

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**System snímání polohy řidiče automobilu**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2019/2020

### ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr MIESBAUER**  
Osobní číslo: **E17N0054P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**  
Téma práce: **System snímání polohy řidiče automobilu**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte přehled principů současných asistenčních systémů využívajících sledování řidiče.
2. Analyzujte možnosti snímání obrazu uvnitř automobilu a navrhnete vhodné řešení pro asistenční systém na principu vizuální informace.
3. Navrhnete a realizujete systém detekující polohu řidiče na základě obrazové informace z kamery.
4. Definujte a detekujte abnormální pozice řidiče.
5. Diskutujte možnosti zpětné vazby asistenčního systému pro řidiče.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Kutila, M.: Methods for Machine Vision Based Driver Monitoring Applications, Espoo: VTT. 159 p., 2006.
2. Craye, C.; Karray, F.: Driver distraction detection and recognition using RGB-D sensor. CoRR, vol. abs/1502.00250 (2015). <http://arxiv.org/abs/1502.00250>

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radek Holota, Ph.D.**  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



  
\_\_\_\_\_  
**Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev**  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na řešení snímání polohy řidiče k možnému využití jako asistenční služby do vozidla. Zabývá se různými možnostmi snímání polohy řidiče za pomoci kamerového systému.

Dále popisuje návrh kamerového systému, jeho možné uložení v automobilu a řeší případné problémy, které při používání takového systému mohou vzniknout. Je zde popsáno softwarové řešení této problematiky, které obsahuje vyhodnocení snímaného obrazu a rozeznání obličeje. Naměřená data slouží pro určení polohy hlavy a případné detekce abnormální pozice řidiče.

## **Klíčová slova**

Sledování řidiče, detekce obličeje, OpenCV, dlib, bezpečnost při řízení automobilu, kamera v automobilu, HOG

## **Abstract**

The master thesis is focused on the solution of sensing the driver's position for possible use as an assistance service in the vehicle. It deals with various options for sensing the driver's position using a camera system.

It also describes the design of the camera system, its possible storage in the car and solves any problems that may arise when using such a system. There is a description of a software solution to this problem, which includes the evaluation of the scanned image and face recognition. The measured data is used to determine the position of the head and possible detection of an abnormal driver's position.

## **Key words**

Drivermonitoring, face detection, OpenCV, dlib, safety driving, camera in the car, HOG

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

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

.....  
podpis

V Plzni dne 19.6.2020

Bc. Petr Miesbauer

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Radkovi Holotovi, Ph.D. za čas strávený konzultacemi, cenné profesionální rady a trpělivost při řešení problémů v průběhu vypracování této práce.

## Obsah

Úvod .....	10
Seznam symbolů a zkratk .....	11
1 Asistenční služby.....	12
1.1 Metody měření a detekce .....	12
1.1.1 Vizualní a behaviorální metody.....	13
1.1.2 Subjektivní metoda .....	15
1.1.3 Fyziologická metoda .....	15
1.1.4 Hybridní metody.....	17
1.2 Nepozornost řidiče .....	17
1.3 Ospalost řidiče .....	19
1.4 Zpětná vazba asistenčních systémů .....	20
2 Snímání obrazu uvnitř vozidla .....	21
2.1 Kamerové senzory .....	22
2.1.1 Kamera („konveční“)... ..	22
2.1.2 Infračervené kamery (IR) .....	23
2.2 Počítačové vidění a strojové učení.....	24
2.2.1 Neuronové sítě.....	25
2.2.2 Adaptive Boosting (AdaBoost) .....	26
2.2.3 Metoda podpůrných vektorů (SVM) .....	26
2.3 Výzvy a praktické aspekty .....	27
2.3.1 Sběr dat.....	28
2.3.2 Požadavky na výkon.....	29
2.4 Přehled existujících systémů.....	30
2.4.1 Výrobci automobilů.....	30
3 Detekce obličeje a metodiky měření .....	33
3.1 Histogram orientovaných gradientů (HOG) .....	34
3.2 Rozlišení intenzity světla .....	34
3.3 Textura .....	36
3.4 Vlastní oblasti (Eigenfaces) .....	37
3.5 Infračervená (IR) citlivost.....	37
4 Návrh a realizace snímání polohy řidiče .....	38
4.1 Kamerový systém .....	39
4.1.1 Umístění snímací kamery .....	40
4.2 Aplikace pro zpracování obrazu .....	41
4.2.1 Odhad polohy hlavy pomocí (x, y) souřadnic .....	46
4.2.2 Odhad pomocí převodu do 3D souřadnic .....	48



4.3	Analýza a vyhodnocení naměřených výsledků.....	52
4.4	Detekce abnormální pozice řidiče.....	52
4.4.1	Detekce nepozornosti .....	53
4.4.2	Detekce ospalosti.....	55
4.5	Testovací jízdy.....	59
	Závěr.....	61
	Zdroje .....	62
	Přílohy .....	65

## Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na snímání polohy řidiče a případné detekce abnormální pozice. Hlavním úkolem při zavádění těchto systémů je co nejvíce snížit dopravní nehody způsobené nepozorností, nebo ospalostí řidiče. Těmto dvěma kategoriím je v současné době připisováno více než 30% úmrtí způsobené na silnicích, proto je to jedno z velmi řešených témat.

Následné kapitoly jsou zaměřeny na vývoj a realizaci systému monitorujícího řidiče v průběhu jízdy automobilem. Na základě obrazové informace je vyhodnocena poloha hlavy, která může být dále zpracována podle stávajících okolních podmínek. Teoretická část se zabývá možnostmi asistenčních služeb, které využívají sledování řidiče a jejich možné zpětné vazby, do kterých patří různé podpůrné systémy s technologickými možnostmi pro monitorování. Na základě možností popsaných v teoretické části je v následující kapitole vybrán systém pro samotnou realizaci, včetně návrhu a realizace softwaru k použitému hardwaru. Naměřená data jsou analyzována v programu MATLAB a z této analýzy jsou vytvořeny grafické znázornění naměřených hodnot.

## Seznam symbolů a zkratek

AI.....	(z angl. Artificial intelligence)	Umělá inteligence
ADAS .....	(z angl. Advanced driver-assistance systems)	Pokročilé asistenční systémy
CCD .....	(z angl. Charge-Coupled Device)	
CMOS.....	(z angl. Complementary MetalOxide Semiconductor)	
CV.....	(z angl. Computer vision)	Počítačové vidění
EEG .....	elektroencefalogram (přístroj elektroencefalograf)	
EOG .....	elektrookulogram (přístroj elektrookulograf)	
EKG .....	elektrokardiogram (přístroj elektrokardiograf)	
HOG .....	Histogram orientovaných gradientů	
IR .....	(z angl. Infrared)	Infračervené záření
LBP.....	(z angl. Local Binary Pattern)	Lokální binární vzor
NIR .....	(z angl. Near infrared)	Blízký infračervenému záření
PSO.....		Poměr stran oka

# 1 Asistenční služby

Automobilový průmysl se čím dál více věnuje tématu asistenčních služeb využívajících sledování řidiče, což naznačuje i množství investic zdrojů a mnoho let vývoje. V posledních letech je také možné vidět, že toto odvětví má velký potenciál, jelikož se mu věnuje velké množství nezávislých společností. Lze také pozorovat stálý nárůst elektronických asistenčních systémů vozidel. Existuje celá řada důvodů, proč se v posledních letech vyvíjí a narůstá jejich implementace. Jedná se zejména o oblasti komfortu a aktivní bezpečnost (tj. nepřijatelný počet nehod). Obecně tyto systémy sdružuje zkratka ADAS (Advanced driver-assistance systems). Účelem těchto pokročilých asistenčních systémů pro řidiče znamená snížení nebo dokonce odstranění chyb způsobené řidičem a zvýšení bezpečnosti v dopravě.

Se záměrem zlepšení a zvýšením povědomí řidiče o možných nebezpečích jak v prostředí okolo, tak i uvnitř vozidla, nám díky asistenčním službám vznikl další případný problém. S rostoucím počtem možných asistenčních služeb s možností upozornit řidiče na všechna možná nebezpečí by však mohlo vést k nadměrnému počtu výstražných oznámení. To by mohlo způsobit, že by se samotný systém stal nebezpečně rozptylující. Dříve, nebo později by řidič začal systém ignorovat, případně by jej deaktivoval. Nepozornost nebo únava řidiče jsou vážným problémem způsobujícím každoročně tisíce dopravních nehod. Hlavní výzvou v oblasti asistenčních systémů tedy je předcházet nehodám vývojem technologií pro jejich detekci nebo včasnou prevenci.

## 1.1 Metody měření a detekce

Pro správnou funkčnost asistenčních systémů jsou potřebná data, která vyhodnocují jak situaci v okolí, tak i aktuální stav uvnitř automobilu. Tato práce je zaměřena především na vnitřní asistenční systémy. Existuje mnoho různých systémů sloužících pro vyhodnocení, které jsou obvykle rozděleny do pěti kategorií: subjektivní, fyziologické, chování vozidla, behaviorální a hybridní. Dále je uveden stručný přehled metod a jejich detekce v každé z těchto kategorií.

### 1.1.1 Vizuální a behaviorální metody

Tyto metody jsou založeny na detekci specifických ukazatelů chování pomocí kamerového systému. Metody jsou udávány řidičem v ospalém nebo rozrušeném stavu. Systém se nejčastěji zaměřuje na natočení hlavy nebo výraz obličeje, které by mohly vyjadřovat úkony, jako jsou rychlé a neustálé mrkání, kývání hlavy nebo časté zívání. To vše může znamenat, že člověk může být ospalý, nebo nepozorný. Systémy založené na této metodice obvykle používají k pořizování obrazu videokameru a spoléhají na kombinaci počítačového vidění a technik strojového učení k detekci událostí, které jsou předmětem zájmu jejich měření a k rozhodnutí, zda může být řidič bdělí nebo ne. Pokud sekvence zachycených snímků a měřených parametrů (např. příkývnutí nebo nadměrný čas ve stavu kdy je oko zavřené) naznačuje, že je řidič ospalý, může být odůvodněna zpětná vazba, jako je např. zvukové upozornění. [1]

- **Poloha hlavy nebo očí:** Ospalému řidiči se některé svaly v těle začnou uvolňovat, což vede k příkývování, které se systém snaží odhalit. Dalšími znaky jako např. natočení hlavy delší dobu do strany, nebo sledování telefonu může vést k nepozornosti. Detekce polohy hlavy nebo očí je složitý problém počítačového vidění, který může vyžadovat stereoskopické vidění. [4][5]
- **Zívání:** Časté zívání je behaviorální rys, který značí, že tělo je unavené nebo upadá do uvolněnějšího stavu a to vede k ospalosti. Detekce zívání může sloužit jako preventivní opatření k upozornění řidiče. Je však třeba poznamenat, že k zívání nedochází vždy dříve, než řidič přejde do ospalého stavu. Proto jej nelze použít jako samostatný prvek a je třeba ji podpořit dalšími ukazateli ospalosti. [7]
- **Stav očí:** Zjišťování stavu očí je jedním z hlavních cílů rozpoznání, zda je řidič ospalý nebo nepozorný. Hlavním cílem byla pozorovaná frekvence mrkání. Oko lze zhruba rozdělit do tří stavů: Plně otevřené, částečně otevřené nebo uzavřené. Pokud oči zůstanou v těchto dvou stavech po delší dobu, lze dojít k závěru, že řidič je ospalý. Systém detekce stavu očí musí být schopen tyto různé stavy spolehlivě detekovat a rozlišovat. Proces extrakce prvků stavu oka obvykle následuje školení a používání algoritmů strojového učení, které je více popsáno dále v práci. [8][9]

- **Více pohybů obličeje:** Lze pozorovat a zaznamenávat i více pohybů obličeje, včetně stavu a polohy obočí, rtů a čelistí klesajících v kombinaci s mrkáním.
- **Odchylka polohy jízdního pruhu:** Opuštění určeného jízdního pruhu a přechod do jízdního pruhu protisměrné dopravy nebo vyjíždění z cesty jsou typickým chováním automobilu řízeného řidičem, který usnul nebo nevěnuje řízení dostatečnou pozornost. Hlavní myšlenkou je sledovat relativní polohu vozu v jízdním pruhu pomocí externě namontované kamery. Specializovaný software se používá k analýze dat získaných kamerou a k výpočtu polohy automobilu vzhledem k prostřednímu pruhu silnice. Omezení systémů založených na této metodě jsou většinou spojena s jejich závislostí na vnějších faktorech, které jsou: dopravní značení, počasí a světelné podmínky.[10]
- **Pohyb volantu:** Tyto metody se spoléhají na měření úhlu volantu pomocí úhlového senzoru namontovaného na sloupku řízení, který umožňuje detekovat i ty nejmenší změny polohy volantu. Je-li řidič ospalý, je počet zjištěných mikro-korekcí na volantu nižší, než je počet za normálních jízdních podmínek. Potenciálním problémem tohoto přístupu je vysoký počet falešných pozitiv. Systémy založené na sledování volantu mohou spolehlivě fungovat pouze v konkrétních případech (zaručený stálý kontakt ruky s volantem) a jsou příliš závislé na geometrických charakteristikách silnice a v menší míře i na kinetických vlastnostech vozidla.[11]

Vizuální a behaviorální metody jsou považovány za efektivní a neinvazivní, ale vedou k významným technickým výzvám. Kromě problémů souvisejících s algoritmy počítačového vidění, strojového učení při zpracování obrazu musí výsledné systémy fungovat v reálném čase. Systém musí také vykazovat robustnost a stálost, když čelí hrbolatým silnicím, změnám osvětlení, špinavým objektivům, nesprávně namontovaným kamerám a mnoho dalších reálných situací, které nejsou ideální.

### 1.1.2 Subjektivní metoda

Ospalost lze vysvětlit jako fyziologickou potřebu bojovat proti únavě lidského systému. Čím více je člověk unavený (tj. bez spánku), tím silnější je potřeba spánku a to naznačuje, že ospalost může mít různé úrovně. Vědecké organizace, jako je Laboratoř spánku, Divize poruch spánku a Asociace profesionálních spánkových společností, vytvořily různé popisné stupnice úrovní ospalosti. [12][1]

Současné subjektivní nástroje používané pro hodnocení ospalosti jsou založeny na dotaznících a elektrofyziologických měřeních spánku. Jejich cílem je poskytnout informace o tom, jak úspěšně předpovídat, které faktory mohou vést k nehodám. Tyto informace dále poskytují prostředky pro další skupiny metod, aby se zaměřily na odhalování a předcházení některým klíčovým faktorům spojeným s ospalostí řidiče. Tento způsob měření je známý jako subjektivní měření, kdy testovací subjekty byly požádány, aby popsaly a posoudili svou úroveň ospalosti. [12][1]

### 1.1.3 Fyziologická metoda

Fyziologické metody jsou při reálném použití měření ospalosti v automobilu považovány za méně spolehlivé nebo velmi rušivé pro ostatní aplikace. Nabízejí ale objektivní a přesný způsob měření. Jsou založeny na skutečnosti, že fyziologické signály se začínají měnit v dřívějších stádiích ospalosti, což by mohlo potenciálnímu řidiči umožnit systém pro detekci ospalosti více času, aby včas zareagoval a předešel tak mnoha dopravním nehodám. Schopnost detekovat ospalost v raném stádiu byla provedena pomocí elektro-fyziologických signálů lidského těla, jako je elektrokardiogram (EKG), elektroencefalogram (EEG) a elektrookulogram (EOG), které jsou stručně definovány a vysvětleny níže.[13][1]

- **Elektrokardiogram (EKG)** - zaznamenává elektrickou aktivitu lidského srdce. Tento systém dokáže velmi přesně zjistit, v jak bdělém stavu je lidské tělo, detekováním nepatrných změn v chování srdce, jako je například zvýšení nebo snížení srdeční frekvence. Variabilitu srdeční frekvence lze popsat pomocí měření změn srdeční frekvence. Frekvence srdečního rytmu je rozdělena na nízké a vysoké

frekvence, která se vyznačuje mírou změn tzv. „beat-to-beat“. Je-li subjekt vzhůru, srdeční frekvence je mnohem vyšší než frekvence při usínání. EKG může jasně ukázat, že když subjekt začíná přecházet do ospalého stavu, kdy se srdeční frekvence snižuje. [14]

- **Elektroencefalogram (EEG)** - zaznamenává elektrickou aktivitu lidského mozku. Je to nejspolehlivější a nejčastěji používaný signál, který dokáže přesně popsat úroveň bdělosti lidí. Signál EEG je vysoce komplexní a má různá frekvenční pásma. Frekvenční pásma, která lze měřit pro určení, zda je subjekt ospalý, jsou: pásmo delta - odpovídá aktivitě spánku; pásmo theta - související s ospalostí; a pásmo beta - odpovídá bdělosti. Snížení energetických změn v alfa frekvenčním pásmu a zvýšení energetických změn v theta frekvenčním pásmu naznačují ospalost. Frekvence měřené touto metodou jsou velmi náchylné k chybám a vyžadují velmi specifické podmínky pro správné měření. Aby je bylo možné měřit, musí být snímací zařízení fyzicky připevněno na testovací subjekt. Je zřejmé, že v reálném scénáři jízdy by připojení elektrod k hlavě řidiče znemožnilo jejich řidičské schopnosti a potenciálně by zvýšily šance vzniku nehody. [13]
- **Elektrooculogram (EOG)** - zaznamenává rozdíl elektrického potenciálu mezi rohovkou a sítnicí lidského oka. Je ukázáno, že tento rozdíl určuje chování oka, které lze použít ke sledování úrovně bdělosti řidičů. Tato metoda je vysoce invazivní, protože vyžaduje přímý kontakt se subjektem. Elektrody jsou umístěny na vnější roh každého oka a třetí elektroda ve středu čela jako reference. Pokud je detekován pomalejší pohyb očí, ve srovnání s pravidelným pohybem očí subjektu v bdělém stavu, dochází k závěru, že subjekt je ospalý. Přestože je tento typ měření velmi přesný a vede k velmi malým chybám při detekci, není určen pro praktickou implementaci v reálném čase kvůli složitosti přístroje potřebného pro měření. [14][15]

Spolehlivost a přesnost detekce ospalosti řidiče pomocí fyziologických signálů je ve srovnání s jinými metodami velmi vysoká. Hlavním přínosem a výhodou této detekce je sledování zdravotního stavu řidiče. Takové informace by mohly vést k předcházení nehod způsobené zdravotní indispozicí řidiče. Avšak rušivá povaha měření fyziologických signálů zůstává problémem, který zabraňuje jejich použití při reálné jízdě. Vzhledem k technologickému pokroku v posledních letech je možné, že některé problémy způsobené těmito metodami budou v budoucnu eliminovány. To znamená - použití bezdrátových



zařízení k měření fyziologických signálů méně rušivým způsobem, umístěním elektrod na tělo a získávání signálů pomocí bezdrátových technologií, elektrodami na volantu nebo v sedadle. [16]

