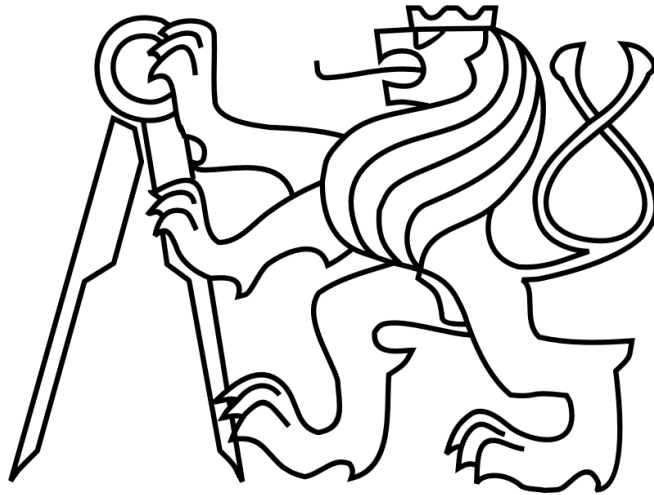


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta dopravní



**Návrh experimentu a metod vyhodnocování pro
zkoumání problematiky vnějšího HMI**

Bakalářská práce

Praha 2018

Robin Medgyesy

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Robin Medgyesy

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Návrh experimentu a metod vyhodnocování pro zkoumání problematiky vnějšího HMI**

Název tématu (anglicky): Experimental design and design of evaluation methods for testing external HMI

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Prostudujte problematiku vnějšího HMI a autonomních vozidel
- Prozkoumejte možné způsoby a principy vnější komunikace vozidel
- Porovnejte přístup automobilek a jejich koncepty, které zahrnují prvky vnějšího HMI
- Navrhněte experiment zaměřený na testování vnějšího HMI
- Navrhněte objektivní metody vyhodnocování experimentu pro ověření funkčnosti komunikace
- Vytvořte scénář pro testování vnějšího HMI a ověřte navržené metody objektivního vyhodnocování



Rozsah grafických prací: Standardní

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: LAGSTRÖM, Tobias. AVIP - Autonomous vehicles' interaction with pedestrians [online]. [cit. 2017-12-11]. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
S. SiripanichFollow, „Medium,“ [Online]. Available: <https://medium.com/teague-labs/crossing-the-road-in-the-world-of-autonomous-cars-e14827bfa301>.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Adam Orlický

Ing. Josef Mík, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

22. června 2017

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

27. srpna 2018

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.

vedoucí

Ústavu dopravních prostředků



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Robin Medgyesy
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 22. června 2017

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 25. 8. 2018

Robin Medgyesy

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Adamovi Orlickému, za odborné vedení a za hodnotné rady a připomínky při psaní této bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat všem zúčastněným za pomoc s reálným testem, který byl součástí této bakalářské práce.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je prozkoumat možnosti komunikace mezi chodcem a autonomním vozidlem. Popsat současné koncepty komunikace a určit výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Následně navrhnout experiment, při kterém bude testován vybraný koncept komunikace. Výstupem bude ověření funkčnosti a spolehlivosti testovaného konceptu v reálném provozu.

Klíčová slova: autonomní vozidlo, chodec, HMI, komunikace, LED

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to explore methods of communication between pedestrian and autonomous vehicle. Describe current concepts of communication and determine advantages or disadvantages. Thereafter suggest experiment which will test the selected concept of communication. The result will be verification functions and reliability of testing concept in real traffic.

Key words: autonomous vehicle, pedestrian, HMI, communication, LED

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých zkratk | 7 |
| 1 Úvod | 8 |
| 2 Automatizace | 10 |
| 2.1 Rozdělení úrovní autonomních vozidel | 10 |
| 2.1.1 Úroveň autonomie 0 | 10 |
| 2.1.2 Úroveň autonomie 1 | 11 |
| 2.1.3 Úroveň autonomie 2 | 11 |
| 2.1.4 Úroveň autonomie 3 | 11 |
| 2.1.5 Úroveň autonomie 4 | 11 |
| 2.1.6 Úroveň autonomie 5 | 12 |
| 2.2 Současný stav AV | 12 |
| 3 Technické možnosti komunikace AV | 14 |
| 3.1 Vizuální | 14 |
| 3.1.1 LED na přední části karoserie | 14 |
| 3.1.2 LED panel za čelním sklem | 15 |
| 3.1.3 LED projekce na vozovku | 16 |
| 3.2 Akustické | 17 |
| 3.3 Ostatní | 17 |
| 3.3.1 Gesta | 17 |
| 3.3.2 Infrastruktura | 18 |
| 3.3.3 Přenosná zařízení | 18 |
| 4 Provedené výzkumy | 19 |
| 4.1 AVIP | 19 |
| 4.2 Semcon | 23 |
| 4.3 Duke University | 24 |
| 4.4 San Diego University | 26 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.5 | Johanes Kepler University Linz..... | 26 |
| 4.6 | Shrnutí..... | 27 |
| 5 | Možnosti testování..... | 28 |
| 5.1 | Prostředí..... | 28 |
| 5.1.1 | Virtuální realita..... | 28 |
| 5.1.2 | Reálné prostředí..... | 29 |
| 5.2 | Měřená data..... | 29 |
| 5.2.1 | Vhodnost umístění vizuálního prvku komunikace..... | 29 |
| 5.2.2 | Časová prodleva..... | 30 |
| 5.2.3 | Opakované měření..... | 30 |
| 5.2.4 | Doplňkové možnosti zkoumání..... | 30 |
| 6 | Experiment..... | 31 |
| 6.1 | Vizuální komunikační rozhraní..... | 31 |
| 6.2 | Princip komunikačního rozhraní..... | 31 |
| 6.3 | Popis experimentu..... | 33 |
| 6.4 | Měřené veličiny..... | 34 |
| 6.5 | Výsledky..... | 36 |
| 7 | Závěr..... | 40 |
| | Použitá literatura..... | 43 |
| | Seznam obrázků..... | 45 |

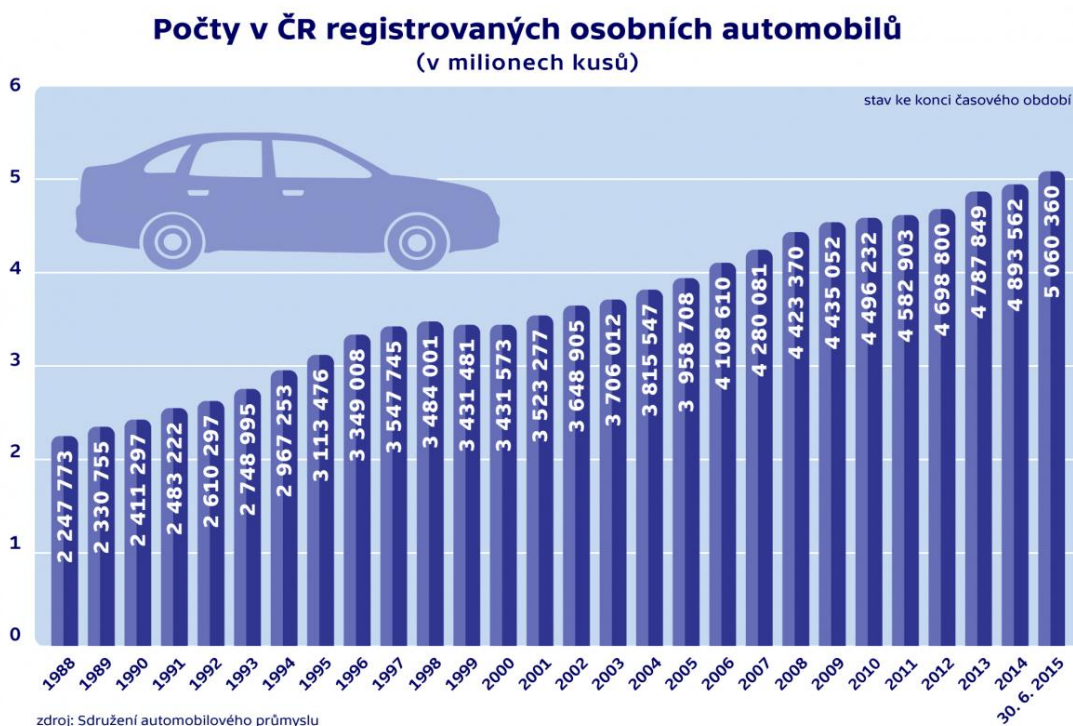
Seznam použitých zkratek

| | |
|-----|-------------------------|
| HMI | Human-Machine Interface |
| AV | Autonomní vozidlo |
| LED | Light-Emitting Diode |
| VR | Virtuální realita |

1 Úvod

V dnešní době, kdy vývoj nových technologií jde kupředu mílovými kroky a mnoho systémů a procesů se stále více zdokonaluje, dochází taktéž k velkému nárůstu automatizace. Automatizace se nevyhýbá ani automobilovému průmyslu a tak se dostáváme k hlavnímu bodu této bakalářské práce – autonomním vozidlům.

