnější alternativu ke sběrnícím CAN pro zajištění dostatečné přenosové rychlosti pro lidary a další senzory, nezpracovaná data z kamer, data GPS, mapová data a ploché displeje s vyšším rozlišením. Navzdory zjevným výhodám a celosvětové oblibě se ethernet až do posledních let používal pouze pro diagnostické aplikace. Kvůli jeho náchylnosti k elektromagnetickému rušení, vysokofrekvenčnímu rušení a zejména nedostatku vlastní deterministické časové synchronizace, které nezaručuje přesně předpovědět časování přenosu dat v síti a může dojít k náhodným zpožděním. Nicméně, ve snaze vyřešit tyto omezení a umožnit využití Ethernetu i v aplikacích vyžadujících vysokou spolehlivost a deterministickou komunikaci, jsou vyvíjeny různé rozšíření a standardy jako je například Ethernet TSN (Time-Sensitive Networking), který je navržen tak, aby umožňoval deterministické zasílání zpráv ve standardním Ethernetu, za pomoci plánování a tvarování paketů, což je nezbytné pro aplikace ADAS. Ačkoli je Ethernet na vzestupu především proto, že splňuje potřeby, které sběrnice CAN neuspokojují tak snadno a efektivně, Ethernet CAN zcela nevytlačí a v mnoha vozidlech jej naopak doplní. [43] [44] [45]

## 4 Závěr

Výsledkem bakalářské práce je popis nejdůležitějších inteligentních systémů ve vozidlech, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) a základních hardwarových prvků umožňující funkci těchto systémů. Cílem bylo nejenom poskytnout přehled o fungování a přínosech těchto systémů pro zvýšení bezpečnosti a komfortu řízení, ale také zdůraznit rostoucí význam a složitost hardwarové infrastruktury, která je pro jejich provoz nezbytná. Práce systematicky rozdělila téma na dvě hlavní části. První část je zaměřená na samotné systémy ADAS a druhá část na hardwarové prvky, které tyto systémy podporují.

První část práce představila širokou škálu inteligentních systémů, které jsou v současné době implementovány do vozidel, jako je autonomní nouzové brzdění, adaptivní tempomat, či systémy pro udržování vozidla v jízdním pruhu. Systémy jsou popsány, z hlediska jak fungují, jaké typy senzorů využívají a jak přispívají k bezpečnosti a pohodlí řidičů a cestujících. Tyto technologie se neustále vyvíjí a jsou stále více přítomná v nových vozidlech, což naznačuje její rostoucí důležitost v automobilovém průmyslu.

Ve druhé části práce byla pozornost věnována hardwarovým komponentům, včetně typů senzorů, výpočetních platform, akčních členů a vozidlových sítí, které jsou nezbytné pro provoz těchto systémů. Popis exteroceptivních a propioceptivních senzorů ukázal, jak vozidla "vidí" a "cítí" své okolí, což je zásadní pro autonomní rozhodování a bezpečnou navigaci. Význam vysoce výkonných výpočetních platform a specializovaných procesorů byl zdůrazněn v kontextu zpracování velkých objemů dat v reálném čase, což je klíčové pro rychlou a spolehlivou reakci systémů ADAS. Jedním z klíčových aspektů je správný výběr optimální konfigurace hardwarových prvků pro vozidla, dle jejich jedinečných vlastností, výhod a nevýhod. S tím dále roste i význam redundance a fúze dat z různých senzorů pro zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti systémů ADAS. Redundance umožňuje systémům pokračovat ve fungování i v případě selhání jednoho nebo více senzorů, zatímco fúze dat z různých zdrojů zlepšuje přesnost a spolehlivost detekce a rozhodování systému.

Z popisu provedené v této práci vyplývá, že vývoj a integrace ADAS do vozidel není pouze trendem současné doby, ale představuje klíčový krok směrem k autonomním vozidlům budoucnosti. Výzkum v této oblasti bude klíčový pro řešení výzev a pro realizaci plného potenciálu těchto technologií. V budoucnu bude klíčové zkoumat nejen technické aspekty, jako je vývoj spolehlivějších senzorů a výpočetních jednotek a jejich algoritmů schopných zpracovávat obrovské množství dat v reálném čase, ale také otázky týkající se standardizace, interoperability a bezpečnosti dat. Důležitá bude také práce na vytváření právních a regulačních rámců, které umožní bezpečnou integraci inteligentních systémů do vozidel v silničním provozu, zatímco zároveň zajistí ochranu práv a bezpečnost všech účastníků dopravy.