#### **1.1.4 Hybridní metody**

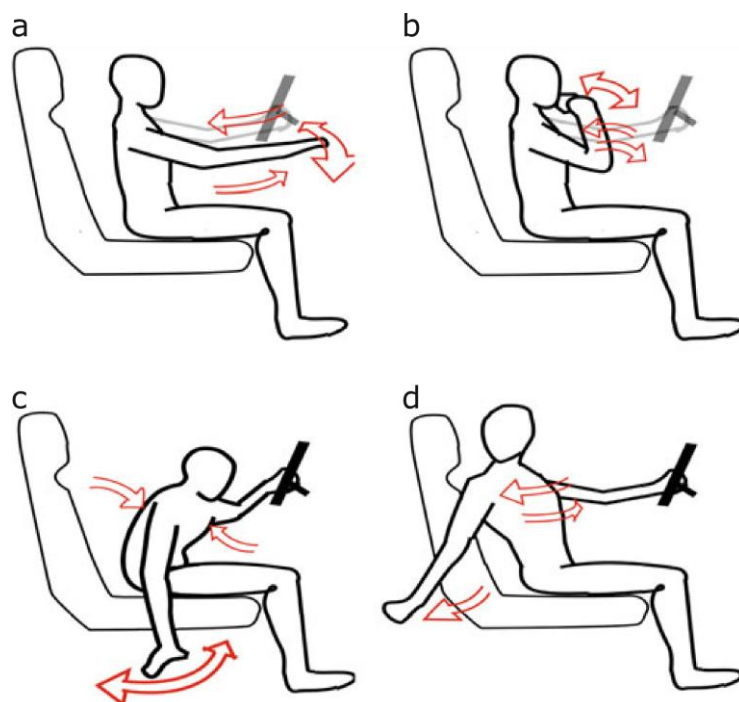
Všechny výše uvedené metody mají silné a slabé stránky. Měření založená na sledování vozidla závisí na konkrétních jízdních podmínkách (počasí, osvětlení atd.) a lze je použít pouze na konkrétních silnicích (s jasně vyznačenými značkami a pruhy). Kromě toho mohou vést k velkému počtu falešných pozitiv, což by vedlo ke ztrátě důvěry k měřicí metodě. Fyziologická opatření jsou spolehlivá a přesná, ale jejich rušivá povaha je příliš velká. Behaviorální měření vykazuje obrovské rozdíly ve výsledcích v závislosti na souvisejících světelných podmínkách. [17][1]

Výzkumné studie zaměřující se na systémy detekce ospalosti řidiče jako kombinaci metodiky chování a metodiku založenou na stavu vozidla ukázala, že spolehlivost a přesnost vytvořené hybridní metody byla výrazně vyšší než u metod, které mají přístup pouze k jedné metodice. Další studie, která zahrnovala subjektivní opatření v kombinaci s behaviorálními a fyziologickými opatřeními, ukázala výrazně vyšší úspěšnost než kterákoli jednotlivá metoda samostatně. Tyto výsledky naznačují, že kombinace tří typů metod (behaviorální, fyziologická a založená sledování vozidla) je slibnou cestou, která stojí za sledování při vývoji řešení systému pro detekci ospalosti řidiče. [17][1]

## **1.2 Nepozornost řidiče**

Řidiči se setkávají s různým nebezpečím silničního provozu a často si neuvědomují, že jsou rozptýlováni a mohou být neopatrní. Nejčastějšími rozptylovacími aspekty mohou být např. občerstvování nebo zvedání věcí, které spadly na zem během jízdy. Tyto rozptylující události mohou pro řidiče znamenat nebezpečí. Mezi nejčastěji se objevující případy patří čtyři typy nepozorných situací u řidičů (Obr. 1.1). [1]

- **Nastavování ovladačů** - pro nastavení začne hledat ovládací prvky (např. nastavení hlasitosti rádia, ovládání telefonu apod.)
- **Občerstvení** - řidič pije nebo jí při řízení občerstvení
- **Otáčení se dozadu** – v úmyslu starat se o své děti na zadním sedadle nebo rovnat tašky.
- **Zvedání spadlých věcí** - zvednout spadlé klíče nebo jiné předměty při jízdě, kde se musí řidič ohnout a ztratí přehled co se děje před ním.



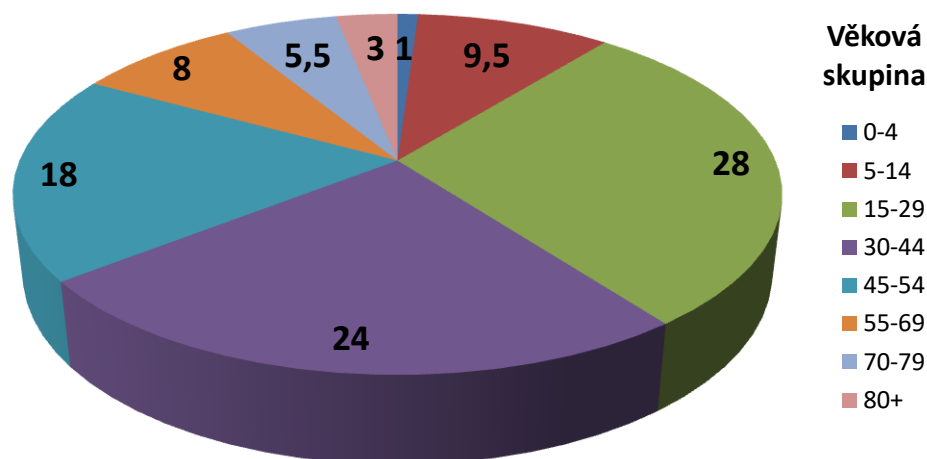
Obr. 1.1 Ilustrace událostí způsobující nepozornost. (a) nastavování ovladačů, (b) občerstvení, (c) zvedání spadlých věcí, (d) otáčení se dozadu[18]

Analýzou výše uvedených čtyř nepozorných jízdních případů si uvědomujeme, že každá z těchto událostí není přechodnou, ale akce trvá určitou dobu. Například na obr. 1.1a je znázorněna událost *Nastavování ovladačů*, která může být demonstrována jako natahování k dosažení určité věci na palubní desce, vyhledávání a nastavování rádia. Asistenční služba by v reálném čase měla rozpoznat události, které způsobují nepozornost, aby řidič mohl být v čas patřičně varován, nebo podle detekované hrozby mohl zareagovat jiný bezpečnostní prvek. (např. udržení v pruhu, přibrzdování apod.) [7][18]

### 1.3 Ospalost řidiče

Zájem o vybavení vozidel systémy detekce ospalosti a nepozornosti řidiče byl motivován alarmujícími statistikami, jako je například zpráva Světové zdravotnické organizace (WHO). Ta uvádí, že 1,24 milionu lidí zemře každý rok na silnici; přibližně 6% všech nehod je způsobeno řidiči, kteří jedou v ospalém stavu. Většina nehod tohoto typu vede k úmrtím a dalších 20–50 milionů jednotlivců je zraněno. Taková ohromující čísla spustila činnost komunity. Například valné shromáždění Organizace spojených národů (OSN) určilo desetiletí mezi lety 2011 a 2021 za dekádu činnosti v oblasti bezpečnosti silničního provozu. [10][18][19]

Zpráva zveřejněná WHO o následných opatřeních ukázala, že i když bylo dosaženo určitého pokroku, číslo 1,24 milionu úmrtí způsobených dopravními nehodami ročně zůstává v zásadě stejné. Analýza počtu úmrtí podle věku (Obr. 1.2) ukazuje, že téměř 40% jsou lidé mladší 30 let. Mnoho dalších zpráv o nehodách se navíc týkaly havárií, kdy auto vyjelo mimo svůj pruh nebo mimo vozovku, které mohou souviset také s aspekty ospalosti.



Obr. 1.2: zobrazující procento způsobených nehod rozdělených podle věkových skupin

Přibližně 71 000 všech nehod souvisejících s ospalostí zahrnovalo smrtelná zranění a mělo za následek 1 534 úmrtí (3,6% všech smrtelných nehod). Přesto však mnoho havárií na odlehlých cestách není hlášeno nebo je policie nemůže ověřit a to naznačuje, že problém je mnohem větší, než se původně předpokládalo. Značný počet průzkumů, studií a zpráv naznačuje, že ospalost je jednou z největších příčin dopravních nehod. Uvádí se, že

54% dospělých řidičů řídilo vozidlo, zatímco se cítilo ospale a 28% z nich skutečně usnulo za volantem. [19][21][22]

Odhaduje se, že jedna z každých šesti (16,5%) smrtelných dopravních nehod a jedna z osmi (12,5%) nehod, které vyžadují hospitalizaci řidičů nebo cestujících, je způsobena kvůli řízení v ospalém stavu. Souhrnně lze říci, že existuje značné množství důkazů, které svědčí o tom, že ospalost je jedním z velkých faktorů dopravních nehod. [14]

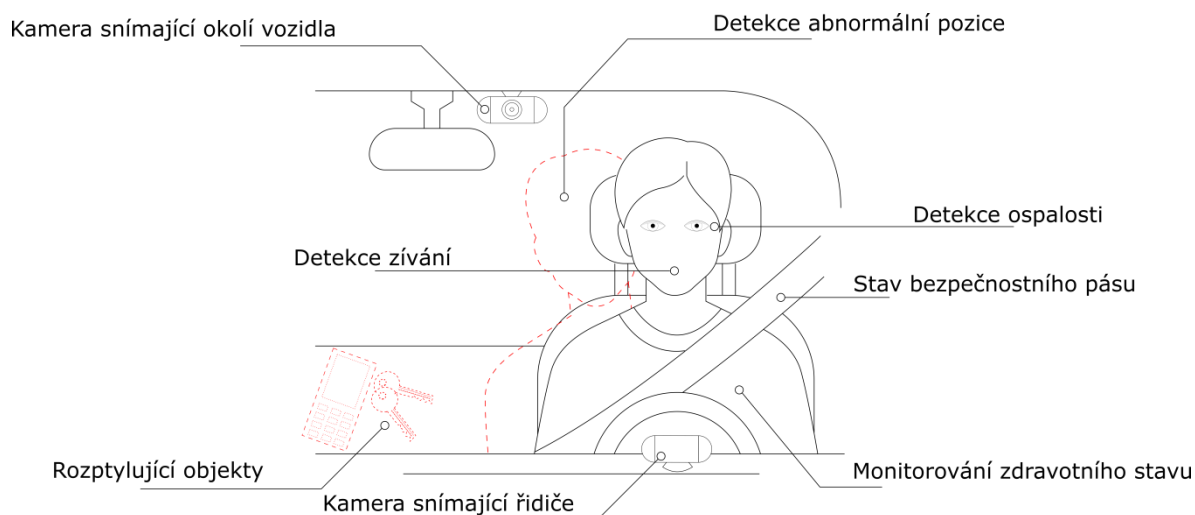
#### 1.4 Zpětná vazba asistenčních systémů

Všechny výše uvedené charakteristiky naznačují, že vozidlo účastníci se nehody řízené ospalým nebo nepozorným řidičem vytváří specifické jízdní vzorce, které lze měřit a použít k detekci potenciální nebezpečné jízdní situace. Pro takovou detekci jsou již v dnešní době automobily vybaveny senzory (např. radar, video kamera a ultrazvuk).

Zpětná vazba by při řízení neměla jakýmkoliv způsobem narušovat normální řízení a zbytečně odvádět pozornost řidiče. Na druhou stranu by měl být systém předvídatelný a v případě hrozby upozornit řidiče na možné nebezpečí, tak aby si toho všiml. Zpětnou vazbu od asistenčních systémů můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní systémy by měly zabránit nebo minimalizovat zranění účastníků při dopravní nehodě výstražným oznámením, které informuje řidiče před případným ohrožením pomocí zvukového, nebo vizuálního signálu. Aktivní systémy mohou už být technická zařízení nebo konstrukce automobilu pomáhající před vznikem dopravní nehody aktivním zásahem do řízení samotného vozidla. Většinou tyto dvě kategorie pracují společně tak, že v případě vyhodnocení systému možné hrozby se snaží upozornit řidiče (např. zvukovým, nebo světelným signálem) a v krajním případě by mohla být aktivována jedna z aktivních asistenčních služeb vozidla.

## 2 Snímání obrazu uvnitř vozidla

Jak již bylo řečeno, tak snímání obrazu uvnitř vozidla je ve většině případů spojeno s řešením detekce ospalosti řidiče nebo jeho nepozornosti. Nicméně kamery umístěné v jiných částech vozidla mohou sledovat i ostatní cestující, aby v určitých situacích mohly být upraveny bezpečnostní prvky (např. airbagy). Zde jde zejména o řešení, které provádí monitorování hlavy a obličeje řidiče z hlediska behaviorálních projevů potenciální ospalosti nebo nepozornosti. Jedná se o přikývnutí, zívání, mrkání nebo o natočení hlavy do abnormální pozice, kdy řidiče není schopen sledovat vozovku. Je zde velké množství relevantních technologií, možných algoritmů a je potřeba řešit konstrukční provedení. Systémy založené na této metodice obvykle používají k pořizování obrazu videokameru a spoléhají na kombinaci počítačového vidění a technik strojového učení k detekci již zmiňovaných událostí. Při jejich měření dochází k rozhodnutí, zda může být řidič ospalý nebo zda není řidič příliš rozrušen a nedochází k nepozornosti. Pokud sekvence zachycených snímků a měřených parametrů (např. rychlost padání hlavy nebo nadměrný čas natočení hlavy) naznačuje, že je řidič ospalý nebo nepozorný, dochází k případnému varování řidiče (např. zvukový signál).



Obr. 2.1: Znárodnění kabiny řidiče a možné uložení kamery

Systémy založené na vizuálním vstupu jsou specializovaná řešení počítačového vidění zachycující po sobě jdoucí video snímky, které jednotlivě zpracovávají a rozhodují na

základě analýzy zpracovaných informací. Po zachycení každého snímku pomocí kamery (kap. 2.1) jsou zpracovaná potřebná data, na která lze, pro potřebnou detekci, použít určitý algoritmus (kap. 2.2). Jejich cílem je zjistit přítomnost a umístění potřebných částí obrazu (např. hlavy, obličeje a očí), změřit jejich vlastnosti a zakódovat výsledky do numerických reprezentací. Ty pak mohou být použity jako vstup klasifikátoru strojového učení (kap. 2.2). Na základě analyzovaných údajů činí rozhodnutí, jestli je řidič ospalý nebo ne.

## 2.1 Kamerové senzory

Kamery používané ve většině systému lze rozdělit do dvou kategorií v závislosti na rozsahu elektromagnetického spektra, ve kterých pracují: Kamery („konvenční“) snímající viditelné světlo nebo kamery snímající infračervené světlo (IR). První z dvou zmiňovaných může poskytovat velice dobré rozlišení při relativně nízkých nákladech, ale je závislá na vhodných světelných podmínkách, aby spolehlivě fungovala. Druhá je více je používána jako doplněk ke konvenčnímu řešení k zachycení nočních a jiných špatně osvětlených situací.

### 2.1.1 Kamera („konvenční“)

Dvě nejoblíbenější technologie zobrazovacích senzorů používaných v kamerách jsou CCD (Charge-Coupled Device) a CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Oba senzory vykonávají v podstatě stejnou funkci. Konkrétně přeměnu světla na elektrické signály, které lze dále kódovat, ukládat, zpracovávat, přenášet a analyzovat specializovanými algoritmy.[23]

U senzoru CCD je náboj pixelu přenášen velmi omezeným počtem výstupních uzlů (často jen jedním), které mají být převedeny na napětí, uloženy do paměti a odeslány mimo čip jako analogový signál. Analogově-digitální převodník mění hodnotu každého pixelu na digitální hodnotu. CCD používají speciální výrobní proces k vytvoření schopnosti přenášet náboj přes čip bez zkreslení. Tento proces vede k velmi kvalitním senzorům z hlediska věrnosti a citlivosti na světlo. [23]

U CMOS senzoru má každý pixel svůj vlastní převod na napětí a senzor často také zahrnuje zesilovače, korekci šumu a digitalizační obvody, takže výstup čipu jsou digitální bity. Tyto další funkce zvyšují složitost designu a zmenšují oblast, která je k dispozici pro zachycení světla. U každého pixelu provádějícího vlastní konverzi je uniformita (jednotnost) nižší, ale je také paralelní, což umožňuje vysokou celkovou šířku pásma pro vysokou rychlost. [23]

Obě tyto technologie mají své výhody a nevýhody. Technologie CCD je považována za vyspělejší, ale CMOS ji pomalu dohání. CCD senzory vytvářejí vysoce kvalitní snímky s nízkým šumem a vysokým rozlišením. Senzory CMOS jsou obvykle citlivější na šum a jejich citlivost na světlo je nižší než u CCD. Z hlediska spotřeby energie vyžaduje technologie CMOS podstatně méně energie. CMOS také vede jako levnější technologie výroby, protože čipy CMOS lze vyrábět téměř na jakékoli standardní produktové řadě z křemíku, což je činí poměrně levnými. [23]

Systémy detekce ospalosti a nepozornosti řidičů vyžadují kamery, které mohou produkovat vysoce kvalitní snímky s vysokým rozlišením a nízkou hladinou šumu, což je dosud doménou CCD kamer. Na druhou stranu by měl být zvolený zobrazovací senzor levný a energeticky úsporný, což nakloní stupnici směrem k CMOS. Konečné rozhodnutí bude kompromisem mezi těmito klady a zápory každé ze zmiňovaných technologií.