Vzhledem k narůstajícímu počtu vozidel (Obrázek 1), postupnému vyčerpávání dopravních kapacit a v neposlední řadě z této problematiky vyplývající zvyšování pravděpodobnosti vzniku dopravních nehod, může do jisté míry pomoci právě zavedení AV do provozu.



Obrázek 1: Počty registrovaných osobních automobilů

V médiích a automobilových kruzích slyšíme mnoho informací o nových vozech opatřených systémy, které umožňují autonomní jízdu. Nicméně k AV, která se budou pohybovat v ulicích samostatně bez zásahu člověka, máme před sebou ještě obrovský kus cesty. Jedním z důležitých bodů, který nás dělí od skutečnosti plně AV v ulicích, je legislativa. Ať už se jedná o otázky právní zodpovědnosti, až po takové v uvozovkách banální věci, jako je komunikace mezi řidičem a chodcem na přechodech, kterému se budeme podrobně věnovat na následujících řádcích.

V této fázi tedy nastává čas, kdy je potřeba vyřešit různé nástrahy a problémy nových systémů. Jedním z problémů je nutnost nahradit stávající komunikaci mezi řidičem a chodcem plně

funkčním rozhraním mezi AV a chodci, aby byla zachována bezpečná komunikace a nedocházelo tak ke krizovým situacím.

Komunikace mezi chodci a AV nejenom, že nemá prozatím plnohodnotnou legislativní formu, ale taktéž není ani standardizována. Proto také společnosti zabývající se touto problematikou přichází s různými systémy a pestrou škálou nových nápadů. Z těchto návrhů je následně potřeba vybrat takový systém, který bude implementován do reálného provozu.

Nároky na komunikační systém AV jsou vysoké. Komunikace mezi AV a chodcem musí být srozumitelná za všech povětrnostních podmínek, musí být jednotná pro všechny nehledě na rodném jazyku, věkových skupinách, úrovni dosaženého vzdělání atd.

Cílem této bakalářské práce je v první části prozkoumat navrhovaná řešení a zanalyzovat současné výsledky výzkumů. V druhé části navrhnout a následně vyhodnotit experiment, který bude zkoumat jeden z vybraných konceptů a ověřovat jeho efektivitu a spolehlivost. [1]

2 Automatizace

Úvodem několik informací k porozumění základní terminologie ohledně automatizace vozidel. Jak je již v průmyslové automatizaci zvykem, existuje několik druhů a jednotlivých úrovní automatizace. Od základního stupně, kdy je člověk nepostradatelný a technika mu jen ulehčuje práci, přes další pokročilejší stupně, až po vrcholně nejvyšší, který techniku posunuje do popředí a je možné provádět veškeré úkony bez zásahu člověka.

2.1 Rozdělení úrovní autonomních vozidel

Proces automatizace pronikl i do automobilového průmyslu. V současném automobilovém průmyslu je definováno šest úrovní automatizace. Jedná se o úrovně nula až pět (Obrázek 2). Kdy pátá úroveň představuje plně autonomní vozidlo schopné samostatného pohybu po pozemních komunikacích.



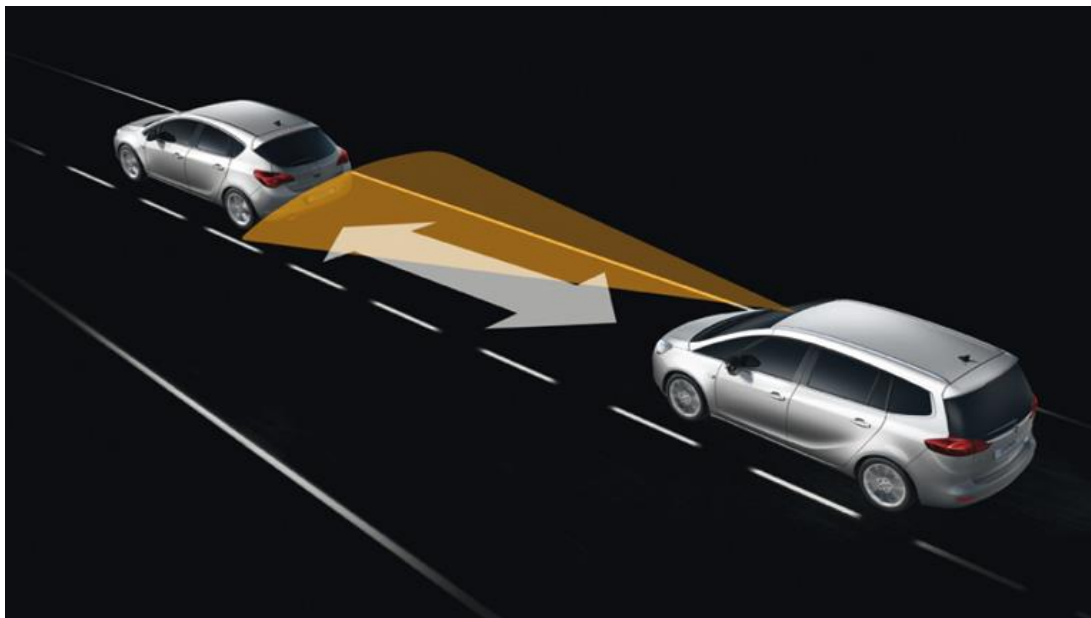
Obrázek 2: Stupně automatizace

2.1.1 Úroveň autonomie 0

Systémy mají pouze varovnou funkci, ale do řízení nemohou přímo zasáhnout. Příkladem systému této úrovně je kontrolka nebo akustický signál varující před nebezpečím námrazy na vozovce. Dalším příkladem jsou první systémy sledování mrtvého úhlu, kdy v případě řidičova přehlédnutí či ignorace indikace obsazeného jízdního pruhu, nedojde k žádné korekci stopy či přímo k odvrácení kolize ze strany řízeného vozidla.

2.1.2 Úroveň autonomie 1

Systemy jsou schopny částečné samostatné jízdy, ovšem za předpokladu, že je řidič plně připraven převzít kontrolu nad vozidlem. Do této úrovně spadá například adaptivní tempomat spojený se systémem hlídání jízdy v pruzích (Obrázek 3). Taktéž sem lze zařadit systémy automatického parkování.



Obrázek 3: Ukázka adaptivního tempomatu

2.1.3 Úroveň autonomie 2

Systemy jsou schopny samostatné jízdy, ale ne za všech podmínek a okolností. Řidič musí být neustále připraven zareagovat v případě, že dojde ke špatnému vyhodnocení situace, popřípadě systém vůbec nezareaguje na blížící se nebezpečí. Automatický systém má na starosti zrychlování, brždění i zatáčení. K deaktivaci systému ve většině případech dojde ve chvíli, kdy se řidič plně nevěnuje řízení a nemá ruce na volantu.

2.1.4 Úroveň autonomie 3

Systemy jsou propojeny v jeden celek, který dokáže vést vozidlo po zadané trajektorii. Vozidlo je schopné samostatné jízdy, avšak pouze ve známém a omezeném prostředí. Jedná se tak například o jízdu na dálnici a na přehledných úsecích. V ostatních situacích musí řidič plně věnovat pozornost řízení a řešit případné krizové situace.

2.1.5 Úroveň autonomie 4

Řidič může zapnout systém automatizovaného řízení pouze v případě, že je to bezpečné ve vztahu k okolí a podmínkám. Po zapnutí systému již není potřeba, aby řidič kontroloval a zasahoval jakýmkoli způsobem do řízení. Systém tohoto stupně vozidlo kontroluje téměř za

všech okolností vyjma výjimečných povětrnostních podmínek (například přímé intenzivní oslnění slunečními paprsky, hustý déšť nebo sněhová vánice), kdy jsou kamery a radary krátkodobě vyřazeny z provozu.