Závěrem lze říct, že inteligentní systémy ve vozidlech a jejich hardwarové komponenty jsou na prahu revoluce v oblasti automobilového průmyslu. Jejich rozvoj a implementace přináší slibný potenciál pro zlepšení bezpečnosti silničního provozu, snížení počtu nehod, a zvýšení pohodlí a efektivity při řízení. Jak technologie postupuje, spolupráce mezi průmyslem, akademickou sférou a vládními institucemi bude nezbytná pro překonání technických a etických výzev a pro uvedení těchto inovací do praxe. Tato bakalářská práce představuje krok směrem k lepšímu pochopení a využití inteligentních systémů ve vozidlech, což je základní kámen pro budoucí pokrok v této dynamicky se vyvíjející oblasti.

## 5 Seznam použitých zdrojů

- [1] SEIFFERT, U. W., GONTER, M. Integrated Automotive Safety Handbook. Warrendale, Pennsylvania, USA: SAE International, 2013. ISBN 978-0-7680-6437-7.
- [2] SAJDL, Jan. Prediktivní adaptivní tempomat. Autolexicon.net [online]. © 2024 [cit. 2024-02-03]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/prediktivni-adaptivni-tempomat/>
- [3] SVATOŠ, Patrik. Systém, který může zachraňovat životy?. To je nouzové brzdění. Garáž.cz [online]. 6. 2. 2019 [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/system-ktery-muze-zachranovat-zivoty-to-je-nouzove-brzdeni-21001050>
- [4] Front Assist – Automatické nouzové brzdění. Šmucler.cz [online]. 16. 1. 2016 [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://www.smucler.cz/blog/front-assist-automaticke-nouzove-brzdeni-510.html>
- [5] VAVŘÍK, Jan. Bezpečnostní prvky a vision systémy vozidel. Doprovodný učební text [online]. Plzeň: ZČU v Plzni, 2010 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: [https://home.zcu.cz/~rcermak/opvk\\_cm/M\\_06.pdf](https://home.zcu.cz/~rcermak/opvk_cm/M_06.pdf)
- [6] Čtení dopravních značek. Garáž.cz [online]. © Seznam, a.s. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/tag/system-rozpoznavani-dopravnich-znacek-88899>
- [7] Lane Keeping Aid (LKA) - funkce. Volvocars.com [online]. 8. 6. 2023 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/cz/support/car/v60-cross-country/16w17/article/770b398955a72fb7c0a801e800461e4f>
- [8] NOVÁK, M. Jak funguje Lane Assist? Vysvětlíme vám vše o systému hlídání jízdních pruhů. Autohled.cz [online]. 20. 8. 2019 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/jak-funguje-lane-assist-vysvetlime-vam-vse-o-systemu-hlidani-jizdnich-pruhu/248>
- [9] VLK, František. Automobilová elektronika. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6462-3.
- [10] SVATOŠ, Patrik. Nesmysl, nebo pomocník: Jak funguje hlídání mrtvého úhlu?. Garáž.cz [online]. 8. 2. 2019 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/blbost-nebo-pomocnik-hlidani-mrtveho-uhlu-muze-davat-smysl-21001071>

- [11] SAJDL, Jan. BLIS (Blind Spot Information System). Autolexicon.net [online]. © 2024 [cit. 2024-02-04]. ISSN 1804-2554. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/blis-blind-spot-information-system/>
- [12] PLÍHAL, J., ŠUCHA, M. Systémy asistovaného parkování. Perner's Contacts, 12(1), 147–154. [online]. 21. 4. 2017 [cit. 2024-01-18]. Dostupné z: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/455/298>
- [13] SVATOŠ, Patrik. Parkovací asistent vyzrál a má co nabídnout. Jak funguje?. Garáž.cz [online]. 30. 1. 2019 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/parkovaci-asistent-vyzral-a-ma-co-nabidnout-jak-funguje-21000991>
- [14] WARGHUDE, N., R. ADAS-Types of Sensors 1.0. LinkedIn [online]. 10. 8. 2022 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/adas-types-sensors-10-neeta-deshmukh-warghude>
- [15] Asistenční systémy řidiče. standardland.cz [online]. © 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.standardland.cz/asistencni-systemy-ridice/i27?sources=30>
- [16] SJAFRIE, Hanky. Introduction To Self-Driving Vehicle Technology. Boca Raton, Florida, USA: Chapman and Hall/CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019. ISBN 978-0-367-32125-3.
- [17] BARTON, D., K. Radar System Analysis and Modeling. Boston, MA: Artech House, 2005. ISBN 978-1580536813.
- [18] LiDAR vs. Radar: What's the Difference?. JOUAV [online]. 5. 3. 2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.jouav.com/blog/lidar-vs-radar.html>
- [19] KILIÁN, Karel. Čím se LIDAR liší od radaru a jaká je jeho role v autonomních vozidlech. vtm.zive.cz [online]. 12. 10. 2018 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/cim-se-lidar-lisi-od-radaru-a-jaka-je-jeho-role-v-autonomnich-vozidlech/sc-870-a-195431/default.aspx>
- [20] HASSAN, Kauna. Lidar vs. Radar: Comprehensive Comparison and Analysis. Wevolver.com [online]. 1. 5. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/lidar-vs-radar-detection-tracking-and-imaging>
- [21] Will Automotive LiDAR Sensors Replace Traditional ADAS Technology?. Caradas.com [online]. 2. 12. 2020 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://caradas.com/adas-lidar-sensors/>