### **2.1.2 Infračervené kamery (IR)**

Jedním z častých omezení u systému počítačového vidění je neschopnost konzistentně fungovat v celém rozsahu provozních podmínek, které mohou během jízdy nastat. Je tedy proto velice důležité aby světelné podmínky, při kterých byl systém testován a navržen, byly co nejméně odlišné od reálných podmínek. V případě, kdy bereme monitorovací systém ve vozidle, představuje schopnost tolerovat velké změny intenzity světla obrovskou výzvu (od jasného slunečního světla po noční jízdu na neosvětlených cestách). Jedním z řešení pro zajištění funkčnosti za zhoršených světelných podmínek, je použití IR kamery. [23]

Pro kamery využívané pro snímání obrazu uvnitř vozidla se používá termín „Near Infrared“ (NIR), který se týká malé části z mnohem větší oblasti IR, umístěné mezi viditelnou a mikrovlnnou částí elektromagnetického spektra. NIR tvoří část IR nejbližší k vlnové délce viditelnému světlu a zabírá vlnové délky přibližně mezi 700 a 1500 nm (0,7–1,5  $\mu\text{m}$ ). NIR se nesmí zaměňovat s termálním infračerveným světlem, které je na opačném konci infračerveného spektra (vlnové délky v rozsahu (8–15  $\mu\text{m}$ )) a měří sálavé (emitované) teplo. Kamery NIR jsou k dispozici ve snímačích CCD nebo CMOS a na jejich výstupu mohou poskytovat monochromatické nebo barevné obrázky.[23]

Systémy, které používají kamery NIR, obvykle využívají další zdroj záření NIR, např. LED diody určené k vyzařování záření ve frekvenčním pásmu NIR, pro osvětlení potřebné oblasti a tímto způsobem pro zesílení vstupních hodnot pro kameru. Je běžné, že se LED diody zaměřují na oči řidiče, protože zornice má znatelnou schopnost odrážet infračervené záření, což vede k rychlému a efektivnímu způsobu lokalizace polohy očí. [24]

## 2.2 Počítačové vidění a strojové učení

K identifikaci potřebných vizuálních vzorů z pořízených videozáznamů nebo obrazů, se nejčastěji používá tzv. počítačové vidění (Computer Vision). Metody založené na počítačovém vidění lze rozdělit na tradiční metody počítačového vidění a metody hlubokého učení (deep learning). Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma podkategoriemi spočívá v tom, že tradiční metody počítačového vidění do značné míry vyžadují ruční úpravu kódu, zatímco metody hlubokého učení obsahují systémy, které se mohou učit samostatně, a to v případě, že mají přístup ke vzorovým a trénovacím datům. Další rozdíl je, že tradiční metody počítačového vidění analyzují jednotlivě po částech, zatímco metody hlubokého učení analyzují a vyhodnocují celý obraz jako jeden celek. Hluboké učení lze popsat jako podkategorii strojového učení. Jedná se o moderní typy metod strojového učení založené na technologii AI („Artificial Intelligence“ neboli umělé inteligenci), jejímž jádrem technologie jsou vícevrstvé neuronové sítě. [25]

Strojové učení je základem novějších metod počítačového vidění založené na AI. Rozděluje se do tří kategorií: učení bez učitele, učení s učitelem a zpětnovazebné učení. Aby bylo strojové učení možné, musí mít systém přístup k zaznamenaným datům řidičů,



keré lze použít jako příklady pro učení. Jako lidé můžeme říct, že člověk vypadá unaveně nebo rozrušeně, ale může být obtížné popsat jejich vizuální známky. To je to, čeho lze AI naučit ze zaznamenaných dat řidičů, kteří popsané známky vykazují. Obsah potřebných částí obrazu je poté detekován, extrahován a kódován. Výsledná reprezentace je použita jako vstup pro strojové učení schopné rozlišovat mezi dvěma nebo více třídami. V souvislosti se systémy se problémem zásadně zmenšuje na problém klasifikace dvou tříd (ospalý – neospalý, pozorný – nepozorný, apod.) Nejčastěji používanými klasifikátory v systémech jsou neuronové sítě, AdaBoost a SVM (Support Vector Machines). [25]

### 2.2.1 Neuronové sítě

Existují různé typy neuronových sítí, ale všechny sestávají z malých stavebních bloků. Každý z těchto stavebních prvků má velmi jednoduchou funkci a je prakticky zbytečný sám o sobě. Tyto stavební kameny lze přirovnat k neuronu v mozku. Ve velkém množství těchto základních stavebních bloků, neuronů, a jejich vzájemném spojení tvoří neuronovou síť. Metody, které používají neuronové sítě, jsou založeny na vzájemném propojení neuronů a podle úrovně síly těchto spojení je lze trénovat. Zatímco architektura neuronové sítě je navržena programátorem, trénink sítě upravuje úroveň síly spojení mezi různými neurony. Samotný trénink sítě se provádí dodáváním příkladnými obrázky, tréninkových dat a současným uvedením, co obraz zobrazuje. Aby síť správně analyzovala obličejové rysy osoby, je třeba systém naplnit velkým množstvím obrazů obsahujících tváře různých pohlaví, věku a etnik. Tyto obrázky musí být také správně anotovány a systému je třeba sdělit, že obraz obsahuje lidskou tvář a jaký výraz se zobrazuje. [25]

Jedná se tedy o matematický model inspirovaný biologickými neuronovými sítěmi. Ve většině případů je neuronová síť adaptivním systémem, který mění svou strukturu během fáze učení. Neuronové sítě se používají k modelování složitých vztahů mezi vstupy a výstupy nebo k nalezení vzorců v datech. Tato metoda strojového učení se ve světě detekce objektů široce používá, protože poskytuje: [25]

zobecnění - malá zkruslení lze snadno zvládnout

- rozšiřitelnost - naučení jiné sady objektů nevyžaduje téměř žádnou změnu struktury programu

- schopnost reprezentovat více vzorků - třídu objektů lze snadno reprezentovat více vzorky s více podmínkami
- účinnost - jakmile je síť naučena, v jednom kroku rozhodne, do které třídy objekt patří

Nevýhodou této metody je, že vyžadují velký a rozmanitý soubor příkladů pro učení, jakož i výkonný systém na náročné zpracování a velký prostor pro ukládání výsledků. Malé rozpoznávací systémy, které nepotřebují takové množství dat pro učení, využívají všechny výhody neuronové sítě jako klasifikátoru. [25]

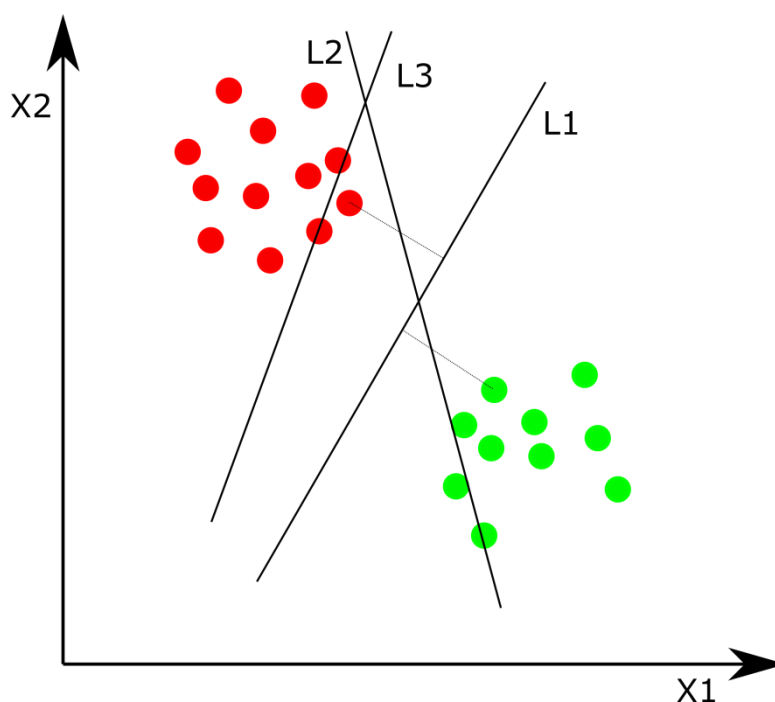
### 2.2.2 Adaptive Boosting (AdaBoost)

AdaBoost je adaptivní algoritmus strojového učení využívající „boosting“ pro lineární kombinaci špatně zařazených klasifikátorů v jeden hlavní binární klasifikátor. V každém kroku svého učení přidává AdaBoost do hlavního klasifikátoru jeden špatně zařazený vzorek tak, aby minimalizoval odhad horní chyby klasifikátoru. Při každé iteraci se hodnota nesprávně klasifikovaného vzorku zvýší a každého správně klasifikovaného vzorku se hodnota sníží. Tím je i ovlivněn výběr dalšího klasifikátoru. Ten se zaměřuje na příklady, které dosud neobsahovaly správnou klasifikaci. Přestože AdaBoost může být citlivý na zkreslující data, prokazuje velkou účinnost a je schopen se přizpůsobit i těžko klasifikovatelným datům. [26]

### 2.2.3 Metoda podpůrných vektorů (SVM)

Metoda podpůrných vektorů je založena na koncepci rozhodovacích rovin, které definují rozhodovací hranice. Rozhodovací rovina odděluje množinu objektů s různými vlastnostmi ve třídě. Základní SVM bere sadu vstupních dat a předpovídá pro každý daný vstup, která ze dvou možných tříd tvoří výstup. To z něj činí pravděpodobnostní binární lineární klasifikátor bez pravděpodobnosti. Vzhledem k sadě naučených příkladů, z nichž každý je označen jako náležející do jedné ze dvou kategorií, trénovací algoritmus SVM vytvoří model, který přiřadí nové příklady do jedné nebo druhé kategorie. Model SVM je

znázorněním příkladů jako bodů v prostoru mapovaných tak, aby příklady jednotlivých kategorií byly rozděleny jasnou mezerou, která je co nejširší. Nové příklady jsou poté mapovány do stejného prostoru a náleží do kategorie, na kterou stranu mezery se dostanou. Pokud lze sady objektů rozdělit do příslušných skupin přímkou, SVM je lineární. Většina klasifikačních zadání však není tak jednoduchá a často jsou zapotřebí složitější struktury, aby bylo dosaženo optimálního oddělení. S využitím různých sad matematických rovnic (tzv. jádrových transformací) se SVM může pokusit změnit uspořádání vstupních dat tak, aby mezera mezi různými třídami byla co nejširší a oddělovací čára mohla být jasně vykreslena mezi třídami. [26]



2.2: Koncept podpůrného vektorového stroje (SVM).

### 2.3 Výzvy a praktické aspekty

Skutečné životní situace mohou být nepředvídatelné a neexistuje řešení „jedno řešení platí pro všechny“ pro každý krok složitého procesu analýzy lidského chování. Výsledný přístup je proto v nejlepším případě aplikovat jak tradiční metody počítačového vidění, tak moderní hluboké učení. Jedním z dobrých důvodů pro kombinaci tradičních metod počítačového vidění s moderními metodami hlubokého učení je to, že oba přístupy dospějí ke svým závěrům prostřednictvím zcela odlišných procesů. Pokud oba systémy vygenerují stejnou odpověď, můžeme si být jisti, že se jedná o správný výsledek. Potenciální problém

s obrazem však mohou naznačovat dva odlišné výstupy. To by mohlo znamenat, že obrázek musí být dále analyzován nebo alespoň upozornit na chybu, což je stejně důležité. Zejména v automobilovém průmyslu je velmi důležité, aby systém vyhodnotil stav „neví“, místo aby nepřesně vyhodnotil, že člověk nedává pozor a auto spustilo výstražné upozornění. Nesprávný výstup může být nebezpečný a v takovém případě je lepší říci, že si nejsme jistí, co přesně řidič dělá. Potom bude auto muset reagovat jiným způsobem.[1][2][11]

### 2.3.1 Sběr dat

Vzhledem k obtížnosti při shromažďování správných (elektrofyzilogických, behaviorálních atd.) údajů o ospalosti a nepozornosti řidiče v reálném prostředí se dnes již na většinu prováděných testů využívají simulátory, čímž se zvedla účinnost, bezpečnost, snadnost sběru dat a došlo k poklesu ceny. Simulátory jízdy se stále častěji používají pro školení řidičů v celém světě. Výzkum ukázal, že řidičské simulátory se osvědčily jako vynikající, praktické a efektivní vzdělávací nástroje k předávání bezpečných technik výcviku jízdy všem řidičům. V současné době se používají různé typy řidičských simulátorů, např. vlakový simulátor, autobusový simulátor, automobilový simulátor, simulátor kamionu atd.[1][26][28]

Na opačném konci řady jsou jednoduché stolní simulátory, které jsou často implementovány pomocí počítačového monitoru pro vizuální displej a videoher typu volantů a pedálů. Tyto levné simulátory se snadno používají při hodnocení základních a klinicky zaměřených vědeckých otázek. [28]

Některé výzkumné týmy používají automatizovaná vozidla k opětovnému vytvoření simulačních studií na zkušební dráze, což umožňuje přímější srovnání mezi simulačními studií a skutečným světem. Důležitým omezením používání simulátorů může být fakt, že řidiči nevnímají žádné riziko a vědomí, že se nachází v simulovaném prostředí, může vést k chování, které je odlišné od chování na skutečné silnici. [26][28]

### 2.3.2 Požadavky na výkon

Úspěšný systém musí být rychlý, robustní, spolehlivý, nenápadný a předvídatelný. Konečným cílem takových systémů je pracovat ve skutečném světě, což znamená, že systém by měl včas dospět ke konečnému rozhodnutí o stavu řidiče a případně vydat výstražné oznámení. Neschopnost systému reagovat v přiměřené době se může ukázat jako fatální a v rozporu s původním cílem mít tyto systémy. Požadovaný výpočetní výkon v reálném čase, ale může způsobit zvýšení spotřeby a tím i celkové náklady na řešení. Systém musí být robustní a měl by fungovat za různých podmínek, včetně špatného počasí, velkých změn v celkovém osvětlení, hrbolatých silnicích (a jejich dopadu na kvalitu získaných video rámců) apod. Vždy bude existovat určitý bod, ve kterém daný systém nakonec přestane spolehlivě fungovat. Požadavek na takový systém je přenést tento bod co nejdále od běžných provozních podmínek, aniž by došlo k obětování jakéhokoli jiného důležitého aspektu řešení.

Systém musí být spolehlivý, protože v konečném důsledku jsou v sázce lidské životy. Patří do kategorií systémů, u nichž jsou náklady na falešně pozitivní výrazně nižší než náklady na falešně negativní. Jinými slovy, je lepší občas vydat varování, když to nebylo v danou chvíli nutné (falešně pozitivní), než vynechat skutečně vážnou situaci, která by mohla vést k nehodě (falešně negativní).

Systém by neměl být rušivý. Jeho nastavení a komponenty by měly být používány tak, aby nenarušovaly normální řízení. Pozornost řidiče musí být koncentrovaná na silnici a na situaci před vozem. Řidič by neměl být rozptýlován zvukovými a vizuálními výstrahami vycházejícími ze systému. Kromě toho by hardwarová část systému měla být malá, diskrétní a správně umístěná, aby nezakrývala část pohledu řidiče. Fyzické interakce mezi systémem a řidičem by měly být minimální, měly by umožnit rychlé nastavení, kalibraci a snadno vypnout případné výstražné signály.

Systém musí být předvídatelný. Musí být schopen v případě potřeby přilákat pozornost řidiče. Systém obvykle používá zvukové, nebo vizuální podněty ke sdělování varovných zpráv řidiči, hlášení podezření na ospalé nebo nepozorné chování a snaží se zabránit potenciálně nebezpečné situaci. Je třeba dbát na to, aby nedošlo k náhlému nepravdělnému chování nebo překvapení řidiče. Kromě toho by v krajním případě mohla být aktivována

jedna z asistenčních služeb vozidla (např. použití brzd vozidla), pokud je zřejmé, že řidič nereaguje na varování systému.

## 2.4 Přehled existujících systémů

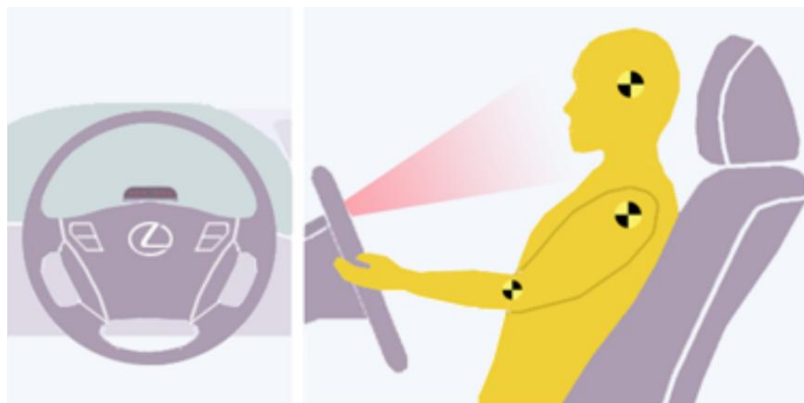
Automobilový průmysl v posledních letech vynaložil značné množství prostředků na vývoj nových funkcí zaměřených na detekci řidiče. Nezávislé společnosti navíc uznaly, že tento trh může růst a stát se ziskovým a vyvinuly produkty, jejichž cíle jsou srovnatelné, ale fungují nezávisle na značce nebo modelu vozidla.

### 2.4.1 Výrobci automobilů

Schopnost nabízet určitý typ systému „asistence řidiče“ jako přidanou hodnotu jejich řady vozidel motivovala mnoho výrobců automobilů k tomu, aby nabízeli vestavěná řešení, která jsou schopna detekovat známky ospalosti řidiče a odpovídajícím způsobem varovat řidiče. Níže jsou některé příklady:

- **Ford:** Americký výrobce automobilů představil v roce 2012 svůj „systém varování řidiče“. Systém používá výhledovou kameru pro sledování polohy vozidla v jízdním pruhu a odhadování úrovně bdělosti řidiče na základě chování řidiče, tj. schopnosti zůstat v mezích jízdního pruhu. Pokud je úroveň bdělosti vnímána jako nižší než určitá prahová hodnota, objeví se v přístrojové desce automobilu lehké zvukové a vizuální varování „Doporučen odpočinek“ pokud klesne ještě dále, zobrazí se vážnější upozornění „Odpočivej nyní“ (s červeným světlem a zvukovým signálem) dokud jej řidič nezruší. Systém také nabízí možnost zkontrolovat aktuální odhadovanou úroveň bdělosti v daném okamžiku. Tento systém spadá do kategorie 1 „metod detekce ospalosti řidiče“ na základě vozidla.[29]
- **Lexus a Toyota:** Japonská automobilka nabízí ve vybraných vozidlech „Systém sledování řidičů“, který byl poprvé uveden na trh v roce 2006. Používá kameru CCD připevněnou na vrchu krytu sloupku řízení k monitorování pozornosti řidiče pomocí technik sledování očí a detekce

pohybu hlavy. Šest vestavěných infračervených LED senzorů umožňuje systému pracovat přesně ve dne i v noci. Během spuštění systém automaticky odhadne polohu obličejových rysů řidiče a změří šířku a středovou linii obličeje. Tyto informace slouží jako reference pro sledování pohybu hlavy řidiče při pohledu ze strany na stranu (Obr. 2.3).[30]



Obr. 2.3: Uložení kamery - Lexus. [31]

Řešení funguje ve spojení s „Pokročilým systémem detekce překážek“ společnosti Lexus následujícím způsobem. Pokud řidič během jízdy odvrátí hlavu od silnice před vozidlem a před vozidlem je detekována překážka, systém aktivuje výstražné světlo a bzučák před nárazem. Pokud situace přetrvává, brzdy lehce zabrzdí, aby řidiče upozornily. V konečném případě, kdy řidič stále nereaguje, systém provede nouzové brzdění a napne přední bezpečnostní pás.[30]

Kombinace různých monitorovacích zařízení řadí tento systém do kategorie „hybridní“ (podle kategorií uvedených v kapitole 1). Systém monitorování řidičů byl v roce 2008 společností Toyota upraven tak, aby zahrnoval detekci očních víček, která se používá ke stanovení stavu očí řidiče. To zvyšuje celkovou robustnost systému. Pokud se oční víčka začínají pomalu zavírat, zazní poplach a systém se pokusí auto zpomalit automaticky. [30]