2.1.6 Úroveň autonomie 5

Řidič, nebo spíše cestující zadá systému cílovou destinaci, popřípadě nastartuje. AV potom plně automaticky dojede do cíle cesty bez nutnosti zásahu řidiče. [2]

2.2 Současný stav AV

V současnosti jsou v reálném provozu AV na rozhraní úrovně dvě a tři. Úroveň 2 splňují například automobily značky Tesla. Firma pojmenovala tuto úroveň v jejich vozidlech ne příliš vhodným názvem autopilot, i když marketingově tento název jednoznačně upoutá pozornost. I proto si první generaci autopilota Tesly (Obrázek 4) veřejnost mnohdy mylně vykládá, jako plně automatizovaný stroj, kde se již řidič nemusí věnovat řízení. Sama automobilka důkladně varuje před tím, že se nejedná o plně funkčního autopilota. I přes toto upozornění se objevuje na veřejnosti mnoho nahrávek, kde lidé nedrží volant, popřípadě do věnce volantu vkládají předměty, aby jej nemuseli držet a systém autopilota se nedeaktivoval. V některých případech za volantem nesedí nikdo a tak v těchto případech nejsou řidiči připraveni na řešení krizové situace. V případě že tato situace nastane, ohrožují tak sebe a bohužel i okolí. [2]



Obrázek 4: Ukázka zobrazení autopilotu Tesla

Vývoj technologií jde stále vpřed a pátá úroveň autonomie je tak blízkou budoucností. Dle všech dostupných zpráv bude tato úroveň plně k dispozici před vyřešením legislativních a jiných problémů. Ve vozidlech výše zmíněné Tesly bude touto úrovní oplývat již testovaný autopilot verze dvě. Také tuto úroveň testují další firmy, které tak neustále zlepšují chování

a schopnosti softwaru z hlediska užití do reálného provozu. Například vozy, kterým společnost Google respektive firma Waymo dodává techniku pro autonomní řízení, už nyní dle výroční zprávy najely celkově za účely testování téměř 13 milionů kilometrů. [3]

S autonomním řízením se počítá také v souvislosti s kamionovou dopravou. Například společnost Einride ze Švédska představila letos stroj s názvem T-Log (Obrázek 5), vhodný pro přepravu dřeva. Stroj je možné ovládat na dálkové ovládání, ale je také schopen plně autonomního řízení úrovně 5. Tyto stroje budou nyní fungovat ve zkušebním provozu mezi depy v Helsingborgu a Göteborgu díky kontraktu se společnostmi DB Schenker. [4]



Obrázek 5: Stroj T-Log

3 Technické možnosti komunikace AV

Uvedení plně automatizovaných vozidel do reálného provozu, předchází nutnost vyřešení mnoha problémů. Jedním z těchto problémů je ztráta komunikace mezi chodcem a řidičem. Při absenci komunikujícího řidiče se nabízí, že se komunikace přesune na vozidlo. Chodec bude mít tak stále zaručenou možnost příjmu informace o bezpečném překonání vozovky.

Vzhledem ke stále chybějící legislativní opoře, je potřeba budoucí možné systémy komunikace standardizovat. Musíme ovšem brát na zřetel například to, že jistá skupina chodců neumí číst, další skupina špatně vidí nebo nedokáže odhadnout rychlost přibližujícího vozidla atd. K tomuto kroku a standardizování může ovšem dojít až po důkladném zkoumání a testování všech možností. Prvně je ovšem nutné představit jednotlivé technické možnosti komunikace mezi chodci a AV. Tyto možnosti lze rozdělit do následujících skupin. Výsledný komunikační systém však může být složen z více komunikačních možností.

3.1 Vizualní

První možností je komunikační rozhraní, kdy chodec vidí a sleduje zrakem pokyny, které pomocí světlených efektů vysílá AV. V případě tohoto rozhraní je hlavním kritériem pro výběr vhodné komunikace mezi chodcem a AV srozumitelnost, jednoduchost, konektivita a dobré rozlišení pokynů i na delší vzdálenost. Komunikace za pomoci textů byla zavrhnuta z hlediska nesrozumitelnosti dětským účastníkům provozu, kteří neumějí číst a také kvůli jazykové bariéře, kdy by například cizinci nerozuměli zobrazené informaci na AV. Je třeba myslet i na zhoršené povětrnostní podmínky. Například mlha nebo hustý déšť by neměly vnější HMI mezi chodci a AV vyřadit z provozu.

Většina návrhů přichází s LED panely. Je také nutné promyslet technické možnosti vozidel, aby umístění panelů bylo technicky přípustné a zakomponováno v souladu s konstrukcí vozidel. Nejčastější návrhy vizualní komunikace jsou tyto.

3.1.1 LED na přední části karoserie

První možností je vložení velkého LED displeje do přední části vozu, nejlépe do prostoru masky, který bude zobrazovat světlené signály. Jako vhodná metoda předávání informace u tohoto druhu mohou být například piktogramy zobrazené na LED panelu. Piktogramy jsou velice vhodné pro použití, zejména díky jednoduchému pochopení a následné implementaci do praxe.

Švédská společnost Semcon navrhla koncept Smiling car (Obrázek 6). Jak již název napovídá, jde o koncept tzv. usmívajícího se vozidla, které zobrazením úsměvu na LED panelu dává

najevo, že chodci mohou bezpečně přejít a AV je detekovalo. V opačném případě na panelu svítí pomlčka. Dle studie firmy je systém usmívajících se gest je pro účastníky provozu snadný k pochopení a dodává jim důvěru ve vozidlo. [5]



Obrázek 6: Ukázka LED panelu na přední části

3.1.2 LED panel za čelním sklem

Další možností umístění je poloha LED panelu za čelním sklem. Vzhledem k výběru co nejlepší pozice, se nabízí poloha horní hrany čelního skla (Obrázek 7). Vyslaný signál pro chodce, je viděn s dostatečným předstihem a nebude zaměněn se světlomety.



Obrázek 7: Ukázka LED panelu za čelním sklem

Tomuto pojetí je nakloněna i automobilka Ford, která jej rozvíjí a testuje. Ford navrhl takzvaný standardní virtuální jazyk, který bude velice jednoduchý k pochopení a tak jej bude možné jednoduše implementovat do provozu. Princip komunikace je následovný. Když se na LED panelu pohybují bílé pruhy ze strany na stranu, tak AV zastavuje před přechodem a dává tak signál chodcům k bezpečnému přechodu pozemní komunikace. Pokud se prostřední část světelné rampy rozblíká rychle, znamená to, že AV se rozjíždí. Pokud prostřední část rampy svítí, tak dává AV najevo, že je vůz přepnutý do automatického režimu. Automobilka ovšem tento systém nadále testuje a spolupracuje také s dalšími automobilkami. Nebrání se tak dalším úpravám a optimalizaci tohoto řešení. [6]

3.1.3 LED projekce na vozovku

Jako nejvíce futuristická a technicky náročná je tu také možnost projekce přímo na vozovku. Pokud chce chodec přecházet vozovku a AV jej detekuje, dá AV jednoznačný pokyn chodci k přejití tím, že na zem zobrazí, respektive nasvítí přechod pro chodce. Nevýhoda spočívá ovšem v efektivitě tohoto rozhraní za přímého slunečního svitu, kdy není vizuální projekce dostatečně viditelná. Také je třeba otestovat a ověřit funkčnost rozhraní ve speciálních případech. Například dojde-li k setkání dvou vozidel s touto projekcí na přechodu, je nutné, aby nedocházelo ke vzájemnému rušení vizuálních signálů.



Obrázek 8: Ukázka LED projekce na vozovku

S touto projekcí je nejdále ve vývoji automobilka Mercedes-Benz (Obrázek 8). Představila tuto technologii v roce 2016 a nyní se tato světla pozvolně dostávají do sériové výroby. Jako první se světly Multibeam LED 84, jak je tato technologie pojmenována, přišel model E (označení W213). Název Multibeam používá Mercedes-Benz už relativně dlouho s příchodem adaptivních světlometů. Nyní má ovšem poprvé v historii předních světlometů v sobě každý světlomet 84 diod. Tolik světelných zdrojů a technicky vyspělá konstrukce světlometu potom umožňují na cestu promítnout libovolné obrazce.