- [22] Toa, M., Whitehead, A. Ultrasonic Sensing Basics. Texas Instruments Incorporated, 2019. Application Note SLAA907D. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/an/slaa907d/slaa907d.pdf>.
- [23] Understanding Ultrasonic Sensors in Cars. caradas.com [online]. 2. 12. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://caradas.com/understanding-ultrasonic-sensors-in-cars/>
- [24] How Ultrasonic Sensors Work. MaxBotix [online]. 1. 3. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://maxbotix.com/blogs/blog/how-ultrasonic-sensors-work>
- [25] ADAS Cameras: How They Work and Why They Need Calibration. caradas.com [online]. 29. 3. 2022 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://caradas.com/adas-cameras/>
- [26] RADAR, LiDAR and Cameras Technologies for ADAS and Autonomous Vehicles. OnElectronTech [online]. 15. 12. 2019 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.onelectrontech.com/radar-lidar-and-cameras-technologies-for-adas-and-autonomous-vehicles/>
- [27] What are Global Navigation Satellite Systems?. HEXAGON [online]. © 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/what-are-global-navigation-satellite-systems-gnss>
- [28] ODOHUE, Daniel. How many satellites needed for GPS. Mapscaping [online]. 12. 12. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://mapscaping.com/how-many-satellites-needed-for-gps/>
- [29] BISWAS, Ipshita. Triangulation vs Trilateration vs Multilateration – for Indoor Positioning Systems. PathPartner [online]. 6. 6. 2019 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.pathpartnertech.com/triangulation-vs-trilateration-vs-multilateration-for-indoor-positioning-systems/>
- [30] Satellite Navigation - GPS - How It Works. Federal Aviation Administration (FAA) [online]. 24. 6. 2022 [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/howitworks)
- [31] GNSS and INS integration. HEXAGON [online]. © 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/autonomy/gnss-ins-integration>
- [32] Advantages of Sensor Fusion With GPS in ADAS Vehicles. TASKING [online]. 21. 10. 2017 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://resources.tasking.com/p/advantages-sensor-fusion-gps-adas-vehicles>

- [33] Survey of Autonomous Vehicle Tracking With GPS Navigation Systems. TASKING [online]. 18. 10. 2017 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://resources.tasking.com/p/survey-autonomous-vehicle-tracking-gps-navigation-systems>
- [34] FENNELLY, James. How can IMUs improve AV positioning accuracy and operational safety?. autonomousvehicleinternational.com [online]. 6. 2. 2021 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.autonomousvehicleinternational.com/features/how-can-imu-technology-improve-positioning-accuracy-and-operational-safety-for-avs.html>
- [35] Inertial Measurement Unit (IMU) – An Introduction. Advanced Navigation [online]. 8. 1. 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.advancednavigation.com/tech-articles/inertial-measurement-unit-imu-an-introduction/>
- [36] A Complete Guide to Inertial Measurement Unit (IMU). JOUAV [online]. 27. 11. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.jouav.com/blog/inertial-measurement-unit.html>
- [37] INERTIAL NAVIGATION PRIMER. vectornav.com [online]. © 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-primer/theory-of-operation/theory-mems>
- [38] WHAT IS AN INERTIAL MEASUREMENT UNIT?. vectornav.com [online]. © 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.vectornav.com/resources/inertial-navigation-articles/what-is-an-inertial-measurement-unit-imu>
- [39] FENNELLY, James. Inertial measurement unit sensors lower risk for autonomous vehicles. controleng.com [online]. 1. 2. 2023 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.controleng.com/articles/inertial-measurement-unit-sensors-lower-risk-for-autonomous-vehicles/>
- [40] Digital Auto Report: Osobních aut bude v roce 2035 jezdit více než dnes, velká většina bude elektrická, 7 % vozidel autonomních. PwC.cz [online]. 25. 10. 2023 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://blog.pwc.cz/automobily-v-roce-2035-podle-pwc>
- [41] BLANCO, Sebastian. How Drive-By-Wire Makes Cars Safer. Capital One [online]. 9. 3. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.capitalone.com/cars/learn/finding-the-right-car/how-drivebywire-makes-cars-safer/2153>
- [42] DE MEO, Luca. Cars of the future: more software than hardware?. Linkedin [online]. 9. 3. 2023 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/cars-future-more-software-than-hardware-luca-de-meo>