- **Mercedes-Benz:** V roce 2009 představil Mercedes-Benz systém s názvem „Attention Assist“. Srdcem tohoto systému je vysoce citlivý senzor, který umožňuje extrémně přesné sledování pohybů volantu a rychlosti řízení. Na

základě těchto údajů vypočítá systém individuální chování během prvních několika minut každé cesty. Tento vzorec je pak průběžně porovnáván s aktuálním chováním řízení a aktuální jízdní situací. Tento proces umožňuje systému detekovat typické ukazatele ospalosti a varovat řidiče. Systém se stává aktivním při rychlostech mezi 80 a 180 km/h, protože bylo prokázáno, že při dlouhodobé jízdě při těchto rychlostech je riziko ospalosti mnohem větší než u typické městské jízdy.[32]

- **Volkswagen.** Systém „Detekce únavy řidiče“ od společnosti Volkswagen automaticky analyzuje jízdní vlastnosti, a pokud naznačují možnou únavu, doporučuje řidiči přestávku. Systém průběžně vyhodnocuje pohyby volantu spolu s dalšími signály ve vozidle na dálnicích a silnicích při rychlostech vyšších než 65 km/h a vypočítává odhad únavy. Je-li zjištěna únava, je řidič varován informacemi na multifunkčním displeji a zvukovým signálem, které se opakuje po 15 minutách, pokud si řidič neudělal přestávku na odpočinek.[33]



Obr. 2.4: Oznámení detekce únavy.[33]



### 3 Detekce obličeje a metodiky měření

Výrazy obličeje a pozice hlavy řidiče mohou být monitorovány pomocí kamerových senzorů a řady algoritmů na zpracování obrazu a počítačového vidění, které se rozdělují pomocí tzv. klasifikačního systému skládající se ze tří částí: získávání dat, extrakce příznaků a klasifikace (kap. 2.2). V oboru počítačového vidění je na základě naučených znalostí detekce procesem získávání informace z obrazu. V oblasti detekce ospalosti a nepozornosti řidičů pomocí behaviorálních metod bylo v poslední době vyvinuto mnoho úsilí. Jak je vysvětleno v kap. 1.3, takové metody jsou obvykle zaměřeny na sledování výrazů obličeje řidiče a rozpoznávání vzorců, které by mohly popisovat jeho vnitřní stav. Vizualní vodítka, která mohou být monitorována pro stanovení úrovně ospalosti řidiče, zahrnují: náhlé změny v postoji hlavy (spojené s přikývnutím), časté zívání, rychlé mrkání, nebo zavřené oči. Každý systém určený ke sledování stavu sledovaného objektu v průběhu času musí být schopen detekovat tento objekt, určit v jakém stavu (např. ospalý nebo nepozorný) a sledovat jeho pohyby. U daných systémů, které určují ospalost nebo pozornost řidiče pozorováním obličejových rysů, natočení hlavy apod. je důraz kladen na hlavu, obličej a oči. V systémech počítačového vidění jsou kroky detekce a sledování založeny na extrahování užitečných informací z obrazových dat a sestavení modelů, podle kterého se dá rozeznat v jakém je řidič stavu. [25] [22]

Metody pro detekci obličeje bývají často založeny na antropometrických měřeních. Příkladem systému pro takovou detekci může být nejprve lokalizace možného umístění očí, nosu a úst v předzpracovaném obraze. Na samotnou detekci potom mají vliv různé faktory, jako jsou některé obličejové prvky (vousy, brýle, šátek apod.). Důležité je také pozadí a světelné podmínky, ve kterém se snažíme daný obličej rozpoznat. Faktory jako překrývající se obličeje, nebo částečně neosvětlený obličej by mohly značně znemožnit samotnou detekci. V neposlední řadě jsou důležité i výrazy ve tváři nebo samotná pozice obličeje, kdy vzdálenost nebo různé snímací úhly natočení se hůře detekují stejně jako pouhá část obličeje. Na základě přístupu lze rozdělit metody detekce obličeje do několika hlavních tříd s několika možnými metodami.

### 3.1 Histogram orientovaných gradientů (HOG)

Metoda zvaná histogram orientovaných gradientů funguje dobře jak na světlých tak i tmavých snímcích. Obraz je převeden do stupňů šedi, ve kterých jsou porovnávány intenzity světla jednotlivých pixelů se sousedními. Dále je obraz rozdělen na čtvercové oblasti (např. 8x8), které jsou nahrazeny směrovými vektory podle velikosti rozdílu intenzity sousedních pixelů. Systém poté spočítá jednotlivé velikosti vektorů přechodu v každém čtverci a nahradí ho součtem jejich velikostí. [34][3]

Pro detekci obličeje je potřeba převést pořízený obraz pomocí HOG. Poté je porovnáván s HOG tváří, která byla vygenerovaná z mnoho testovacích obrázků samostatných lidských tváří (Obr. 3.1), aby bylo možné určit, zda se na obrázku nachází lidská tvář, nebo ne. Pro detekci tváře z jiných úhlů a natočení je potřeba mít připravená testovací data, na kterých byly potřebné polohy již detekovány.[34][3]

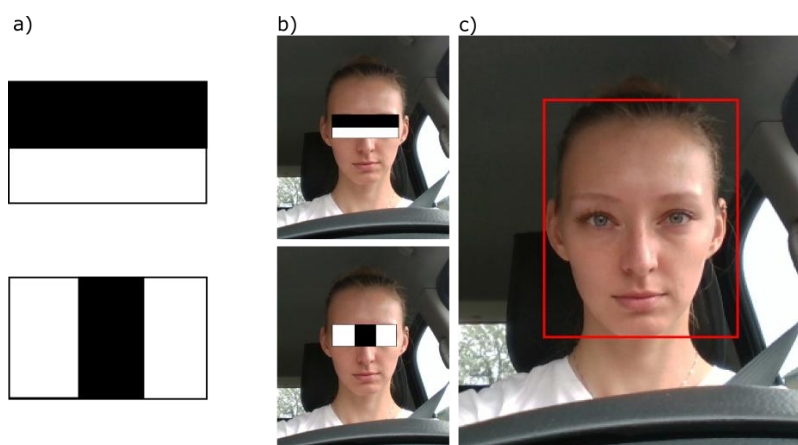


Obr. 3.1: Vzor tváře generovaná metodou HOG.[35]

### 3.2 Rozlišení intenzity světla

Reprezentaci obličeje ve stupních šedi lze popsat jako soubor tmavých a jasných oblastí, kde je obvykle oblast očí mnohem tmavší než oblast nosu a tváří a oči jsou tmavší

než nosní můstek. Každou z těchto oblastí lze z Haarova hlediska popsat jako jednoduchý obdélník s jasnými nebo tmavými hodnotami uvnitř. Oči a tváře lze znázornit jako dva obdélníky svísele vedle sebe, zatímco tmavší je nahoře nad světlejším (Obr. 3.2). V druhém případě je potřeba tří obdélníků, které sousedí vodorovně vedle sebe (dva tmavé pro oči a jeden jasný pro nos uprostřed). Tvář může být reprezentována jinou kombinací tmavých a světlých obdélníků. [36]



Obr. 3.2: Typické kroky detekce obličeje založené HAAR metodě. (a) funkce podobná Haarově metodě, (b) Použití na fotografii, (c) Rozpoznání tváře

Algoritmus Viola-Jones je založen na využití perspektivy, kdy tvář (nebo jakýkoli předmět) je reprezentována jako kolekce tmavých a světlých oblastí. Haarovi rysy představují vztahy mezi dvěma různými sousedními regiony. Protože na lidské tváři existuje mnoho různých regionů a každý region má odlišný vztah k různým sousedním regionům, je počet možných kombinací potenciálně obrovský. Aby byl detekční systém efektivní a rychlý, musí se spoléhat na podmnožinu kombinací se zaměřením na vztahy mezi sousedními oblastmi obdélníku. Ty musí být dostatečně velké, aby účinně popsaly obličej. K určení toho, jaké vlastnosti Haar jsou při popisu objektu důležité a nezbytné, se používá algoritmus strojového učení s názvem AdaBoost (kap. 2.2). Algoritmus AdaBoost eliminuje všechny malé a irelevantní funkce a ponechává pouze nezbytnou sadu. K popisu lidské tváře stačí pouze dva rysy podobné Haarovi. První rys měří rozdíl v intenzitě mezi oblastí očí a oblastí napříč horními tvářemi, což ukazuje, že oblast očí je často tmavší než oblast horních tváří. Druhý znak porovnává intenzity v očních oblastech s intenzitou přes nosní můstek. Oční oblasti jsou opět tmavší než nosní oblast. Tyto dva rysy jsou

nejkonzistentnější funkce na velkém počtu obrázků. Pokud obraz obsahuje zónu s takovým vztahem, existuje pravděpodobná možnost, že zájmová oblast obsahuje lidskou tvář.[36]

### 3.3 Textura

Textura nám poskytuje informace o prostorovém uspořádání barev nebo intenzit v obraze nebo vybrané oblasti obrazu. Lidskou tvář lze považovat za složení vzorů mikrostruktury. Oční oblasti obvykle obsahují jemnější strukturu než tváře. Každá část lidské tváře může být popsána svými jedinečnými vlastnostmi textury. Nejběžněji používaným způsobem kvantifikace textury v této doméně je její vyjádření pomocí funkcí „Local Binary Pattern“ (LBP). Tvář lze rozdělit do podsekcí, z nichž každá má svou vlastní jedinečnou kvalitu textury. Algoritmy mohou hledat podobné prostorové vztahy v obraze a potenciálně lokalizovat obličej nebo oči. [37][38]

LBP je jednoduchý, ale velmi účinný operátor textury, který označí pixely obrázku prahováním sousedství každého pixelu a výsledek považuje za binární číslo. Pravděpodobně nejdůležitější vlastností operátora LBP v reálných aplikacích je jeho robustnost vůči monotónním změnám ve stupních šedi způsobená například kolísáním osvětlení. Další důležitou vlastností je její výpočetní jednoduchost. Operátor LBP je výkonným prostředkem pro kvantitativní popis textury sledovaného objektu. Operátor LBP je založen na pozorování dvourozměrné povrchové textury, kterou lze popsat dvěma doplňkovými opatřeními: lokálními prostorovými vzory a kontrastem ve stupních šedi. Základní myšlenkou je vytvořit označení pro obrazové pixely stanovením hranice 3x3 každého pixelu střední hodnotou a výsledek je považován za binární číslo. Bere se pixel jako střed a porovná se s jeho sousedy. Pokud je intenzita středového pixelu větší nebo stejná jako jeho soused, je mu přidělena hodnota 1 jinak je mu přidělena hodnota 0. Skončíme s binárním číslem pro každý pixel (např. 10100011). S 8 okolními pixely vznikne  $2^8$  (tj. 256) možných kombinací (tzv. LBP kódy). Obvykle je zkoumaná oblast obrazu rozdělena do skupin nepřekrývajících se 3x3 velkých pixelových polí. [38]

### 3.4 Vlastní oblasti (Eigenfaces)

Pokud vezmeme jakýkoli obrázek lidské tváře a zdeformujeme jej tak, aby byl obraz velmi zkreslený, obrázek nebude vypadat úplně náhodně a navzdory rozdílům mezi jakýmkoli dvěma zkreslenými obrázky kterékoli tváře existují stejné vzory, které se v nich vyskytují. Takovými vzory by mohla být přítomnost některých objektů (oči, nos, ústa), jakož i relativní vzdálenosti mezi těmito objekty. Tyto charakteristické rysy se v oboru rozpoznávání obličeje nazývají „vlastní oblasti“ (Obr. 3.3). Obecně lze s jakýmkoli objektem zacházet z topologického hlediska jako se součtem propadlých míst, vrcholů a jejich vztahů. Pokud například vezmeme tvář, lze oči považovat za propadlé místo ve srovnání s čelem, nosem a tvářemi. [39]



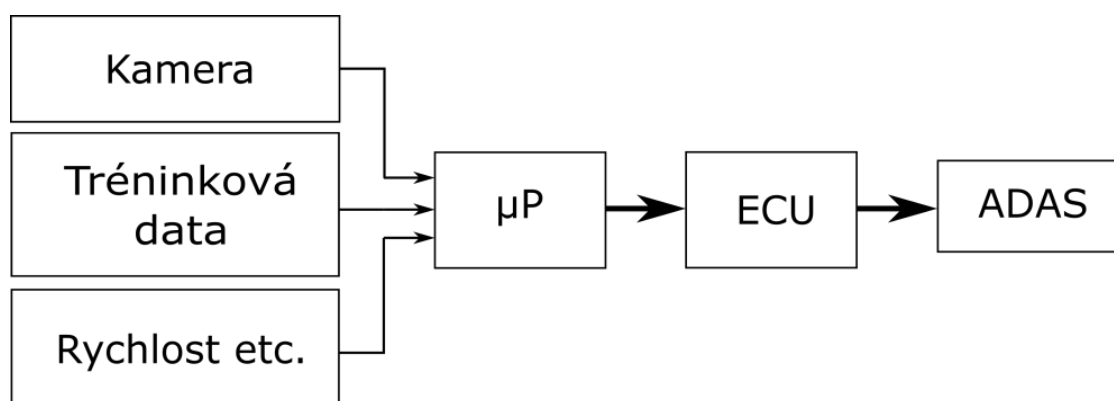
Obr. 3.3 Vzory pomocí metody eigeface.[40]

### 3.5 Infračervená (IR) citlivost

Mezi rysy, které jsou jedinečné pouze pro oči je, že zornice oka odráží téměř všechny příchozí IR záření, zatímco zbytek lidského těla je absorbuje. Tento jev lze snadno detekovat a využít pro účely detekce obličeje/očí v systémech vybavených příslušnými senzory. V takových případech odraz IR světla od zornice vytváří pěkně tvarovaný kruh, který lze detekovat.[7]

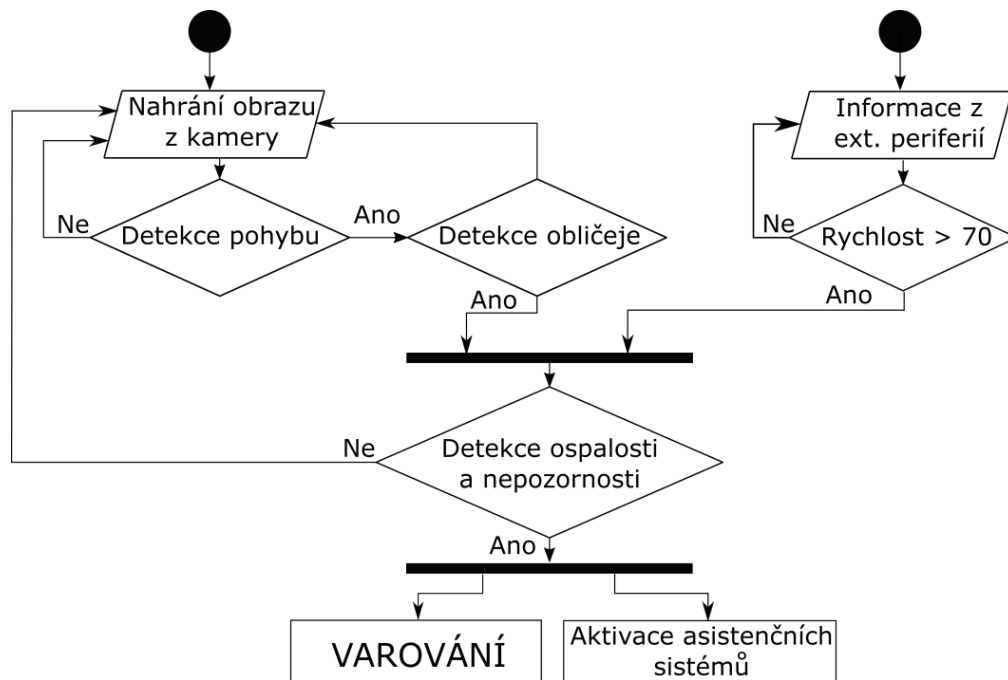
## 4 Návrh a realizace snímání polohy řidiče

Systém na snímání polohy řidiče pomocí kamerového systému se skládá z kamery, která poskytuje dostačující obrazový záznam a softwaru pro zpracování a následně vyhodnocení abnormální polohy řidiče. Ideálně takový systém, který by poskytoval možnost s detekcí obličeje i možnost odhadu vzdálenosti od kamery (např. pro případné nastavení ohniskové vzdálenosti) s podporou infračerveného světla, z důvodu možnost snímání obrazu i za špatných světelných podmínek. Umístění, které poskytuje detekci hlavy během celého rozsah otáčení a je umístěná tak, aby řidiči nepřekážela v přímém výhledu. Jednotlivé obrazové záznamy jsou, podle zvoleného algoritmu pro detekci, zpracovány spolu s potřebnými doplňujícími informacemi, které poskytují okolní periferie.



Obr. 4.1: Blokové schéma návrhu systému

Program pro zachycení obrázku z kamery provede pomocí daného algoritmu rozbor obrázku a pokusí se o detekci obličeje. Pokud bude obličej detekován, jsou potřeba další informace potřebné na aktivaci bezpečnostních systémů a pro případnou detekci abnormální polohy řidiče (např. rychlost vozidla). Jestliže jsou všechny podmínky splněny, dochází k samotné detekci stavu řidiče pomocí analyzování obličeje a polohy hlavy sledovaného řidiče.



Obr. 4.2: Vývojový diagram navrhovaného systému

#### 4.1 Kamerový systém

Jak již bylo zmíněno (kap. 2.1), nejvhodnější pro snímání obrazu uvnitř vozidla by měla být kamera fungující v celém rozsahu světelných podmínek, které mohou nastat během jízdy. K testování pro tuto aplikaci snímání obrazu a detekce polohy hlavy řidiče byla zvolena kamera Intel® RealSense™ D415, která má standardní zorné pole vhodné pro aplikace s vysokou přesností. [41]



Obr. 4.3 Kamera Intel® RealSense™ D415

Tato kamera obsahuje jak RGB senzor pro snímání za dobrého osvětlení, tak IR projektor se senzorem pro snímání obrazu za špatných světelných podmínek. Je zde i třetí senzor, který umožňuje spolu s druhým IR senzorem snímání vzdálenosti. To umožňuje použití jak na sledování řidičovy polohy, tak získání hodnot vzdálenosti řidiče od snímající kamery pro správné nastavení a výpočet ohniskové vzdálenosti použitý v softwarové části. [41]

Tab. 4.1: Obecné parametry kamery.[41]

	RGB	IR
Rozlišení	1920 x 1080	1280 x 720
Záběr (H x V x D)	69° x 42° x 77°	65° x 40° x 72°
Obnovovací fr.	30 fps	90 fps
Dosah	0,3 - 10 m	0,16 - 10 m



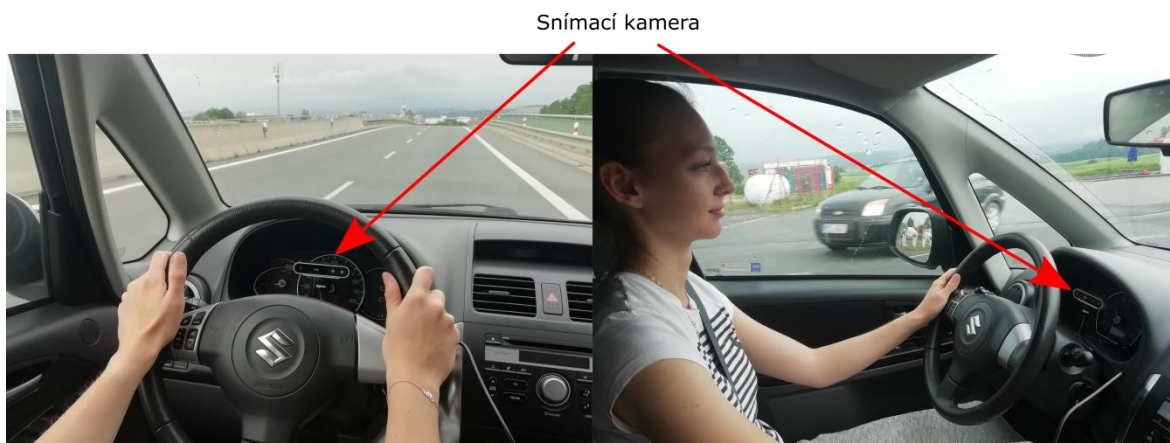
Obr. 4.4: Obrázek zachycený pomocí RGB senzoru (levý) a IR senzoru (pravý)

#### 4.1.1 Umístění snímací kamery

Kamera pro snímání polohy řidiče je umístěna na vrchu krytu sloupku volantu (Obr. 4.5). Z daného místa má kamera nejlepší záběrný úhel na hlavu řidiče v celém rozsahu, aniž by překážela v přímém výhledu na vozovku před vozidlem.