Prvotní záměr nebyl přímo vizuální projekci pro AV. Záměrem bylo například speciálně upozorňovat na překážky v provozu, vyladit světla tak, aby bylo vidět co nejlépe z vozu a zároveň, aby nedocházelo k oslňování ostatních účastníků silničního provozu, dále promítání navigace a chybějících čar. Jednoduše osvětlení, které napomáhá k lepšímu bezpečí a stavu v dopravě. Tuto technologii lze také využít i pro komunikaci mezi chodci a AV. Navíc se chystá další série Multibeam LED 256. K implementaci do reálného provozu bude vhodné tento systém využít v kombinaci s dalším komunikačním rozhraním. [7] [8]

3.2 Akustické

Skupina komunikačního rozhraní, kdy je informace z AV na chodce přenesena zvukem. S touto možností komunikace se do budoucna počítá hlavně ve spolupráci s vizuálním rozhraním. Akustické signály jsou nezbytné například ve spojení s nevidomými osobami. Jako vhodná se jeví implementace stávajících akustických signálů na světelně řízených přechodech pro chodce. AV by těchto akustických signálů mohla využít při každém zastavení. Další reálnou implementací je možnost nouzového upozornění v případě kritických situací. Když například AV vyhodnotí rizikový pohyb nepozorného chodce, tak pomocí akustického varovného signálu tohoto chodce upozorní na blížící se nebezpečí.

3.3 Ostatní

Zde řadíme koncepty, které nemůžeme jednoznačně zařadit do vizuálních či akustických komunikačních skupin. Tato rozhraní využívají vnější prostředí nebo jiná zařízení.

3.3.1 Gesta

Jednou z možností komunikačního rozhraní je tzv. přenos informace na vyzvání. Jedná se o jednoduchý návrh, kdy sám chodec dává AV najevo, že chce přecházet komunikaci. Díky pokročilým sensorům, která rozpoznávají různá gesta, potom AV vyhodnotí situaci. Pokud bude AV zpomalovat, dá vědět chodci například jedním z vizuálních způsobů komunikace. Tato metoda je ovšem obtížná pro reálný provoz, jelikož by senzory pohybu musely být

spolehlivé a navíc by byl velký problém v tom, s kým AV komunikuje v případě větší skupiny chodců nebo komunikace o více jízdnicích pruzích.

3.3.2 Infrastruktura

Tato možnost komunikačního rozhraní je jednou ze stavebně a technicky náročnějších. Do komunikace se jistým způsobem zapojí infrastruktura. Jako příklad již existujícího funkčního prvku infrastruktury můžeme zmínit osvětlené hrany nástupišť v hromadné dopravě. Jakmile se k zastávce blíží souprava, začíná osvětlená hrana blikat. Podobný postup by se dal implementovat i pro vnější HMI. Například, když AV detekuje chodce, který chce přejít přes komunikaci, pošle AV signál do přijímače infrastruktury a ten rozbliká přechod, popřípadě hranu chodníku. Dalo by se využít i jednoduchého barevného rozhraní červená/zelená pro lepší pochopení. Pokud by AV chodce nevidělo například kvůli špatným rozhledovým podmínkám na daném přechodu, nástupní hrana přechodu pro chodce by svítila červeně. Pokud by ovšem AV chodce vidělo a bezpečně by začalo zpomalovat, LED diody ve vozovce by se rozblikaly zeleně a chodec by tak měl jasné znamení, že jej AV detekuje, a že může vozovku bezpečně přejít. Pro implementaci tohoto rozhraní do reálného provozu hraje ovšem negativně potřeba stavebních úprav na přechodech.

3.3.3 Přenosná zařízení

V neposlední řadě je tu možnost propojení přenosných zařízení s vnějším HMI. Přenosné zařízení vlastní například v podobě chytrého telefonu naprostá většina chodců. AV se může spojit s přenosným zařízením a poslat do něj zprávu s informací o svém úmyslu. Informace by mohla být zaslána pomocí vizuálního, akustického či haptického signálu. Ovšem velkou nevýhodou k použití tohoto rozhraní je, že ne každý chodec používá přenosné zařízení aktivně. Jako doplňkový systém komunikace nemá ovšem dveře ve vývoji zavřené.

4 Provedené výzkumy

V této kapitole budou představeny nejnovější výzkumy, které zkoumají zmíněnou problematiku komunikace mezi AV a chodci.

4.1 AVIP

Zkratka AVIP se dá jednoduše přeložit jako interakce automatizovaných vozidel s chodci, v anglickém znění Autonomous Vehicles Interaction with Pedestrians. Průzkum se provádí ve Švédsku. Tento projekt vytvořil námět na několik vědeckých publikací a jeho cílem je globálně podporovat vývoj standardů komunikace mezi AV a chodci. Projekt je podporován společnostmi Semcon, Volvo, AstaZero a pod hlavičkou je zapsán Švédský interaktivní institut v čele s T. Lagströmem a V. M. Lundgrenem, kteří vedou tento projekt od roku 2013. [9]

K získávání dat a měření následných systémů v reálném provozu byla použita takzvaná metoda Wizard of Oz. Jedná se o metodu, která se běžně používá, při implementaci čehokoli nového do reálného světa, kdy uživatelé nevědí o tom, že se jedná o test. Využívá se tak skrytého lidského operátora a jedinečné možnosti vidět bezprostřední reakce zkoumaných objektů na vydávané podněty (Obrázek 9). T. Lagström a V. M. Lundgren testovali čtyři hlavní situace a simulovali tak chování řidičů. Bylo simulováno chování řidiče, který se soustředí na řízení a navazuje oční kontakt s chodcem. Dále řidiče, který telefonuje nebo čte noviny a v neposlední řadě jízdu vozidla bez řidiče, která simulovala plně autonomní provoz. Výsledky jednoznačně potvrdily následovné. Pokud se řidič nevěnuje plně řízení, tak se chodci bojí do vozovky vkročit a čekají, než vozidlo zastaví. Potvrdil se zde důsledek absence očního kontaktu a tak bylo shledáno za nutné, vymyslet externí komunikační zařízení pro chodce. [10]

V následujícím kroku byl prototyp komunikačního zařízení vytvořen. Během testů byly zjištěny veškeré potřeby a preference chodců na toto zařízení, aby mohl být zachován pocit bezpečnosti a chodci se tak mohli při přecházení vozovky plně spolehnout na náhradu očního kontaktu. Bylo zjištěno, že chodec potřebuje vědět, zda vozidlo je v plně automatizovaném režimu nebo jej manuálně řídí řidič. Hlavně při prvotní implementaci na pozemní komunikaci, kdy plně automatizovaný provoz nebude fungovat ve všech vozidlech, se jedná o důležitý prvek komunikace. Je nutné, aby chodec s dostatečným časovým předstihem věděl, zda se bude orientovat dle komunikačního rozhraní AV nebo nikoli. Dále je nezbytně nutné, aby chodec měl představu o budoucím stavu. A to zda jej vozidlo detekovalo a pozvolna zpomaluje nebo naopak zda vozidlo během následujícího časového intervalu pozvolna začne akcelarovat. Chodci informace o budoucím stavu AV jednoznačně pomáhá, protože ví, jak bude AV v blízkém časovém horizontu reagovat.



Obrázek 9: Reakce chodce na přijíždějící vozidlo

Jako vedlejší vhodné řešení ke zvýšení komfortu chodců, se ukázalo například vypnutí motoru při zastavení. U chodců tak bylo poukázáno na zřetelně větší komfort při překonávání komunikace, kdy věděli, že vozidlo není nastartované a tak se samovolně nedá do pohybu. Toto vedlejší komfortní řešení ovšem dobře nefunguje u vozidel, jejichž hluchost motoru je na nízké úrovni. Například u hybridních vozidel a elektromobilů. Ale také není vhodné pro motorové vozy vybavené start-stop systémem. Jedná se o systém, který při zastavení vozidla automaticky vypne motor z důvodu úspory emisí CO₂. Například při vysokých nebo naopak nízkých teplotách nevydrží baterie dlouho zásobovat prvky komfortní výbavy daného vozidla a tak po několika sekundách motor samovolně nastartuje, kvůli nutnosti nabití akumulátoru. Tím chodce může uvést v omyl, že se AV právě rozjíždí. Jeden z důležitých prvků při komunikaci mezi AV a chodcem je nutnost srozumitelného komunikačního rozhraní, aby chodec byl jednoznačně schopen určit, že jej AV zaregistrovalo.

Z hlediska vlivu a rozmanitosti dopravního prostředí byly vybrány jak zvukové, tak vizuální způsoby komunikace. Oba způsoby nesou prvky výhod i nevýhod a tak je vzájemné propojení více než žádoucí. Výhoda vizuálního systému je bezesporu v nezaměnitelnosti zdroje vysílání a také to, že funguje na delší vzdálenosti. Ovšem tato výhoda je platná pouze v případech, kdy chodec vizuální informaci zpozoruje. Naproti tomu akustický podnět se šíří všemi směry a není jednoznačně určit zdroj vysílání. Výhodou akustického signálu je zaručení funkčnosti rozhraní i pro nevidomé účastníky provozu. Naopak nevýhoda tohoto rozhraní je nekompatibilita s osobami neslyšícími nebo chodci, kteří nosí sluchátka v uších. Propojení vizuálního s akustickým druhem komunikace se proto jeví jako nejpoužitelnější možné pro implementaci do provozu.