- [43] LIM, Maggie. Automotive Ethernet: The Future of In-Vehicle Networking. keysight.com [online]. 10. 6. 2021 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.keysight.com/blogs/en/tech/sim-des/2021/06/10/automotive-ethernet-the-future-of-in-vehicle-networking>
- [44] SMITH, G., M. What Is CAN Bus (Controller Area Network) and How It Compares to Other Vehicle Bus Networks. Dewesoft [online]. 13. 2. 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://dewesoft.com/blog/what-is-can-bus>
- [45] TESHLE, Dionis. What's the Difference Between CAN and Ethernet?. electronicdesign.com [online]. 2. 3. 2021 [cit. 2024-03-18] Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/markets/automation/article/21156161/guardknox-whats-the-difference-between-can-and-ethernet>

## 6 Seznam obrázků

Obrázek 1 Prediktivní tempomat [2] .....	4
Obrázek 2 Autonomní nouzové brzdění [3] .....	5
Obrázek 3 Dynamický asistent osvětlení [1] .....	6
Obrázek 4 Obraz z aktivního (vlevo) a pasivního (vpravo) systému [5] .....	7
Obrázek 5 Rozpoznávání dopravních značek [6] .....	8
Obrázek 6 Korekce směru pro udržení vozidla v jízdním pruhu [7] .....	9
Obrázek 7 Sledování mrtvého úhlu [11] .....	10
Obrázek 8 Analýza parkovacího místa [12] .....	11
Obrázek 9 Příklad konfigurace senzorů [16] .....	14
Obrázek 10 Pracovní úhel radaru pro dlouhý dosah (a) a krátký dosah (b) [16] .....	16
Obrázek 11 Příklad vizualizace nezpracovaných dat z lidarů ve 3D prostoru [19] .....	17
Obrázek 12 Monostatické schéma (vlevo), bistatické schéma (vpravo) [22] .....	19
Obrázek 13 Geometrie hloubky ve stereokamerách [16] .....	22
Obrázek 14 Trilaterace [29] .....	23
Obrázek 15 Akcelerometry a gyroskopy zobrazené ve třech ortogonálních osách [35] .....	25
Obrázek 16 Vlevo pasivní a vpravo aktivní odometrický senzor [16] .....	27
Obrázek 17 Srovnání CAN a Ethernet sítí s jinými sběrnými systémy pro vozidla [44] .....	32

## 7 Seznam použitých zkratek

- ABS: Anti-lock Braking System - Protiblokovací brzdový systém
- ACC: Adaptive Cruise Control - Adaptivní tempomat
- ADAS: Advanced Driver-Assistance System - Pokročilý asistenční systém řidiče
- AEB: Autonomous Emergency Braking - Autonomní nouzové brzdění
- AFS: Adaptive Front-lighting System - Adaptivní přední světlomety
- CAN: Controller Area Network - Síť pro komunikaci řídicích jednotek
- CAN-FD: Controller Area Network with Flexible Data-rate - Síť pro komunikaci s flexibilní přenosovou rychlostí
- CAN-XL: Controller Area Network Extra Long - Rozšířená síť pro komunikaci řídicích jednotek
- DGPS: Differential GPS - Diferenciální GPS
- ECU: Engine Control Unit - Řídicí jednotka motoru
- FOG: Fiber Optic Gyroscope - Vláknový optický gyroskop
- GLONASS: Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema - Globální navigační systém pomocí satelitů
- GNSS: Global Navigation Satellite System - Globální navigační satelitní systém
- GPS: Global Positioning System - Globální polohový systém
- HDD: Hard Disk Drive - Pevný disk
- IMU: Inertial Measurement Unit - Inerciální měřicí jednotka
- LDW: Lane Departure Warning - Varování před opuštěním jízdního pruhu
- LKA: Lane Keep Aid - Asistent udržování jízdního pruhu
- MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems - Mikro-elektromechanické systémy
- PAS: Parking Assistance System - Asistent parkování
- RLG: Ring Laser Gyroscope - Prstencový laserový gyroskop
- RTK GPS: Real-Time Kinematic GPS - Real-time kinematický GPS
- SSD: Solid State Drive - Disk SSD
- TOF: Time-of-Flight - Čas letu
- TSN: Time-Sensitive Networking - Časově citlivé sítě
- TSR: Traffic Sign Recognition - Rozpoznávání dopravních značek