Pro zjištění polohy umístění kamery byly snímány základní pozice hlavy (Obr. 4.9) z potenciálně možných umístění (horní zpětné zrcátko, boční sloupky a palubová deska). Naměřené výsledky z kamery ve zvolené pozici (na vrchu krytu sloupku volantu) byly vyhodnoceny jako nejvíce přesné.





Obr. 4.5: Umístění snímací kamery

## 4.2 Aplikace pro zpracování obrazu

Detekce obličeje v obraze je založena na principu tzv. „orientačních bodů“ obličeje, které jsou podmnnožinou problematiky předpovědi tvaru. Součástí práce je tedy program napsaný v jazyce C, který slouží ke zpracování a následnému vyhledání obličeje v obraze, které poté slouží vyhodnocení polohy hlavy řidiče. K rozeznání obličeje byly využity prvky open-source knihoven dlib a OpenCV otevřená multiplatformní knihovna zaměřená především na počítačové vidění a zpracování obrazu v reálném čase. Samotný systém není aktivní pod rychlost 5 km/h. Při takové rychlosti se předpokládá, že automobil stojí nebo je v pomalém pohybu (např. parkování, kdy může docházet k otáčení hlavy) a veškerá signalizace je vypnuta. Systém dále pracuje ve 3 režimech:

- **Od 5 km/h do 50 km/h** - dochází ke snímání řidiče, ale signalizace pro detekci abnormální polohy řidiče je vypnuta.
- **Od 50 km/h do 100 km/h** - v tomto rozmezí je signalizace zapnuta a systém detekuje abnormální pozici řidiče podle jedné ze tří uživatelem zvolené úrovně citlivosti.
- **Nad 100 km/h** - nad touto hranicí se riziko nehody (způsobené např. nepozorností) zvyšuje a systém je automaticky nastaven na maximální citlivost (1. úroveň).

System pracuje dynamicky, reaguje na aktuální rychlost a je defaultně nastaven na 2. úroveň citlivosti, kterou si může nastavit uživatel sám. Rozdělení citlivosti detekce abnormálních pozic řidiče je mezi 3 stupně (kdy 1. stupeň je nejcitlivější).

K ovládání systému je vytvořen ovládací panel (Obr. 4.6), který umožňuje upravovat nastavení zobrazení v hlavním zobrazovacím okně. Jelikož není k dispozici modul, který by poskytoval aktuální rychlost, je zde možnost nastavit rychlost pomocí vložení příslušné rychlosti do textového pole, nebo pomocí tlačítek (+) a (-). Zobrazení hlavních referenčních přímk (Obr. 4.9), celého obrysu a směrových vektorů (Obr. 4.14). Na panelu se nachází i možnost přepínání mezi citlivostí detekce a zobrazení informační tabulky



Obr. 4.6: Ovládací panel: 1. Menu připravené pro budoucí použití, 2. Tlačítka pro nastavení rychlosti, 3. Textové okno sloužící pro nastavení rychlosti, 4. Typ zobrazení detekce obličeje v hlavním okně, 5. Nastavení citlivosti, 6. Zobrazení informační tabulky.

V hlavním okně s názvem „DP - rozpoznání obličeje“ je obraz pořízený již zmiňovaným kamerovým systémem. Podle nastavení ovládacího panelu zde mohou být

v levém horním rohu zobrazeny informace, které jsou získány z analýzy pořízeného obrazu nebo z nastavení ovládacího panelu. Jedná se o zobrazované informace:

- natočení hlavy do strany
- dopředu (resp. dozadu)
- náklon do bodu
- aktuální rychlost
- zvolená citlivost
- fps



Obr. 4.7: Hlavní okno: (tabulka vlevo) Informace zobrazující: natočení, náklon do boku a předklon nebo záklon hlavy, aktuální rychlost vozidla, zvolená citlivost a fps kamery. (vpravo nahoře) Informace pro varování řidiče na případnou abnormální pozici řidiče.

V pravém rohu v případě detekce abnormální pozice řidiče je zobrazen varovný nápis, který popisuje možný detekovaný typ. Každý z možných typů detekce má vlastní specifické vlastnosti, které jsou popsány dále v textu.

- Padání hlavy
- Nepozornost
- Usínání
- Zívání
- Nedetekovaný obličej

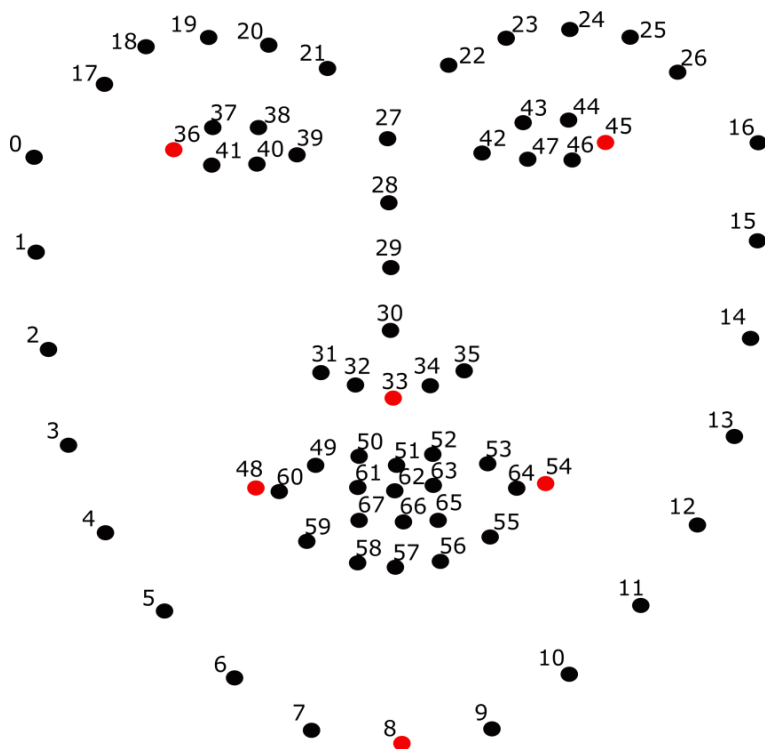
Vzhledem k vstupnímu obrazu se prediktor tvaru pokusí lokalizovat klíčové body obličeje. Zjištění orientačních bodů obličeje je tedy dvoufázový proces, kdy je nejprve potřeba detekovat a lokalizovat obličej na obrázku a poté je třeba zjistit klíčové struktury obličeje potřebné pro další zpracování. K rozpoznání obličeje jsou použity metody detekce objektů HOG spolu s Lineární SVM (již zmíněné ve 3. kapitole), kterým jsou poskytnuta tréninková data získaná z mnoha obrázků obličejů. Za klíčové body obličeje jsou zde brány:

- Pravé a levé oko
- Pravé a levé obočí
- Střed nosu mezi očima
- Špička nosu
- Ústa
- Čelist

Nejprve je potřeba nahrát tréninková data, která obsahují označení obličejových bodů na obrázku. Tyto obrázky jsou manuálně označené a upřesňují specifické (x, y) souřadnice obklopující každou strukturu obličeje. Vzhledem k těmto tréninkovým datům je soubor regresních postupů trénován k odhadu pozic orientačních bodů obličeje přímo ze samotných intenzit pixelů, aby nedocházelo k extrakci důležitých prvků potřebných pro rozpoznání obličeje.

Konečným výsledkem je detektor orientačních bodů obličeje, který lze použít k detekci a přesnému umístění klíčových bodů obličeje v reálném čase. Jako tréninková data pro rozpoznání obličeje je použit tzv. „*shape\_predictor*“ z dlib knihovny, který obsahuje data z mnoha různých obličejů. Detektor orientačních bodů obličeje uvnitř knihovny dlib se používá k odhadu umístění souřadnic 68 bodů (x, y), které mapují

struktury obličeje na detekovaný obličej. Je postaven z 5 HOG filtrů (pohled zepředu, doleva, doprava, otočený doleva a otočený doprava). Jsou použita serializovaná data, která jsou výstupem z HOG filtru použitých na různé typy obličejů. Poté je použit filtr na zachycený obraz z kamery. Data z tréninkových dat jsou deserializována a následně jsou porovnávána z výstupem zachyceného obrazu.



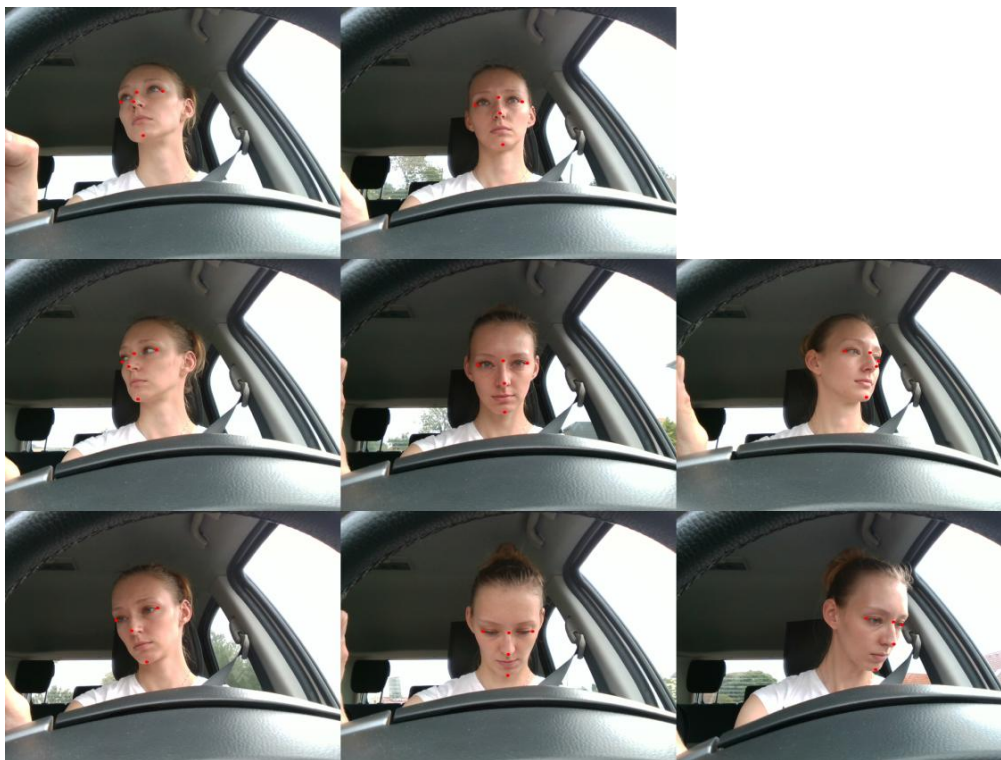
*Obr. 4.8: 68 specifických orientačních bodů lidské tváře*

Dále jsou popsány dvě použité metody. Pro obě metody je potřeba předem znát přesné umístění kamery pro nastavení ohniskové vzdálenosti, přibližné umístění obličeje ve snímaném obraze a hlavně úhel, ze kterého bude obličej snímán. Umístění snímající kamery jsem zvolil místo vrchu krytu sloupku volantu pod tachometrem. Jedná se o místo, které řidiče nerozptyluje, nepřekáží ve výhledu a na rozdíl od kamery ve sloupku nebo ve zpětném zrcátku, zachytí řidičovu tvář v celém rozsahu při běžném provozu. Při použití pouze jedné kamery a její umístění do sloupku nebylo zachycení obličeje tak přesné při otočení na odvrácenou stranu. Při umístění kamery ke zpětnému zrcátku nebyl problém v rozeznání pohledu obličeje do stran, ale docházelo k nedetekování obličeje při pohledu dolů. Jelikož v autě se nachází hlava nejvíce ve vzpřímené poloze, případně při ovládání rádia, nastavování automobilových prvků apod. směřuje dolů, bylo zvoleno umístění

kamery k budíkům. Z této pozice byla kamera schopna zachytit a rozpoznat obličej při normální činnosti řidiče, ve všech základních pozicích hlavy (Obr. 4.9)

#### 4.2.1 Odhad polohy hlavy pomocí (x, y) souřadnic

První metoda pro odhad polohy řidičovi hlavy (resp. její natočení) se počítá ze souřadnic (x, y) klíčových bodů a středu mezi očima (čísla 36, 27 45, 33, 8 obličeje na Obr. 4.8). K nastavení a kalibrování systému pro výpočet bylo potřeba získat pozice souřadnic potřebných bodů. Hodnoty pro kalibrace a hranice pro vyhodnocení polohy hlavy jsou získány z průměrování hodnot získaných z testovacích jízd vybraných respondentů.

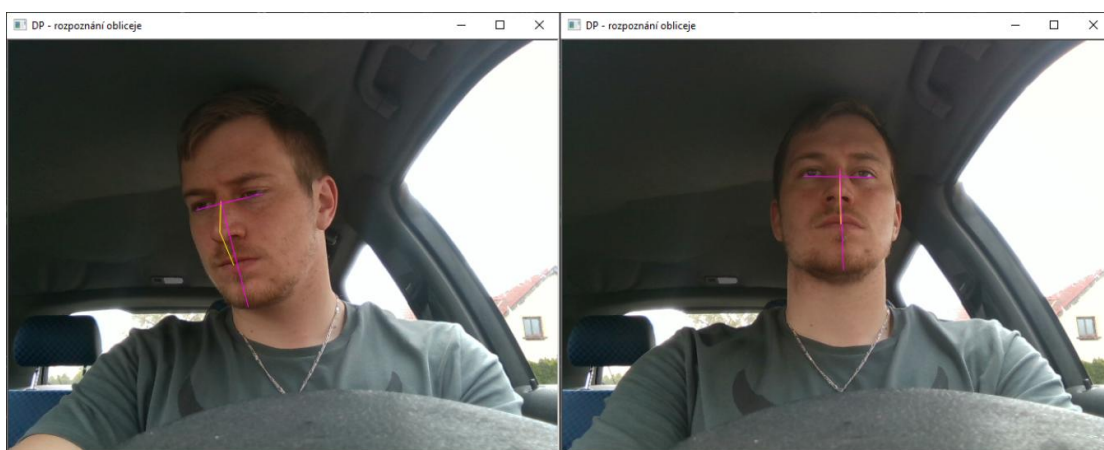


Obr. 4.9: Základní pozice hlavy a zobrazení snímaných bodů pro vyhodnocování pohled  
(a) horní zpětné zrcátko, (b) přímý pohled, (c) pravé zpětné zrcátko, (d) na tachometr,  
(e) levé zpětné zrcátko, (f) rádio, (g) telefon, (h) nastavení světel

Vychází se z poskytnutého obrazu v rozlišení 620x480 s nulovým bodem vlevo nahoře a pevně daném postavení kamery pro nastavení úhlu snímání a rozhodovacích referenčních hodnot hranic. Základní myšlenkou programu pro výpočet a vyhodnocení pohledu řidiče



jsou body koutků pravého a levého oka, které tvoří přímku pro vyhodnocení horizontálního pohybu hlavy. Body středu mezi očima a brady tvoří přímku pro vyhodnocování vertikálního pohybu natočení do stran. Při otáčení hlavy do stran dochází u špičky nosu k jinému natočení, jelikož je blíže ke kameře a dále od osy otáčení hlavy. Ve svislém pohybu dochází k rozdílu bodu mezi očima (nebo také bodu špičky nosu) vůči přímce vytvořené mezi očima.



Obr. 4.10: Znárodnění referenčních přímek

K výpočtu náklonu hlavy je vytvořena funkce, která počítá náklon z (x) souřadnic daných bodů (Obr. 4.11). Náklon hlavy doleva (resp. doprava) je počítán ze souřadnic bodů koutku pravého a levého oka, kdy se porovnávají jejich souřadnice X. Je-li souřadnice X pravého oka větší než levého, znamená to, že je hlava nakloněná doprava a naopak. (0 bod souřadnicového systému je vlevo nahoře, neboli čím níž v obrázku se bod nachází, tím větší má hodnotu)



Obr. 4.11: Body pro výpočet náklonu hlavy. P1 – bod koutku pravého oka, P2 – bod koutku levého oka, PS – bod mezi očima, P5 a P6 – nové polohy středového bodu při pohledu vzhůru resp. dolů.

Náklon dopředu (resp. dozadu) je počítán obdobně, ale je k tomu potřeba dopočítat Y osou. Z pravého a levého koutku oka je vypočítán středový bod (Obr. 4.11. bod Ps), který je porovnán ze středem mezi očima, získaný z výpočtu specifických bodů (bod 27 na obr. 14). Při výpočtu náklonu dopředu (resp. dozadu) je potřeba brát v potaz, že hlava může být natočena do boku. Pro bod Ps platí výpočet (body podle obr. 17):

$$P_{S_x} = \frac{P1_x + P2_x}{2} \quad P_{S_y} = \frac{P1_y + P2_y}{2} \quad (1)$$

Nově vypočítaný bod Ps je poté porovnán se specifickým bodem a je vypočítána vzdálenost těchto dvou bodů (rovnice č. 3), podle které se potom rozhoduje v jaké je hlava pozici. Kombinací výpočtu na náklon hlavy do strany a dopředu se dá spolehlivě vypočítat poloha hlavy. Všechny referenční hodnoty pro rozhodovací hranice jsou získány z průměrných hodnot získaných z testů, kterých se zúčastnilo 5 testovacích osob různého věku a různé výšky.