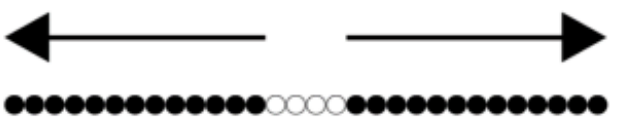
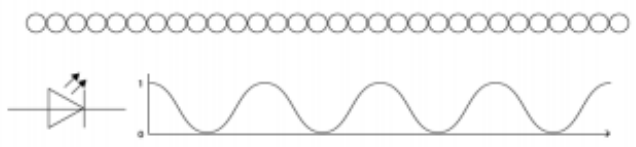
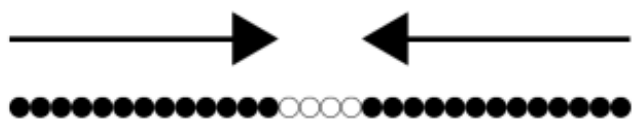
U vizuálního rozhraní byl tak umístěn LED panel do vrchní hrany čelního skla (Obrázek 10). U instalace se dbalo například na nerušený výhled řidiče z vozu. Proto byl ve finále zvolen tenký pruh vysoko svítivých diod, který nezasahuje do zorného pole řidiče. Vizualní efekty jsou na vrchní hraně čelního skla dobře viditelné a chodec je tak velice dobře zaregistruje.

Navrhnutá byla i další umístění. Například umístění komunikačního rozhraní v přední masce vozidla, které se ovšem se neosvědčilo při testování z hlediska splynutí světleného signálu s hlavními světly. Projekce komunikačního rozhraní na vozovku pro změnu nebyla plně funkční za přímého slunečního svitu.



Obrázek 10: Umístění LED panelu na vozidle

Informace pro chodce jsou definovány dle následujících parametrů: Frekvence a rychlost jednotlivých světelných pulzů, dále počet rozsvícených diod a animace (Obrázek 11). V neposlední řadě bylo nutné určit vhodnou stylizaci barvy rozhraní, aby chodec signál jednoduše rozpoznal a nezaměnil jej s jiným signálem. Barvy semaforu byly zamítnuty, kvůli možné zaměnitelnosti s již fungujícím rozhraním v provozu, a tak byla zvolena teplá bílá barva (okolo 3000-4000 Kelvin).

| Message | Final Concept |
|--------------------|--|
| I'm in AD mode |  <p>As long as the vehicle is In autonomous drive mode, the middle part of the signal bar is lit.</p> |
| I'm about to yield |  <p>When the vehicle has identified an approaching pedestrian, and intends to stop and yield, the light expands towards the sides until the LED strip is completely lit.</p> |
| I'm resting |  <p>When the vehicle has stopped, it shows that it's waiting/resting by pulsating the signal bar calmly.</p> |
| I'm about to start |  <p>When the car intends to drive, the lit LED strip shrinks down before the car drives away.</p> |

Obrázek 11: Zobrazení jednotlivých fází

Z výsledků experimentu byly potom vytvořeny základní stavy AV, které by měly být chodcům zobrazeny. Po zvážení byly použity tyto čtyři režimy. Režim vozidla v autonomním režimu. Režim decelerace při detekci chodce. Dále režim stop a v neposlední řadě režim plánované akcelerace.

Finální stav navrhované vizuální komunikace tedy vypadá následovně. Pokud se vozidlo po komunikaci pohybuje v plně autonomním režimu, svítí diody na světleném panelu pouze v prostřední části. Ve chvíli kdy AV zaregistruje chodce, diody se od středu do stran pomalu rozsvěčují. Po rozsvícení posledních krajních diod je vozidlo uvedeno do statického stavu a celý světlený panel přechází do fáze pozvolného pulsování diod. Chodec má díky pulsování přehled o tom, že je AV v režimu pauzy. Jakmile chodci přejdou komunikaci, světlený panel se

plně rozsvítí a začne postupně pohasínat diody od krajů. Ve finální fázi opět svítí pouze diody v prostředním sektoru a vozidlo pomalu akceleruje. [10] [11]

4.2 Semcon

Společnost Semcon původem ze Švédska se taktéž zabývá problematikou vnějšího HMI. Tato společnost vytvořila koncept neverbální komunikace mezi AV a chodcem. Jedná se o projekt s názvem Smiling car (Obrázek 12), v překladu usmívající se vůz. Tento projekt má vnést do prostředí autonomních vozidel symbiózu mezi chodcem a AV. Z výsledků průzkumu společnosti Semcon ve spolupráci se společností Inizio vyplynulo, že osm z deseti lidí nevěří vozidlu z hlediska problematiky přecházení vozovky. Postrádají oční kontakt s řidičem vozu. Vnesení důvěry do vztahu AV a chodec, je tedy z tohoto pohledu důležité. Jak již bylo zmíněno v úvodu, chodci jsou do značné míry na neverbální komunikaci s řidičem odkázáni a při odebrání této možnosti komunikace neví, jak mají dále postupovat.



Obrázek 12: Smiling car při testování

Jak již bylo stručně popsáno v odstavci 3.1.1, je tento koncept založen na umístění LED displeje do oblasti mřížky předního nárazníku. Na tomto displeji se budou zobrazovat gesta, která jsou mezi lidmi dobře známá z hlediska neverbální komunikace. Na předním LED panelu se rozsvítí široký úsměv v momentě, kdy vozidlo chodce detekuje a dovolí mu bezpečně přejít vozovku. Toto gesto bude velice dobře rozpoznatelné pro malé i starší účastníky provozu. V opačném případě, kdy vozidlo nebude chodce detekovat, se na předním panelu objeví pomlčka. [12]

Studie se také zabývá technologiemi pro použití vnější komunikace. Při implementaci modernějších senzorů do systému bude možné zefektivnit celý proces komunikace. Při využití kamer s technologií sledování očí nebo laserovou lidar technologií bude například možné předvídat pohyb chodce. Systémy tak odhalí, kdy se chodec dívá směrem k vozu a má v úmyslu vozovku přecházet. Díky laserové technologii bude také možné provozovat AV i v náročných povětrnostních podmínkách, jako je déšť či noc. Také je plánováno využití v náročnějších dopravních situacích. Kupříkladu tam, kde nebude přechod pro chodce. Tyto nové radary a technologie je ovšem potřeba umístit s ohledem na konstrukci vozidel. Nejlépe však do přední části vozu. [13]

Společnost Semcon využívá k testování vůz Mazda6. Ze spodní části tohoto modelu zmizely mlhové světlomety a byly překryty ochranným plastem. Ochranná funkce plastu spočívá v krytí radarů v případě mechanického poškození, které může způsobit objekt ležící na vozovce. Toto umístění je technicky jednoduše implementovatelné. Nová verze modelu Mazda6 s označením IPM3 již dokonce mlhové světlomety ve spodní části nemá. Konstrukční řešení přesunulo mlhové světlomety do hlavních LED světlometů druhé generace. K tomuto přesunutí mlhových světlometů došlo již v období 2002-2008. Ovšem v tomto časovém horizontu byly plochy na spodní straně nárazníku ohraničeny funkčními záslepkami, které přiváděly vzduch k intercooleru. Nyní ovšem výrobce záslepky neinstaluje a volná designová plocha může být tak k dispozici k osazení nových technologií. Využití této volné plochy pro implementaci vyspělých technologií je velice vhodné.

4.3 Duke University

V USA dle statistik došlo v časovém horizontu pěti let k 25 % nárůstu počtu obětí při dopravních nehodách mezi chodci a řízenými automobily. I vzhledem k této nelichotivé statistice z období let 2010 – 2015, se stále více hovoří o AV ve spojení s bezpečností.

Experiment americké university Duke v Severní Karolíně řešil právě problematiku komunikace AV. Jedním z výstupů tohoto experimentu je připomenutí nutnosti nastavení základních pravidel po legislativní stránce. Při tomto průzkumu bylo využito velkého displeje v přední části vozu Mercedes. Při tomto experimentu vědci zkoumali, jak velké by mělo vizuální zařízení být, aby chodec rozeznal daný signál komunikace. Konečný verdikt nakonec poukázal na minimální šířku panelu 1,2 m (Obrázek 13). [14]



Obrázek 13: Velikost panelu na přední části

Samozřejmě pokud chodec na vizuální znamení nebere ohled, tak nezáleží, jaké bude signál velikosti, což poukazuje na celkovou problematiku vizuálního druhu komunikace. U výzkumu vědců z laboratoře Humans and Autonomy univerzity v Duke, se dle výsledků paralelního průzkumu přišlo na jednoznačný výsledek. Při zkoumání různých druhů zobrazení, displejů, velikostí a znamení v přední části vozidla se zjistilo, že pouze 12 % chodců se při rozhodnutí, zda přejít vozovku či nikoli, dívá a spoléhá na vizuálně komunikační rozhraní. [15]

Nejenom kvůli této skutečnosti nebyl systém signalizace LED panelem na přední části vozu shledán jako vhodný pro plné implementování do reálného provozu. Další problém se objevil například u testování složitějších dopravních situací. Na více proudé komunikaci docházelo pravidelně ke krizové situaci, kdy vozidlo chodce detekovalo, ale informaci nedokázalo předat dalšímu AV. Výsledkem byla potom situace, kdy jedno vozidlo chodce detekovalo a předalo mu vizuálním rozhraním pokyn k bezpečnému přecházení. Vozidlo v druhém jízdním pruhu chodce nezaznamenalo a mohlo dojít ke srážce s chodcem.

4.4 San Diego University

Vědci z univerzity ze San Diega zkoumají reakce chodců na AV inovativní cestou. V areálu univerzity jezdili řidiči oblečení v atrapě autosedačky (Obrázek 14), přičemž bylo dosaženo dokonalé optické iluze. Vozidlo skutečně vypadalo, že nemá řidiče a po areálu jezdí samo. [16]



Obrázek 14: Ukázka atrapy sedadla řidiče

Experiment probíhá nyní pod záštitou automobilky Ford ve spolupráci s Virginia Tech Transportation (Obrázek 15). Cílem výzkumu je získat nejen podklady reakcí a stavů chodců, ale také řidičů jiných vozidel, cyklistů a všech ostatních účastníků dopravního provozu. [17]

4.5 Johannes Kepler University Linz

Cílem experimentu rakouského výzkumu bylo zkoumat prostředí a podněty komunikace mezi chodcem a AV z již navržených různých způsobů komunikace. K tomuto výzkumu byla použita tzv. rozšířená realita, kdy do reálného prostředí byly zakomponovány uměle vytvořené prvky pomocí počítačové grafiky. Velikou výhodou tohoto zakomponování a propojení reálného světa s virtuálním je sbírání přesných dat, které odpovídají z velké části reálným výsledkům. V rozšířené realitě je například pro lepší orientaci a přesvědčivost možné vidět své ruce. Navíc se zde dá relativně jednoduše vytvořit efekt projíždějícího vozidla. Výhodou je také to, že naprogramované vozidlo může jezdit stále po stejné dráze ve stejném čase. Je tak možné naprosto přesně porovnání jednotlivých měření a nedochází k drobným odchýlkám, jako u měření v reálných podmínkách mimo laboratoř. V tomto experimentu byla šetřena

oboustranná interakce mezi chodcem a vozidlem. AV v tomto případě vysílá vizuální signál a chodec komunikuje interakcí pomocí gest. [18]

4.6 Shrnutí

Výsledky testů ukázaly, že v reálném provozu není možné, aby ve složitějších situacích docházelo ke komunikaci pouze z jednoho zdroje. Předpoklad je následovný. Chodec je mnohem sebevědomější, pokud dostane explicitní zpětnou vazbu od AV. Dle předchozích zpráv je prvně nutno upřesnit výběr a umístění komunikačního zařízení. Jako varianta, která bude nejlépe fungovat v praxi, se jeví kombinace vizuálního a akustického signálu. Návrh spočívá v umístění vizuálního rozhraní k horní hraně čelního skla viz. odstavec 3.1.2. Dle provedených průzkumů toto rozhraní nejlépe vyhovuje ve všech ohledech komunikace vnějšího HMI. Vzhledem k umístění, které je blízko od nejvyšší části karoserie, se jeví toto vizuální rozhraní dobře viditelným za všech podmínek. Například u umístění světelného panelu do konstrukce přední masky vozu docházelo ke splynutí světelného efektu s hlavními světly. Informace na panelu nebyla potom jednoznačně čitelná. Velkým nedostatkem u konstrukčního řešení projekce na vozovku byl provoz za přímého slunce. Signály nebyly na vozovce identifikovatelné. Dokonale toto řešení funguje ovšem ve špatných povětrnostních podmínkách a ve večerním období. Jako doplňkové řešení při LED panelu za člením sklem má ovšem tento systém budoucnost. Vzhledem k neustálému vývoji předních světlometů, je více než pravděpodobné konstrukční prosazení do sériové výroby. Implementace LED panelu na vrchní hranu čelního skla je také snadno realizovatelná i do stávajících vozů. Není tak potřeba velkých konstrukčních úprav, což je další výhodou tohoto řešení.



Obrázek 15: Ford při testu autonomního řízení

5 Možnosti testování

Z provedených výzkumů a technologických inovací je nutné ověřit funkčnost navrhovaných konceptů v praxi.

5.1 Prostředí

V současné době lze experiment rozdělit dle prostředí, ve kterém jsou zkoumány. Zde se nabízí základní rozdělení dvou možných prostředí ke zkoumání a vytvoření experimentu. Jedná se o provedení experimentu v reálném provozu nebo naopak v prostředí virtuální reality. Jednotlivé výhody a nevýhody budou následovně popsány.

5.1.1 Virtuální realita

Pojem VR označuje počítačem tvořené prostředí. Jedná se o rozšířené propojení člověka s počítačovým prostředím (Obrázek 16). Člověk následně vidí vše, co je vytvořeno a namodelováno a je součástí vytvořené virtuální scény. Reálné vnímání virtuální skutečnosti lze naplno využít ve prospěch simulací. Těchto výhod můžeme také samozřejmě využít v případě zkoumání vnějšího HMI.



Obrázek 16: Virtuální set HTC Vive

Do výhod zkoumání situací ve VR lze zařadit například přesnost. I u několika desítek opakování je možné spouštět simulaci stále stejně bez odchylek. Naprogramované vozidlo bude vždy ve stejném čase na stejném místě a tak je zaručena objektivnost celého

experimentu. Nespornou výhodou se jeví také bezpečnost práce. Při zkoumání ve VR nehrozí fyzické zranění. V případě, že komunikační rozhraní selže, vozidlo zkoumaného chodce fyzicky neohrozí. V neposlední řadě je také nespornou výhodou časová úspora. Jakýkoli koncept lze velmi rychle virtuálně vymodelovat a ověřit. Reálná stavba a implementace do vozidla je časově náročnější.

VR má ovšem i svá negativa. A to například specifické podněty a reakce člověka v reálném provozu oproti virtuálnímu testu. Stále jsou pozorovány mírné odchylky od reálného prostředí a tak je nutné data z virtuální reality ověřit.

5.1.2 Reálné prostředí

V reálném prostředí je naopak zkoumání velice objektivní z hlediska reakcí. Problémem je ovšem provedení pokusu při splnění všech náležitostí. S vozidlem není jednoduché dodržovat vždy přesně stanovenou rychlost a navíc musí řidič vždy přesně odhadnout bod, kdy vozidlo před přechodem začíná decelerovat. Při malém zpoždění v řádu sekund potom vozidlo ujede i několik metrů. Proto je nutné brát na zřetel všechny náležitosti a pokus připravit dokonale. Vozidlo sice může být pro tyto účely přesně naprogramováno, ale jedná se o náročný úkon. Jistou nevýhodou je ovšem vyšší cena za reálný experiment. Taktéž není tomuto způsobu testování nakloněna legislativa. Při testování v reálném provozu je nutné žádat o výjimky a povolení u kontrolních orgánů.

5.2 Měřená data

K porovnání jednotlivých měření a ověření funkčnosti komunikace, je nutné určit objektivní metody vyhodnocení experimentu. Vzhledem k velkému množství proměnných je třeba se zamyslet nad důležitostmi jednotlivých parametrů.

5.2.1 Vhodnost umístění vizuálního prvku komunikace

V první řadě je nutné určit, zda je vizuální rozhraní navrženo správně, srozumitelně a zda je umístěno ve správné poloze. Pokud chodci opakovaně nevkročí do komunikace a čekají, než je vozidlo uvedeno do klidného stavu, lze předpokládat problém. Chodci buď nemají důvěru ve vizuální rozhraní, nebo je toto rozhraní špatně srozumitelné. Příčinou může být také nevhodnost umístění, kdy není vizuální prvek viděn. Je nutné tomuto stavu předcházet a zkoumat, jak brzo chodec vozidlo zaregistroval. Pokročilou možností je sledování pohledu chodce.