#### 4.2.2 Odhad pomocí převodu do 3D souřadnic

Druhá metoda je založena na odhadu pozice hlavy, která v počítačovém vidění představuje pozice objektu relativní orientaci a polohu vzhledem k fotoaparátu. Pózu lze změnit buď přesunutím objektu vzhledem k fotoaparátu, nebo kamerou vzhledem k objektu. Odhad pozice hlavy je v počítačovém vidění označován jako PNP (tzv. Perspec-n-Point). Jedná se o nalezení hledaného objektu v obraze, je-li kamera správně nakalibrována, známe umístění 3D bodů na objektu a k tomu odpovídající 2D projekci. Kalibrací se rozumí znát ohniskovou vzdálenost kamery, optické centrum v obraze a parametry radiálního zkreslení. Pro matematické znázornění pohybu kamery sledovaného objektu, kdy objekt má vzhledem ke kameře pouze dva druhy pohybů ve třech směrech, je potřeba nalézt 6 čísel (tři pro přesun a tři pro rotaci).

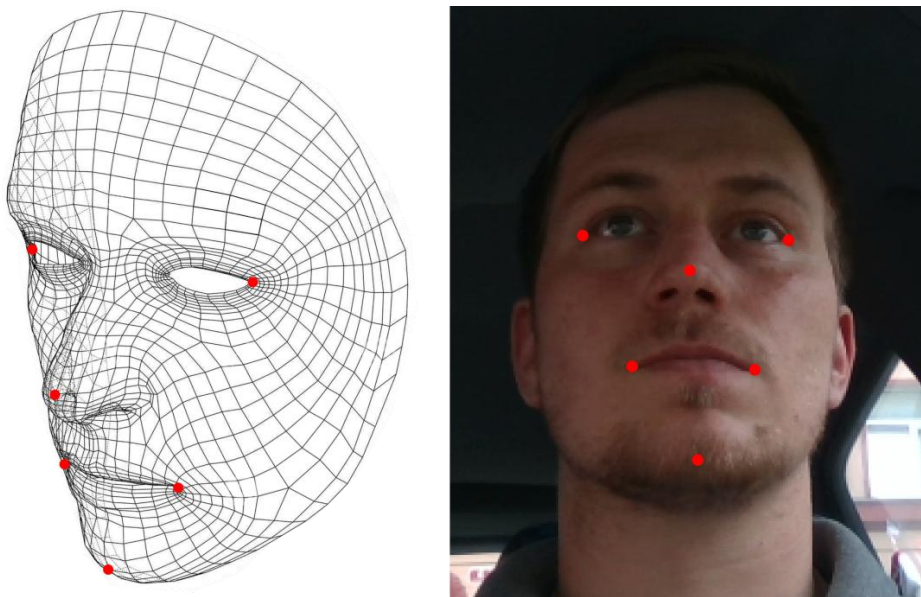
- a) Přesun: Přesunutí kamery z aktuálního 3D umístění (X, Y, Z) na nové 3D umístění (X', Y', Z'). Jedná se o tři směry, ve kterých se může pohybovat X, Y nebo Z. Přesun je reprezentován vektorem T, který je roven (X' - X, Y' - Y, Z' - Z).



- b) Otočení: Kameru můžete také otáčet kolem os X, Y a Z. Rotace má tedy také tři směry, ve kterých se kamera může otáčet. Reprezentován je pomocí Eulerových úhlů (naklápění, stoupání a vybočení), rotační matice 3x3 nebo směru otáčení a úhlu.

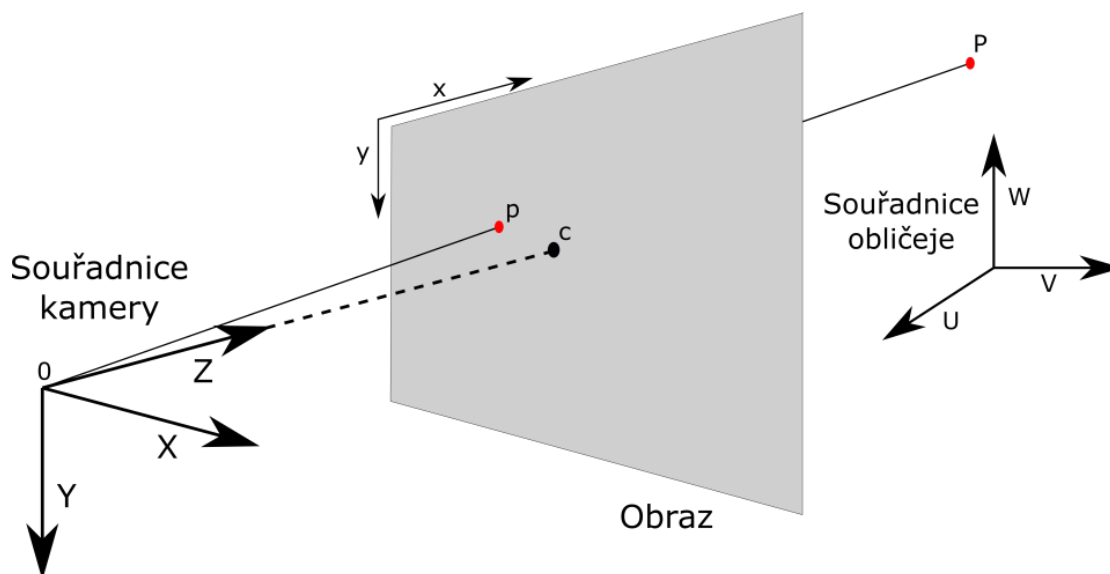
K určení řidičova směru pohledu a polohu hlavy je potřeba znát 2D souřadnice klíčových bodů, které již byly zmíněny v předchozí kapitole. Jedná se o koutek pravého a levého oka, špičku nosu, pravý a levý koutek úst a bradu. Dále je potřeba umístění 3D souřadnic stejných bodů, kdy byl použit virtuální 3D model (obr. 4.12), odkud byly odměřeny a vybrány souřadnice jako průměr výsledků snímaných obličejů při prováděných testech.

- Špička nosu: (0,0, 0,0, 0,0)
- Čelist: (0,0, -340,0, -75,0)
- Levý roh levého oka: (-235, 180, -145)
- Pravý roh pravého oka: (235, 180, -145)
- Levý roh úst: (-160, -160, -135)
- Pravý roh úst: (160, -160, -165)



Obr. 4.12: (vlevo) 3D model hlavy, (vpravo) 2D body obličeje [42]

Jedná se o trojrozměrný souřadnicový systém (Obr. 4.13). Souřadnice 3D výše uvedených bodů mají vlastní souřadnicový systém a je potřeba znát natočení a pozici (tj. přesun) obličeje vůči hlavnímu souřadnicovému systému kamery. Potom je možné promítnout 3D body do obrazu (neboli souřadnicového systému obrazu  $x, y$ )



Obr. 4.13: Znárodnění přenesení 3D bodů sledovaného objektu do 2D obrazu.  $X, Y, Z$  - souřadnice kamery;  $U, V, W$  - souřadnice sledovaného objektu;  $x, y$  - souřadnice zobrazené roviny obrazu;  $0, c$  - ohnisková vzdálenost;  $P$  - náhodný bod;  $p$  - projekce náhodného bodu do obrazu)

Známe-li umístění  $(U, V, W)$  bodu  $P$  ve 3D souřadnicích sledovaného objektu (obličeje), rotaci  $\mathbf{R}$  (matice  $3 \times 3$ ) a posun  $\mathbf{t}$  (vektor  $3 \times 1$ ) s ohledem na souřadnice kamery, je umístění bodu  $p$  v souřadnicovém  $(X, Y, Z)$  kamerového systému vypočítám pomocí rovnice:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} + \mathbf{t} \Rightarrow \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = [R \mid \mathbf{t}] \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Která se dá rozepsat:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & t_x \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & t_y \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

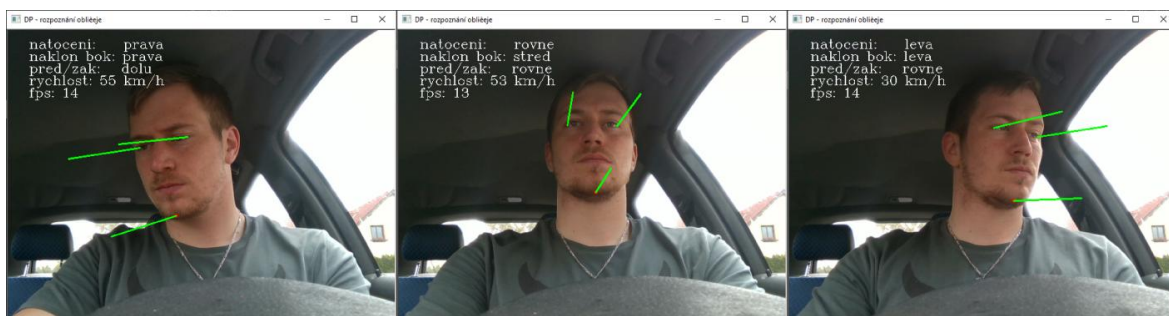
Bylo určeno umístění bodů na 3D modelu (U, V, W), ale body (X, Y, Z) jsou neznámé. Známe pouze umístění 2D bodů (x, y) v obraze. Při absenci radiálního zkreslení jsou souřadnice (x, y) bodu p v souřadnicích obrazu dány pomocí rovnice:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

kde  $f_x$  a  $f_y$  jsou ohniskové vzdálenosti ve směrech (x, y),  $(c_x, c_y)$  je optické centrum a  $s$  značí neznámý faktor měřítka, který je přidán i do rovnice x.

$$s \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & t_x \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & t_y \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

V tomto případě se nepředpokládá pohyb s kamerou ani se nepředpokládají velké změny ve vzdálenosti obličeje ke kameře. Při správném nastavení 3D modelu není třeba s neznámým faktorem měřítka ( $s$ ) počítat a lze jej zanedbat a počítat pouze s rovnicí č. 3. Směr a velikost rotace natočení jsou zobrazeny na obr. 4.14, který vznikl prodloužením rotačního vektoru a pozice přepočítány na příslušný snímané body (pravý a levý koutek oka a brada), který nám ukazuje směr natočení hlavy.



Obr. 4.14: Odhad pozice hlavy pomocí přepočtu z 3D soustavy provedené na testovacích obrázcích. (vlevo) Pohled na rádio, (střed) přímý pohled, (vpravo) pohled do levého zrcátka

Jak lze vidět na obrázku výše (Obr. 4.14 prostřední), je tato metoda velice citlivá na kalibraci kamery a zaznamenaná jakékoliv nerovnosti v detekci obličeje. Je zde vidět nerovnoměrnost určení směru levého koutka oka vůči pravému, a proto je potřeba tyto data před vyhodnocením zprůměrovat. Metoda vyhodnocení pozice hlavy počítá natočení hlavy vzhledem ke kameře a nově změřené klíčové body (tj. špička nosu, čelist, levý a pravý roh, levý a pravý roh úst). Nové body jsou následně přepočítané pomocí modelového 3D obličeje (obr. 4.12) nastaveného podle získaných hodnot z provedených testů a je umístěn tak, aby byl co nejpřesněji v umístění snímaného obličeje.

### 4.3 Analýza a vyhodnocení naměřených výsledků

Naměřená data během testů jsou ukládána do tabulkových souborů, které jsou následně zpracovány pomocí programu MATLAB. Do souboru jsou ukládány souřadnicové hodnoty (x, y) klíčových bodů pro vykreslení grafů zobrazující např. natáčení hlavy zachycené na jednotlivých snímcích během jízdy (Obr. 4.9)

Do souborů jsou také vypsané hodnoty pro vyobrazení pozornosti a počet případných výstražných oznámení, které by se během jízdy objevily na varovném displeji. Do souboru jsou ukládány hodnoty natočení hlavy během jízdy, kdy se bere plná pozornost jako natočení hlavy v přímě poloze a bez otočení do strany (resp. ve středu). Analýza obsahuje také možnost zobrazení procentuální zhodnocení jízdy, kdy je vyhodnocena kolik času se řidič věnuje sledování vozovky během jízdy. Systém zaznamená nepozornost natočením hlavy mimo vozovky (dlouhou dobu nastavování radia, ovládání telefonu, apod.), nebo ospalost vyznačují se zíváním a pomalým padáním hlavy.

### 4.4 Detekce abnormální pozice řidiče

Pro detekci abnormální pozice řidiče je nejprve potřeba definovat, co taková pozice znamená a jak vypadá. V této práci abnormální pozice vyjadřuje stav, kdy řidič při jízdě nevěnuje pozornost vozovce a samotnému řízení za daný časový usek. Realizovaný systém je zaměřen na snímání polohy hlavy pomocí kamerového systému, který naměřená data dále zpracuje a vyhodnocuje. Pomocí detekování těchto pozic lze detekci dále rozdělit do

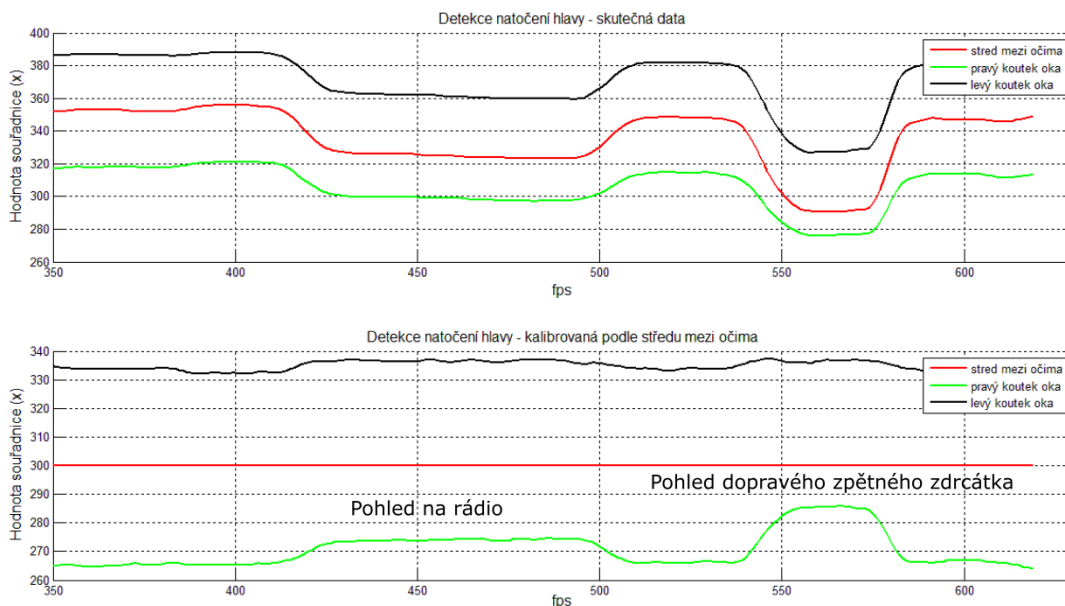
dvou detekčních sekcí, jedná se o nepozornost a ospalost řidiče. Detekování abnormální pozice řidiče je tedy zaměřeno na:

- **Natočení hlavy do stran v přímém postavení** – při koukání z bočních oken nebo sledování zpětných zrcátek
- **Natočení hlavy do strany a dolů** – hledání věcí, ovládání rádia apod.
- **Natočení hlavy přímo dolů** – usnutí nebo ovládání telefonu
- **Ztráta detekce obličeje během jízdy** – hledání věcí na zemi nebo otáčení se dozadu
- **Detekování obličeje mimo střední (obvyklou oblast)** – nahnutí

#### 4.4.1 Detekce nepozornosti

K detekci nepozornosti řidiče je potřeba, kromě polohy hlavy, znát i její natočení. Při pohledu do strany (první zmiňovaná abnormální pozice) je počítána míra natočení z (x, y) souřadnic referenčních bodů. Kromě míry natočení je potřeba rozlišovat i směr natočení, který má spolu se stupněm nastavení citlivosti vliv na koeficient vyhodnocení nepozornosti.

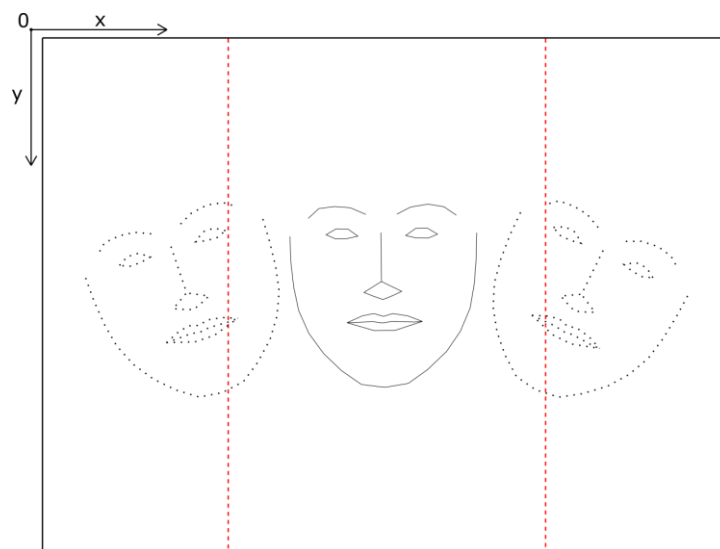
Systém je naučen rozeznávat míru natočení, aby např. při pohledu na navigaci, kterou dokáže řidič sledovat současně s vozovkou, nevyhodnotil situaci jako nepozornost a začal upozorňovat řidiče. Naopak při pohledu do bočních zpětných zrcátek nebo pohledu z bočního okénka po delší dobu je potřeba upozornit řidiče na případnou nepozornost. Je třeba brát v potaz, že již při rychlosti 80km/h ujede auto vzdálenost 22 metrů za vteřinu. V defaultním stavu je systém nastaven tak, aby řidič, který se nepodíval přímo při jízdě delší než 50 m, byl upozorněn na případnou nepozornost. Ujetá vzdálenost se počítá přímo z rychlosti, kdy např. 80 km/h je cca 22 m/s a při snímací rychlosti 15fps je řidič upozorněn je-li detekována nepozornost na 33 snímcích.



Obr. 4.15: Hodnoty souřadnic (x) během testovací jízdy. Naměřená data (horní graf) a data po kalibraci (spodní graf), kde je vidět hodnota natočení hlavy při pohledu na rádio a na pravé zpětné zrcátko

Z výsledků získaných z měření odhadu natočení hlavy pomocí souřadnic (x, y) referenčních bodů (obr. 4.14) lze vypočítat velikost natočení hlavy podle velikosti odchylky špičky nosu od středové referenční přímky mezi středem očí a bradou (Obr. 4.10). Je zde vidět natočení při pohledu na GPS a pohled do pravého zpětného zrcátka. Pokud vypočítaná hodnota odchylky otočení hlavy je větší než minimální hodnota určená pro schopnost řidiče sledovat vozovku v přímém směru, je indikována nepozornost. Přetrvá-li hlava v tomto stavu takovou dobu, že při dané rychlosti automobil ujede 50 m, je stav vyhodnocen jako nepozornost.