5.2.2 Časová prodleva

Zkoumanou veličinou může být časová mezera mezi zpozorováním vozidla a vkročením na komunikaci. Ve chvíli kdy se vozidlo se znamením vizuální komunikace objeví v předem určeném bodu trasy, začne se započítávat časový interval. V tomto intervalu je možné určit, zda chodec rozumí prvku vizuální komunikace a pokynu k bezpečnému překonání vozovky. Výstupem je zjištění, zda má chodec důvěru v AV. Pokud chodec na vozovku před zastavením vozidla nevkročí, jedná se také o veličinu, která ukazuje, že technické řešení nevyvolává v chodci důvěru.

5.2.3 Opakované měření

Opakované měření je nezbytné k určení, zda si chodci na navržené rozhraní podvědomě zvykají. Pokud se časové intervaly většiny účastníků průzkumu zkracují, dochází k pozvolnému získání důvěry k rozhraní. Chodci tak porozuměli vizuálnímu rozhraní a vědí, že se mohou na AV spolehnout z hlediska zastavení na přechodu. Pokud není zlepšení zaznamenáno, je nutné se pozastavit na správnosti technického řešení a navrhnout lépe fungující řešení.

5.2.4 Doplnkové možnosti zkoumání

Doplňkovým prvkem průzkumu mohou být veškeré další prvky, které rozvíjejí přesnost a komplexnost naměřených dat. Kupříkladu snímač tepové frekvence nebo jiných biologických parametrů. Bude možné tak určit vnímání AV chodcem v reálném čase. Pokud bude chodec rozrušený a nebude vědět, zda může bezpečně překonat komunikaci, lze předpokládat, že se tepová frekvence chodce zvýší. Naopak pokud bude chodec plně důvěřovat AV, nebude se jeho tepová frekvence měnit. Dalším příkladem může být systém eye tracking, v podobě speciálních zařízení, které sledují pohled lidského oka. Zařízení může být v podobě brýlí nebo speciálních čoček do virtuálních brýlí. Díky tomuto vylepšení by bylo možné jednoznačně určit, kam chodec v první chvíli při zpozorování vozidla upře svůj zrak a zda je tak vizuální rozhraní umístěno ve správné intuitivní pozici. Tento systém lze využít jak při reálných experimentech, tak při experimentech tvořených ve VR.

6 Experiment

Na následujících stranách bude dopodrobna popsána praktická část. Vzhledem k uvážení možností na realizaci, zvolil autor provedení experimentu v reálném provozu. Výstupem experimentu bude ověření funkčnosti vlastního navrženého komunikačního rozhraní, které vzniklo z analýzy stávajících systémů. Snahou je tak využít všech nabytých poznatků a navrhnout takové komunikační rozhraní, které bude využívat všech výhod.

6.1 Vizuální komunikační rozhraní

Konstrukční umístění vizuálního komunikačního rozhraní bylo k testu instalováno za čelním sklem. Konkrétně při horní hraně čelního skla. Vybráno bylo zjednodušené umístění čtyř vysoce svítivých diod, které se upevnily na stropnici v interiéru. K výběru bylo velké množství LED zdrojů (Obrázek 17). Z hlediska světelného výkonu a nutnosti viditelnosti světelného zařízení byla zvolena finální varianta osazena CREE čipy. Každý světelný LED zdroj je osazen šesti vysoce svítivými diodami o celkovém světelném výkonu 750 lumenů. Při testu svítivosti se tato varianta osvědčila nejvíce a chodci komunikační zařízení viděli i za přímého slunečního svitu.



Obrázek 17: Varianty LED zdrojů

6.2 Princip komunikačního rozhraní

Popis světelných signálů je následující. Vzhledem ke zjednodušení celého procesu instalace byl vytvořen signální plán o třech fázích. Svítí-li dvě prostřední diody, jedná se o první fázi, kdy je vozidlo v plně autonomním režimu (Obrázek 18). V případě, že se rozblíkají obě krajní diody, jedná se o signál, že vozidlo detekuje chodce a dává mu tak signál k bezpečnému překonání

komunikace. Na vozidle v tu chvíli svítí dva LED zdroje uprostřed a blikají dva krajní zdroje (Obrázek 19). Jde tak o druhou fázi. V případě, že je vozidlo připraveno opustit pozici před přechodem pro chodce, všechny diody se rozblíkají, což značí fázi třetí. Ta značí, že je vozidlo připraveno akcelarovat. Dalším krokem je svícení pouze prostředních dvou zdrojů, čím se vozidlo dostalo opět do fáze první.

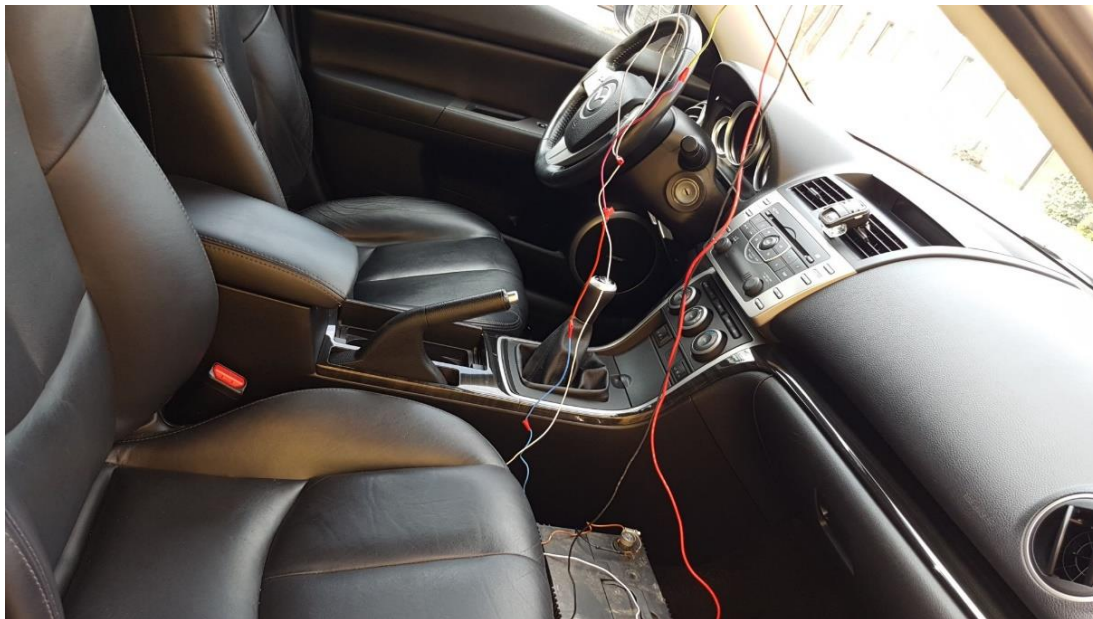


Obrázek 18: Vozidlo v plně autonomním režimu



Obrázek 19: Vozidlo informuje chodce, že může přejít komunikaci

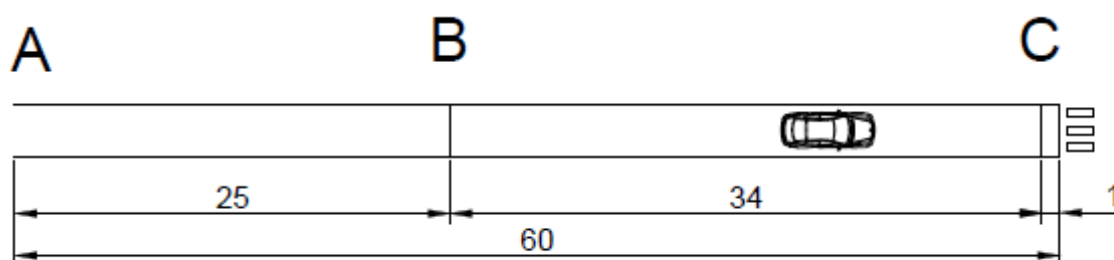
K přepnutí jednotlivých fází je využit jednoduchý vypínač napojený na externí baterii uvnitř interiéru vozidla (Obrázek 20). Vypínač je ovládán řidičem. Jakmile vozidlo projede kolem vyznačeného kontrolního bodu, řidič zapíná jednoduchým zařízením krajní diody, které tak indikují chodci, že jej vozidlo detekovalo.



Obrázek 20: Interiér testovaného vozidla

6.3 Popis experimentu

Základem je správně definovat vzdálenost respektive množství a zaměření průjezdných bodů (Obrázek 21). Pro opakování pokusu je z hlediska objektivity tomuto bodu věnovat zvýšenou pozornost. Pokud by vozidlo jelo jinou rychlostí nebo by došlo k nepravidelné deceleraci před přechodem, veškerá naměřená data budou irelevantní.