Snímaný obraz je rozdělen pomocí dopočítaných hranic do tří částí (obr. 4.15). Kamera je nastavena tak, aby se hlava během jízdy vyskytovala uprostřed snímaného obrazu. Detekce překročení jedné z hranic značí, že se řidič může nacházet v abnormální pozici, ale pro rozlišení typu jsou potřeba další informace. Při detekci obličeje překračující hranici a následně dojde ke ztrátě detekce obličeje (např. hledání věcí na zemi, nebo se řidič otočil dozadu) je situace vyhodnocena jako nepozornost. Je-li pohyb do strany při překročení hranice pomalý s následným trhnutím zpátky, je situace vyhodnocena jako ospalost (více dále v textu).



4.16: Znárodnění dopočítaných hranic (červeně) pro rozhodování nedochází-li k neobvyklému náklonu. Uprostřed (plná čára) je obvyklá poloha hlavy a na stranách (tečkovaně) jsou vyznačeny neobvyklé polohy

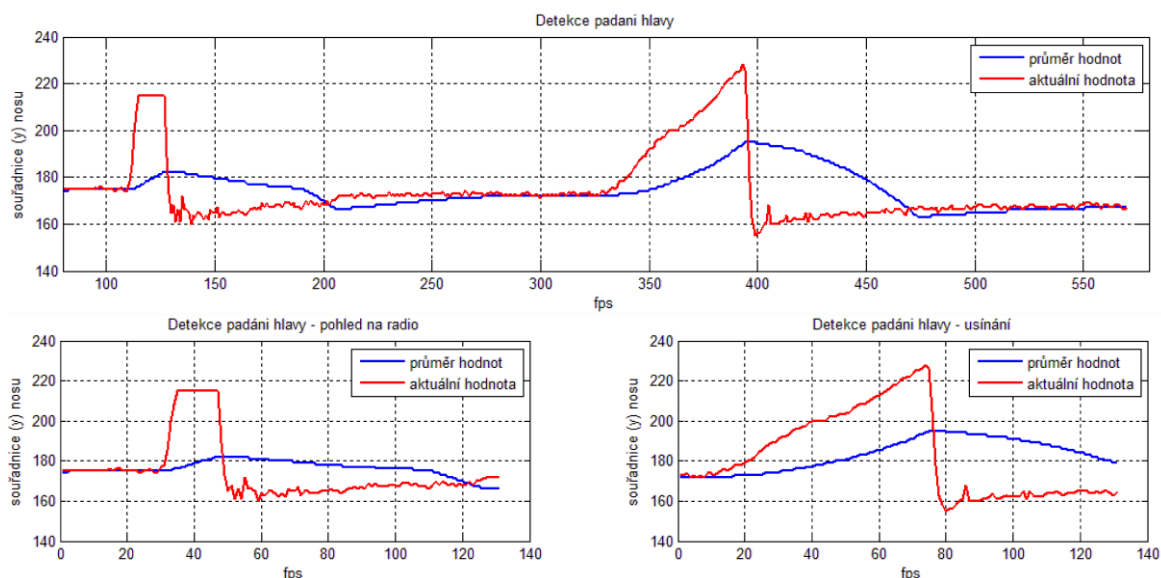
#### 4.4.2 Detekce ospalosti

Při ospalosti řidiče dochází k mikrosnánku, který se vyznačuje pomalým klesáním hlavy s následným rychlým trhnutím při probuzení nebo zavírání očních víček. U klesání hlavy dochází k natočení hlavy přímo dolů, jedná se tedy o jednu ze zmiňovaných abnormálních pozic řidiče. Pomalé klesání je rozdílné od pohledu na ovládací prvky (rádio, klimatizace atd.), kdy dochází k rychlému poklesu při pohledu dolů a následnému rychlému narovnání při zpětném pohledu na vozovku. Klesání hlavy se měří pomocí snímáním souřadnic (x, y) referenčních bodů, u kterých je měřen průměr z několika již poskytnutých snímků uložených do registru podle vzorce (2).

$$\text{průměr} = \frac{\text{součet hodnot prvků registru}}{\text{počet prvků registru}} \quad (6)$$

Padá-li hlava pomalu, průměr se mění (zvětšuje) a při prudkém trhnutí bude rozdíl aktuální hodnoty (obr. 4.15) a průměru větší než klasifikátor, který byl předem určena jako hraniční hodnota pro detekci možné ospalosti řidiče. V případě detekce bude do počítadla určené pro detekci ospalosti zvětšeno o 1. Tento případ se bere jako varování případné

ospalosti a při navýšení počítadla do dané hodnoty, bude řidič vizuálně upozorněn na možnou ospalost.



4.17: Detekce padání hlavy při sledování souřadnice špičky nosu.

(červená – aktuální hodnota souřadnice špičky nosu, modrá – průměr naměřených hodnot uložených do registru)

Dalším příznakem ospalosti může být zívání. To z pohledu měření pomocí kamery znamená změření otevření úst po daný časový úsek. Přesněji vzdálenost bodu středu horního a dolního rtu. Zde je použit vzorec (7) pro výpočet vzdálenosti dvou bodů (A, B) v rovině:

$$|AB| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \tag{7}$$

Průměr se počítá obdobně jako v prvním případě, kdy se porovnává průměrná hodnota vzdálenosti s aktuální hodnotou a pokud bude rozdíl mezi těmito dvěma body větší než hodnota značící zívání, tak je také přičtena do příslušného počítadla pro detekci ospalosti zvětšeno o 1. Při dosažení hraniční hodnoty počítadla je řidič vizuálně varován na možnou ospalost. Citlivost detekce obou zmiňovaných a měřených případů ospalosti se dá měnit pomocí změny počtu prvků zapsaných do registru.



Dalším způsobem měření ospalosti pomocí (x, y) souřadnic je detekce mrknutí, neboli měření poměru stran oka (PSO). Mrknutí je rychlé zavření a opětovné otevření víček a vzor mrknutí může mít každý jednatelivce jiný. Vzor se liší jak v rychlosti tak dobou trvání mrknutí. Průměrně mrknutí trvá přibližně 100-400ms, tudíž je potřeba k zachycení dostatečně snímací a vyhodnocovací rychlost (15+ víc fps), aby nedošlo ke špatnému vyhodnocení. Při měření ospalosti se předpokládá, že při usínání zůstává oko v zavřeném stavu delší dobu a naopak při suchém oku dochází k častějšímu mrkání. Detekce PSO nemusí správně rozpoznat mrknutí oka a je třeba nastavit klasifikátor, který bere v úvahu větší časové okno vyhodnocení snímku, aby nedocházelo k falešným impulsům. Z orientačních bodů detekovaných na obrázku 4.11 odvodíme PSO, který se používá jako odhad stavu otevření oka.

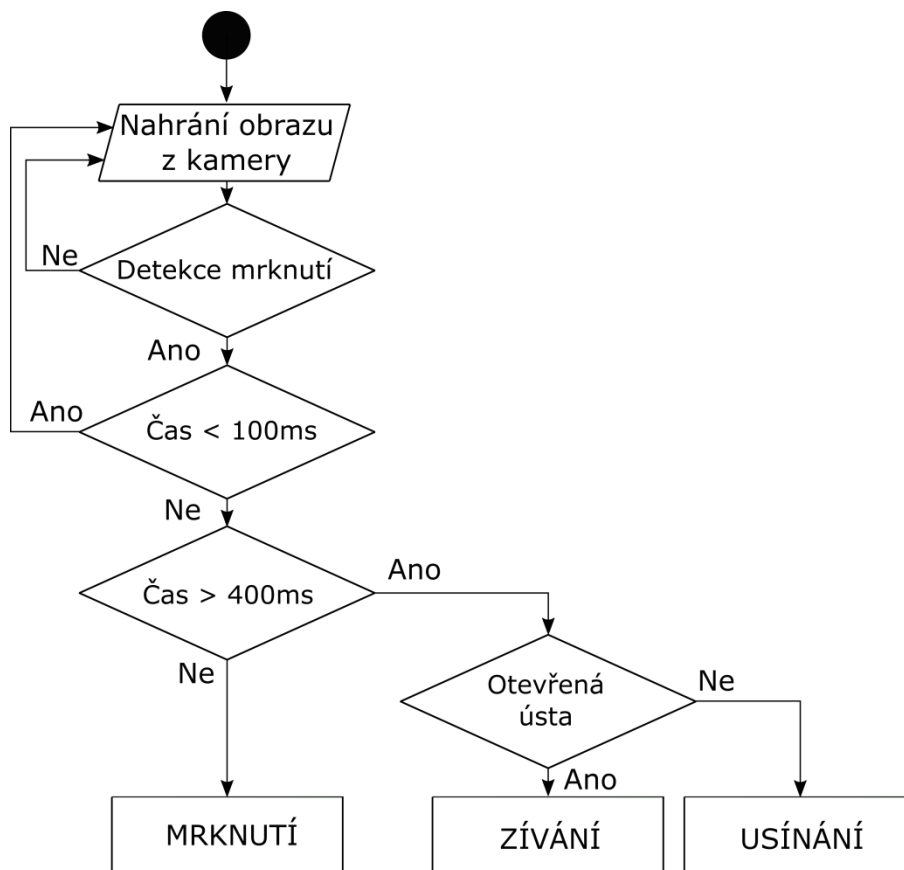


4.18: Otevřené a zavřené oko s detekovanými orientačními body

$$PSO = \frac{\|B - F\| + \|C - E\|}{2 * \|A - D\|} * 100 \quad (8)$$

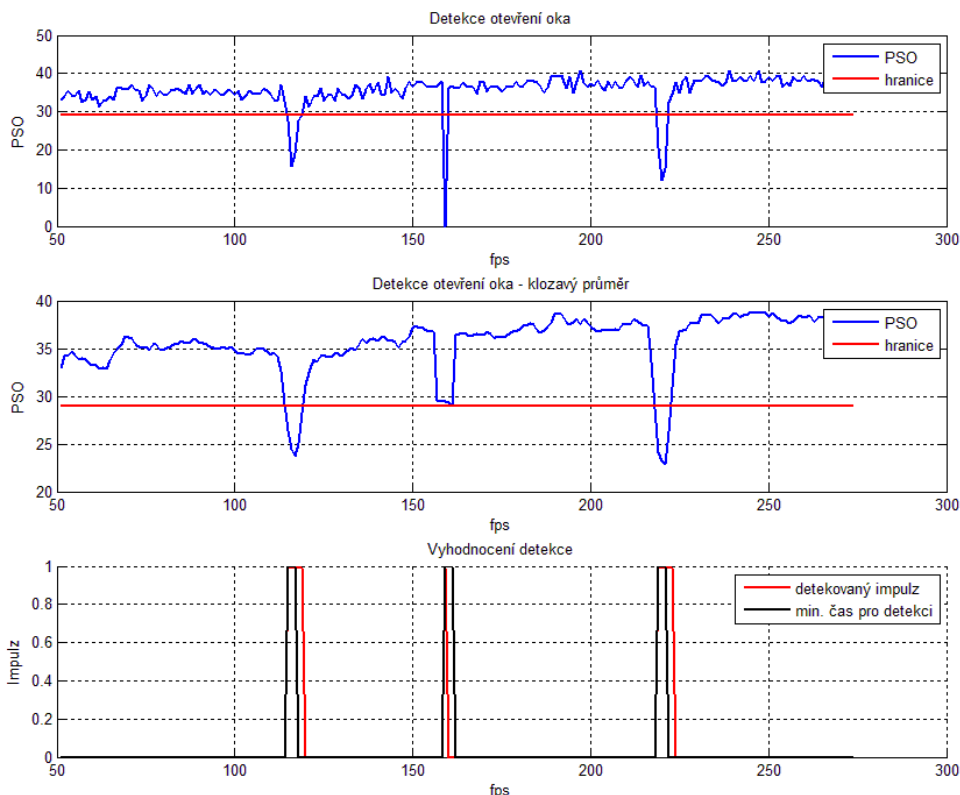
Pro každý snímek je PSO počítán a ukládán do registru, kde se počítá klouzavý průměr (rovnice č. 2) pro odstranění případných výpadků a špatně vyhodnocených orientačních bodů. Při detekci zavření oka je vyhrazeno časové okno, po které se zjišťuje, zdali nejde o falešný impuls, který se objevil krátce. Malé výkyvy zachytí klouzavý průměr, ale je třeba počítat i s velkými výpadky. Při těchto nechtěných stavech se zjišťuje délka trvání impulsu, je-li menší než 100ms (při rychlosti 15fps se jedná o cca 2 vyhodnocené snímky), jedná se o falešný impuls. Jestliže detekce trvá v rozmezí 100-400ms (při 15fps se jedná o 6 vyhodnocených snímků), je signál vyhodnocen jako mrknutí. Při delším trvání než 400ms už je podezření na ospalost, kde hrají důležitou roli ještě další aspekty (otevřená ústa nebo klesání hlavy). Otevřená ústa jsou vyhodnocena

jako příznak zívání a počítadlo určeno pro detekci ospalosti je zvětšeno o 1 a s kombinací detekce padání hlavy je okamžitě zobrazeno upozornění.



4.19: Vývojový diagram funkce na vyhodnocení ospalosti pomocí sledování očí

Měřeny jsou tedy tři možnosti ospalosti: klesání hlavy, zívání a zavírání očí. Každá tato možnost vyhodnocuje vlastní specifické vlastnosti chování řidiče (resp. jeho hlavy a obličeje) a jsou vzájemně propojeny. Jejich vyhodnocení ovlivňuje hodnotu počítadla určené pro detekci ospalosti. Hodnoty navyšování počítadla jsou rozděleny podle vážnosti varování (např. zívání zvyšuje počítadlo o 1, zavírání očí o 3, a kombinace zavírání očí a padání hlavy má hodnotu 5). Při hodnotě počítadla větší než 1 se jedná o lehké varování (např. kontrolkou – zastavit na přestávku) a při dosažení hodnoty 5 a více je vyobrazen varovný nápis k zastavení.



4.20: Zachycení 2 mrknutí (pravý a levý impuls) a jednoho falešného impulsu (prostřední).  
 1. Graf – hodnoty PSO, 2. Graf – klouzavý průměr hodnot PSO, 3. Graf – vyhodnocení detekovaných impulsů (pravý a levý byl detekován, prostřední je moc krátký)

#### 4.5 Testovací jízdy

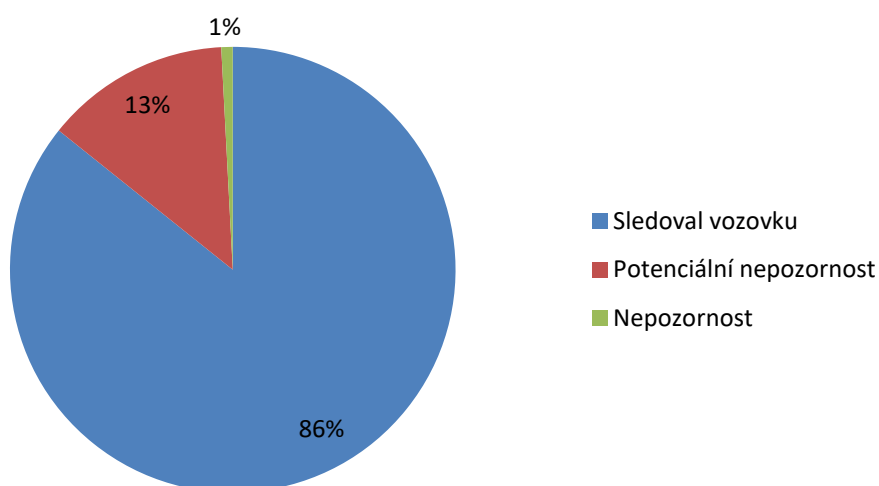
Testovacích jízd se zúčastnilo celkem 5 subjektů, Z naměřených dat (příloha na CD) jsou vyhodnoceny celkově tři stavy (tab. 4.1):

1. **Sledování vozovky** - značí stav, kdy se nacházela hlava ve vzpřímené poloze bez natočení do stran
2. **Potenciální nepozornost** - je vyhodnocena, je-li detekována abnormální pozice řidiče, ale nepřesáhla časový úsek, který by detekci vyhodnotil jako *nepozornost*
3. **Nepozornost** – značí detekování abnormální pozice, který přesáhl časový úsek pro vyhodnocení jako *nepozornost*

Tab. 4.2: Vyhodnocení testovacích jízd

Testovací subjekt	Sledoval vozovku [%]	Potenciální nepozornost [%]	Nepozornost [%]
1	85	13	2
2	74	26	<1
3	92	8	<1
4	85	13	2
5	88	12	<1

Z tabulky je vidět, že potenciálně nepozorný řidič je subjekt 2, ale nepozornost je detekována nejvíce u subjektu 1 a 4. Takové odchylky mohou být způsobeny prostředím, ve kterém se testování provádělo (dálnice, okresní cesty), nebo rušivými vlivy (ladění rádia, telefonování, apod.). Grafické znázornění jednotlivých jízd (příloha A ko).



Obr. 4.21: Celkové zhodnocení testovacích jízd

## **Závěr**

Cílem této diplomové práce bylo sestavit systém, který snímá polohy řidiče automobilu pomocí vizuálního obrazu. Součástí zadání bylo také vypracovat přehled principů asistenčních systémů využívající sledování řidiče, ze kterých byl předložen stručný přehled jednotlivých metod a měření. Na základě zjištěných informací ohledně možností snímání obrazu uvnitř vozidla a metodik detekce obličeje, byl navržen a realizován systém, který pomocí kamery vyhodnocuje abnormální pozice řidiče.

Systém vykazoval velmi přesné a stálé výsledky v laboratorním prostředí, ale z naměřených dat testovacích jízd byly zjištěny nepřesnosti způsobené špatným vyhodnocením polohy obličeje. Ty poté vedly k mylným varovným oznámením. Velký vliv na to měly nekonzistentní osvětlení v automobilu, nedetekovatelné objekty před obličejem (např. zakrytí úst rukou) a vibrace. Při detekci ospalosti docházelo při jízdě často k mylným detekcím mrknutí, které bylo způsobeno špatným rozlišením kamery, resp. velkou vzdáleností obličeje od kamery. Značnou roli na detekci také zaujímá míra zakrytí obličeje. U dioptrických nebo slunečních brýlí docházelo ke správné detekci při přímém pohledu, ale špatné při téměř jakémkoliv natočení do strany. Při částečném zakrytí obličeje (vlasy nebo rouška) byly výsledky z naměřených hodnot nepoužitelné.

Realizovaný systém pracuje správně, ale pouze za určitých podmínek. Detekce nepozornosti lze v předkládané práci spíše chápat jako potenciální nepozornost, jelikož nemáme žádnou informaci o směru pohledu řidiče. Použití jedné kamery se jeví jako dobrý doplněk asistenčních služeb, ale pro správnou funkčnost detekce je zapotřebí více informací ohledně polohy a stavu řidiče. Jednou z možností je např. přidání další kamery, která snímá polohu řidiče z jiného úhlu a k vyhodnocení používá jinou metodu pro minimalizaci falešných signálů.

## Zdroje

- [1] S. Arun, K. Sundaraj a M. Murugappan, Driver inattention detection methods: A review, *IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT)*, Kuala Lumpur, 2012. doi: 10.1109/STUDENT.2012.6408351.
- [2] S. J. Lee, J. Jo, H. G. Jung, K. R. Park a J. Kim, Real-Time Gaze Estimator Based on Driver's Head Orientation for Forward Collision Warning System, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, ver. 12, č. 1, 2011. doi: 10.1109/TITS.2010.2091503.
- [3] H. Yang a X. A. Wang, Cascade Face Detection Based on Histograms of Oriented Gradients and Support Vector Machine, 2015 10th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC), Krakow, 2015. doi: 10.1109/3PGCIC.2015.14.
- [4] X. Zhang, N. Zheng, F. Mu a Y. He, Head pose estimation using isophote features for driver assistance systems, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Xi'an, 2009. doi: 10.1109/IVS.2009.5164340.
- [5] Watanabe, T., Ito, S. a Yokoi, K. Co-occurrence Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *IPSI Transactions on Computer Vision and Applications*, 2010.
- [6] E. Murphy-Chutorian a M. M. Trivedi, Head Pose Estimation and Augmented Reality Tracking: An Integrated System and Evaluation for Monitoring Driver Awareness, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, ver. 11, č. 2, 2010. doi: 10.1109/TITS.2010.2044241.
- [7] P. Smith, M. Shah a N. da Vitoria Lobo, Determining driver visual attention with one camera, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, ver. 4, č. 4, 2003218 s, Dec., doi: 10.1109/TITS.2003.821342.
- [8] T. Abe, T. Nonomura, Y. Komada, S. Asaoka, T. Sasai, A. Ueno, a Y. Inoue. Detecting deteriorated vigilance using percentage of eyelid closure time during behavioral maintenance of wakefulness tests. *International Journal of Psychophysiology*, 82(3):269–274, 2011.
- [9] C. Qingzhang, W. Wenfu a C. Yuqin. Research on eye-state based monitoring for drivers' dozing. *Intelligent Information Technology Applications*, 2007 Workshop on, 1:373–376, 2009
- [10] A. I. Pack, A. M. Pack, E. Rodgman, A. Cucchiara, D. F. Dinges, a C. Schwab. Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep. *Accident Analysis and Prevention*, 1995. 27(6):769–775,
- [11] R. Feng, G. Zhang, a B. Cheng. An on-board system for detecting driver drowsiness based on multi-sensor data fusion using Dempster-Shafer theory. In *Networking, Sensing and Control*, 2009. ICNSC '09. International Conference on Networking
- [12] M. M. Mitler, K. S. Gujavarty, a C. P. Browman. Maintenance of wakefulness test: a polysomnographic technique for evaluation treatment efficacy in patients with excessive somnolence. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 53(6):658–61
- [13] M. Akin, M. B. Kurt, N. Sezgin, a M. Bayram. Estimating vigilance level by using EEG and EMG signals. *Neural Comput. Appl.* 2008. 17(3):227–236
- [14] R. N. Khushaba, S. Kodagoda, S. Lal a G. Dissanayake, Driver Drowsiness Classification Using Fuzzy Wavelet-Packet-Based Feature-Extraction Algorithm, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, ver. 58, č. 1. 2011. doi: 10.1109/TBME.2010.2077291.

- [15] W. C. Liang, J. Yuan, D. C. Sun, a M. H. Lin. Changes in physiological parameters induced by indoor simulated driving: Effect of lower body exercise at mid-term break. *Sensors*, 2009. 9(9):6913–6933,
- [16] J. Gomez-Clapers and R. Casanella, Fast and Easy-to-Use ECG Acquisition a Heart Rate Monitoring System Using a Wireless Steering Wheel, *IEEE Sensors Journal*, ver. 12, č. 3, pp. 610-616, 2012, doi: 10.1109/JSEN.2011.2118201.
- [17] B.-G. Lee a W.-Y. Chung. Multi-classifier for highly reliable driver drowsiness detection in Android platform. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 2012. 24(02):147–154.
- [18] Driver Monitoring System | Eye Tracking Technology | Smart Eye. *Eye tracking technology for tomorrows vehicles and research | Smart Eye* [online]. Copyright ©2019 Smart Eye AB. [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://smarteys.com/automotive-solutions/>
- [19] The Prevalence and Impact of Drowsy Driving - AAA Foundation. *AAA Foundation for Traffic Safety* [online]. [cit. 16.06.2020] Dostupné z: <https://aaafoundation.org/prevalence-impact-drowsy-driving/>
- [20] Global status report on road safety 2018. *WHO* [online]. ©2018 [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://www.who.int/publications/i/item/global-status-report-on-road-safety-2018>
- [21] J. Kalsi, T. Tervo, A. Bachour a M. Partinen. Sleep versus non-sleep-related fatal road accidents. *Sleep Med.* 2018. doi:10.1016/j.sleep.2018.04.017
- [22] J. A. Horne and L. A. Reyner. Sleep related vehicle accidents. *BMJ*, 310(6979):565–567, 3 1995.
- [23] CCD vs CMOS | Teledyne DALSA. [online]. ©2020 Teledyne Digital Imaging Inc. [cit. 11.04.2020]. Dostupné z: <http://www.teledynedalsa.com/en/learn/knowledge-center/ccd-vs-cmos/>
- [24] W. Dong a P. Qu, "Eye state classification based on multi-feature fusion," *2009 Chinese Control and Decision Conference*, Guilin, 2009. doi: 10.1109/CCDC.2009.5195119.
- [25] *Eye tracking technology for tomorrows vehicles and research | Smart Eye* [online]. [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://smarteys.com/wp-content/uploads/2019/10/An-in-depth-look-at-our-technology-1.pdf>
- [26] E. Cheng, B. Kong, R. Hu a F. Zheng, Eye state detection in facial image based on linear prediction error of wavelet coefficients, *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Bangkok, 2009. doi: 10.1109/ROBIO.2009.4913203.
- [27] P. Konstantopoulos, P. Chapman , D. Crundall. Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accid Anal Prev.* 2010. doi:10.1016/j.aap.2009.09.022
- [28] The National Advanced Driving Simulator. *The National Advanced Driving Simulator* [online]. ©2014 [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://www.nads-sc.uiowa.edu/>
- [29] Ford Motor. Sustainability Report r 2018/19 [online] ©2019 Ford Motor Company [cit. 18.05.2020]. Dostupné z: <https://corporate.ford.com/microsites/sustainability-report-2018-19/assets/files/sr18.pdf>
- [30] *Wayback Machine* [online]. Copyright © 2009 Lexus [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20090303180114/http://www.lexus.eu/range/ls/key-features/safety/safety-driver-monitoring-system.aspx>
- [31] LS driver monitoring systém. [online]. [cit. 03.04.2020] Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LS\\_driver\\_monitoring\\_system.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LS_driver_monitoring_system.PNG)

- [32] Drowsiness-detection system warns drivers to prevent them falling asleep momentarily. [online]. ©2020 Daimler AG. [cit. 6.06.2020]. Dostupné z: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/ATTENTION-ASSIST-Drowsiness-detection-system-warns-drivers-to-prevent-them-falling-asleep-momentarily.xhtml?oid=9361586>
- [33] Driver Fatigue Detection | Miles Continental. *Volkswagen & ŠKODA Dealer in Christchurch | Miles Continental* [online]. © Copyright [cit. 05.05.2020]. Dostupné z: <https://www.milescontinental.co.nz/news/features/driver-fatigue-detection/>
- [34] Histogram of Oriented Gradients. *Learn OpenCV (C++/Python)* [online]. ©2020 [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.learnopencv.com/histogram-of-oriented-gradients/>
- [35] HOG face pattern generated from lots of face images | Download Scientific Diagram. *ResearchGate | Find and share research* [online]. ©2008 [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/HOG-face-pattern-generated-from-lots-of-face-images\\_fig3\\_331769278](https://www.researchgate.net/figure/HOG-face-pattern-generated-from-lots-of-face-images_fig3_331769278)
- [36] P. Viola and M. Jones. Robust real-time object detection. In *International Journal of Computer Vision*, 2001.
- [37] A. Lensky a J. Lee. Driver's Eye Blinking Detection Using Novel Color and Texture Segmentation Algorithms. *International Journal of Control, Automation and Systems*. 2012. 10.1007/s12555-012-0212-0.
- [38] T. Ahonen, A. Hadid a M. Pietikäinen. Face Recognition with Local Binary Patterns. In: Pajdla T., Matas J. (eds) *Computer Vision - ECCV 2004*. ECCV 2004. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-540-21984-2
- [39] H. Zhang, W. Liu, L. Dong a Y. Wang. Sparse eigenfaces analysis for recognition, *2014 12th International Conference on Signal Processing (ICSP)*, Hangzhou, 2014. doi: 10.1109/ICOSP.2014.7015131.
- [40] On Eigenfaces: Creating ghost-like images from a set of faces.. *Mike Dusenberry* [cit. 16.06.2020]. [online]. Dostupné z: <https://mikedusenberry.com/on-eigenfaces>
- [41] Depth Camera D415 – Intel® RealSense™ Depth and Tracking Cameras. *Intel® RealSense™ Depth and Tracking Cameras* [online]. Copyright © Intel Corporation [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d415/>
- [42] Wire-frame abstract human face Royalty Free Vector Image. *VectorStock - Vector Art, Images, Graphics & Clipart* [online]. Copyright © 2020. [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/wire-frame-abstract-human-face-vector-20625139>



## Přílohy

### Přílohy na CD

Software pro snímání polohy řidiče a detekování abnormální polohy.

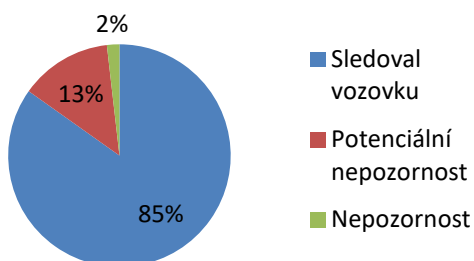
Video ukázka testovací jízdy.

Naměřená data z testovacích jízd.

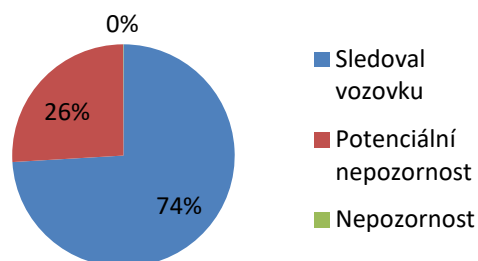
Funkce použité v MATLABu k vykreslení naměřených dat.

### Příloha A – Grafy z vyhodnocených testů

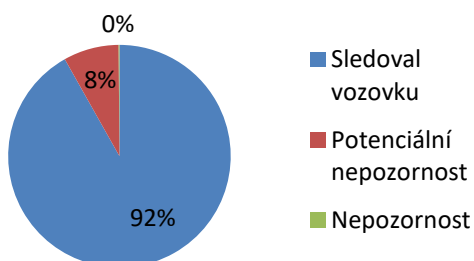
#### Subjekt 1



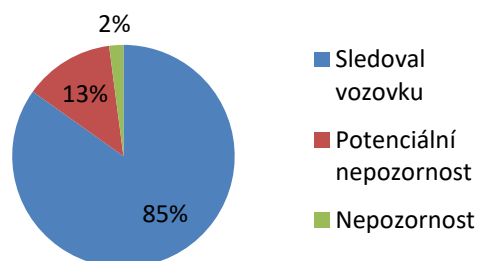
#### Subjekt 2



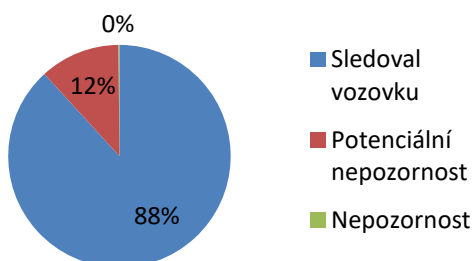
#### Subjekt 3



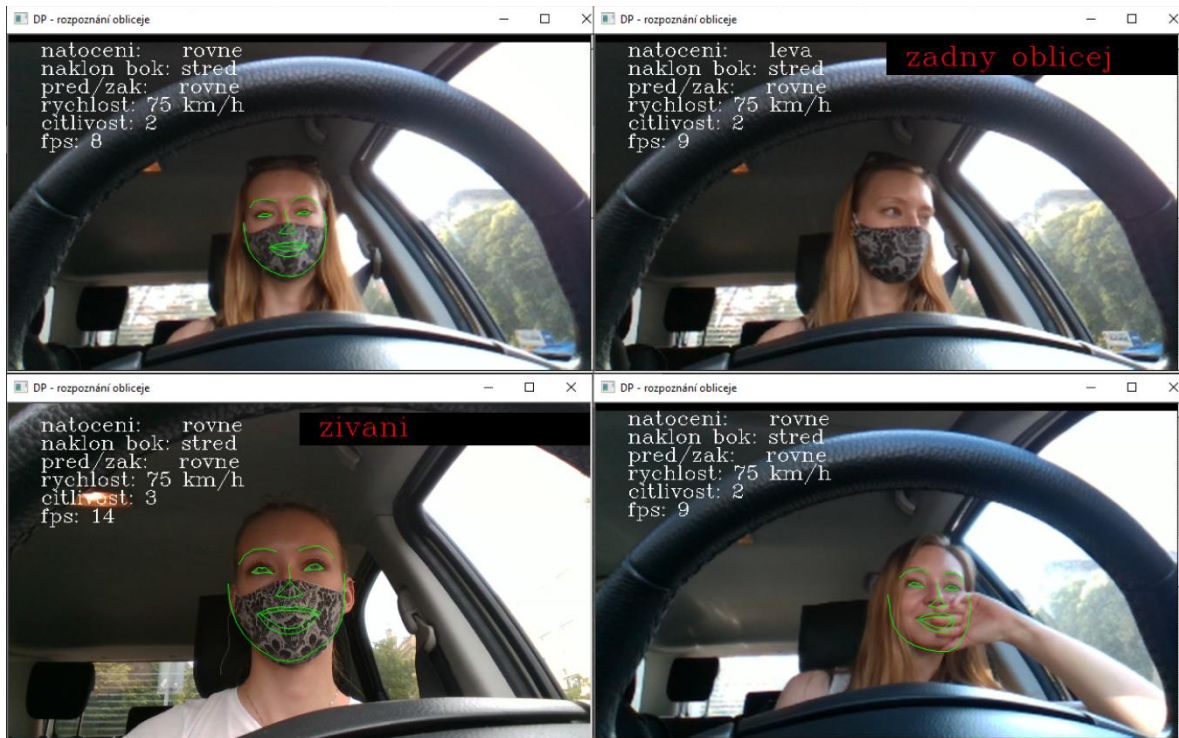
#### Subjekt 4



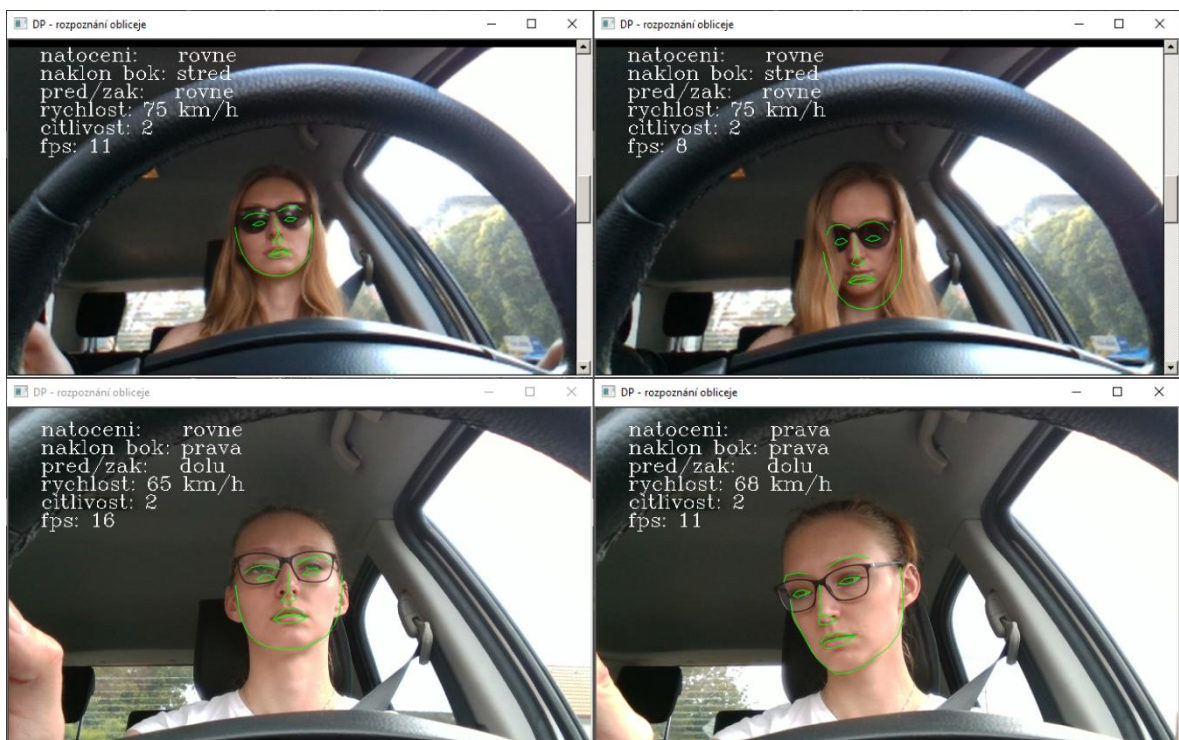
#### Subjekt 5



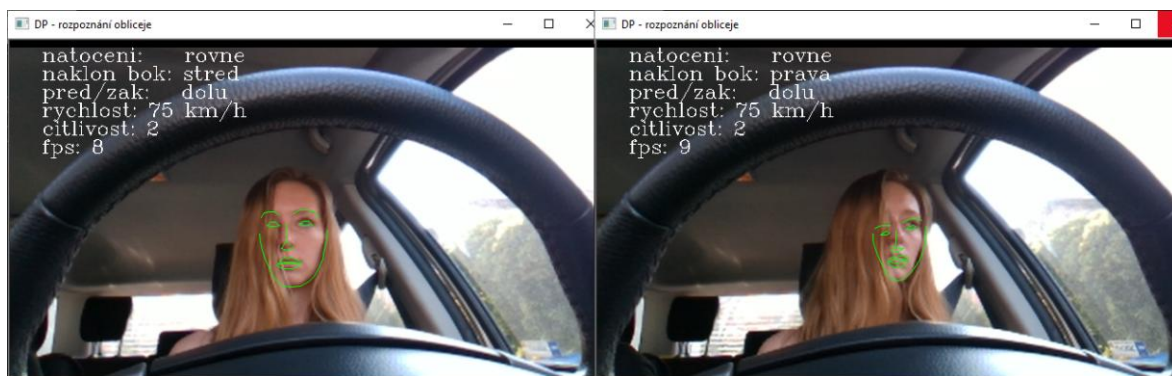
Příloha B – Falešně detekované obličeje.



Obr.B1: Detekce obličeje při zakrytí úst



Obr.B2: Detekce obličeje s nasazenými brýlemi



Obr.C3: Detekce obličeje při částečném překrytí vlasy