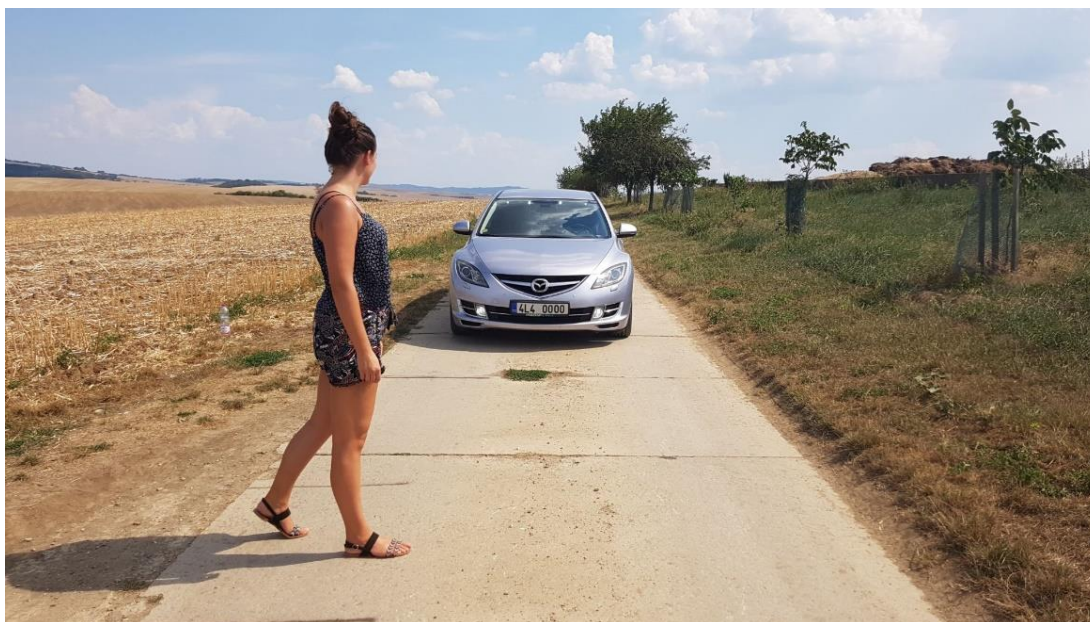
Obrázek 21: Schéma experimentu

Experiment je nastaven tak, že vozidlo jede rychlostí 30 km/h až do průjezdného bodu A, který je vzdálen 60 metrů před přechodem. Na vozidle simulujícím AV je zobrazen signál, vozidlo jedoucí v autonomním režimu. Rozsvíceny jsou tedy dva světelné zdroje uprostřed. Při průtnutí bodu A čelem vozidla, je zapnuta fáze dvě komunikačního rozhraní. Vozidlo s blikajícími krajními diodami, tak dává najevo, že chodce detekuje a pokračuje konstantní rychlostí do bodu B. Bod B je vzdálen od bodu A 25 metrů. Jakmile vozidlo protne čelem bod B, dochází k rovnoměrnému zpomalení vozidla. Vozidlo rovnoměrně zpomaluje až do bodu C, který je 1 m před přechodem pro chodce. V bodě C tedy vozidlo dosáhne stavu plného zastavení. Následovná fáze akcelerace již není do experimentu zahrnuta.

Experiment byl proveden v odpoledních hodinách, za slunečného počasí. Z hlediska bezpečnosti a legislativní odpovědnosti se experiment uskutečnil na nefrekventované komunikaci. Vzhledem k prostředí, bylo hlavním záměrem ověřit důvěru chodců ve vozidlo a navrhovaný systém. Konkrétně bylo vizuální rozhraní testováno na dvaceti probandech. Experimentu se zúčastnilo pět žen a patnáct mužů. Nejmladší bylo 18 a nejstaršímu 56 let. Věkový průměr dobrovolníků byl 26 let. Jednalo se ve větší míře o lidi, kteří mají jistý vztah k automobilům. Probandi byli před experimentem srozuměni s vizuálním rozhraním. Také jim bylo vysvětleno, kde se nachází přechod pro chodce, jehož šíře byla na vozovku znázorněna pomocí černého spreje. Každý proband měl dva měřené pokusy.

6.4 Měřené veličiny

Konkrétně byl měřen časový interval od bodu B, do fyzického počátku překonání komunikace chodcem. Stopky se tedy spustily při minutí bodu B čelem vozidla a zastavily se po vkročení chodce na komunikaci (Obrázek 22).



Obrázek 22: Chodec přechází komunikaci

Dále byl probandům po experimentu připraven dotazník (Obrázek 23). V dotazníku byly tři jednoduché otázky s možností odpovědi jedna až deset a jednou doplňující otázkou. První otázkou bylo, zda je vizuální rozhraní po představení jednoduše pochopitelné. Dále zda rozhraní dobře viditelné a poslední otázka se vztahovala k důvěře v AV. Doplňující otázka se tázala na názor ohledně reálné implementace do provozu a na možné vylepšení pohledem chodce.

1. Prosím vyplňte následující hodnocení.*

1 znamená určitě NE , 10 znamená určitě ANO

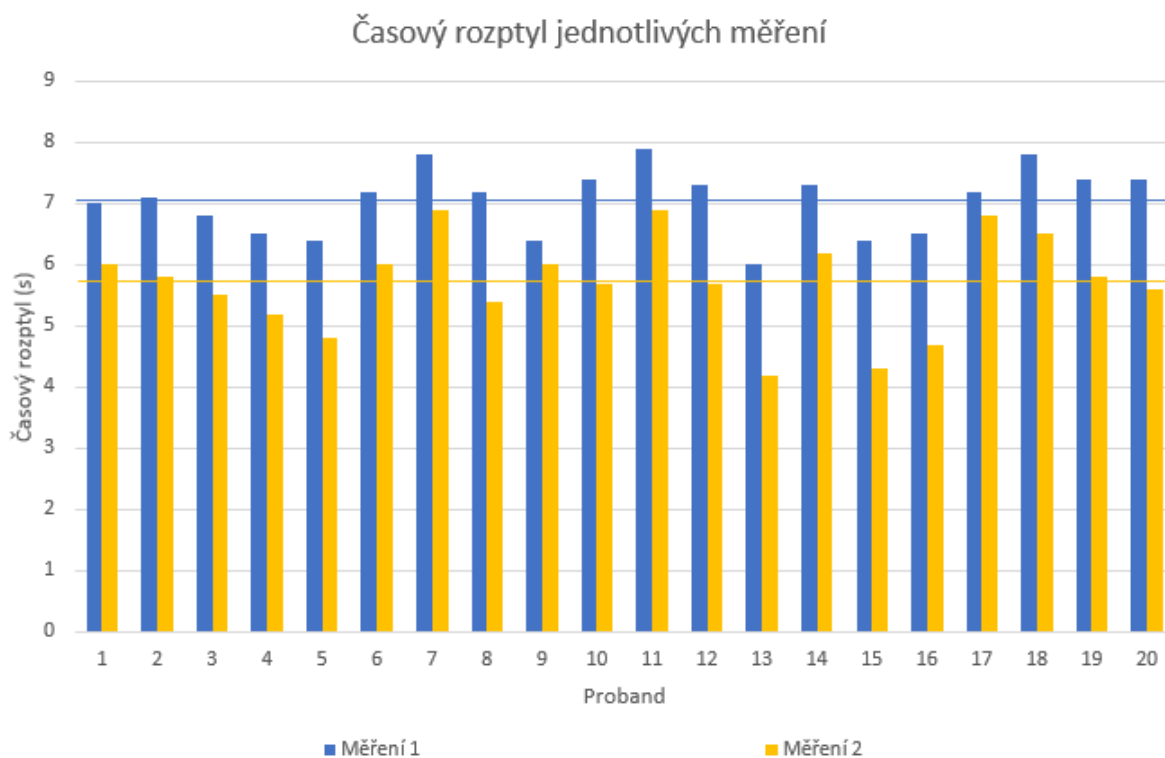
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Bylo vizuální rozhraní po představení jednoduše pochopitelné? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Je vizuální rozhraní dobře viditelné? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Budete plně věřit autonomním vozidlům s tímto vizuálním rozhraním? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

2. Jaký je váš názor ohledně reálné implementace tohoto způsobu komunikace do provozu? Navrhněte možné vylepšení.*

Obrázek 23: Dotazník

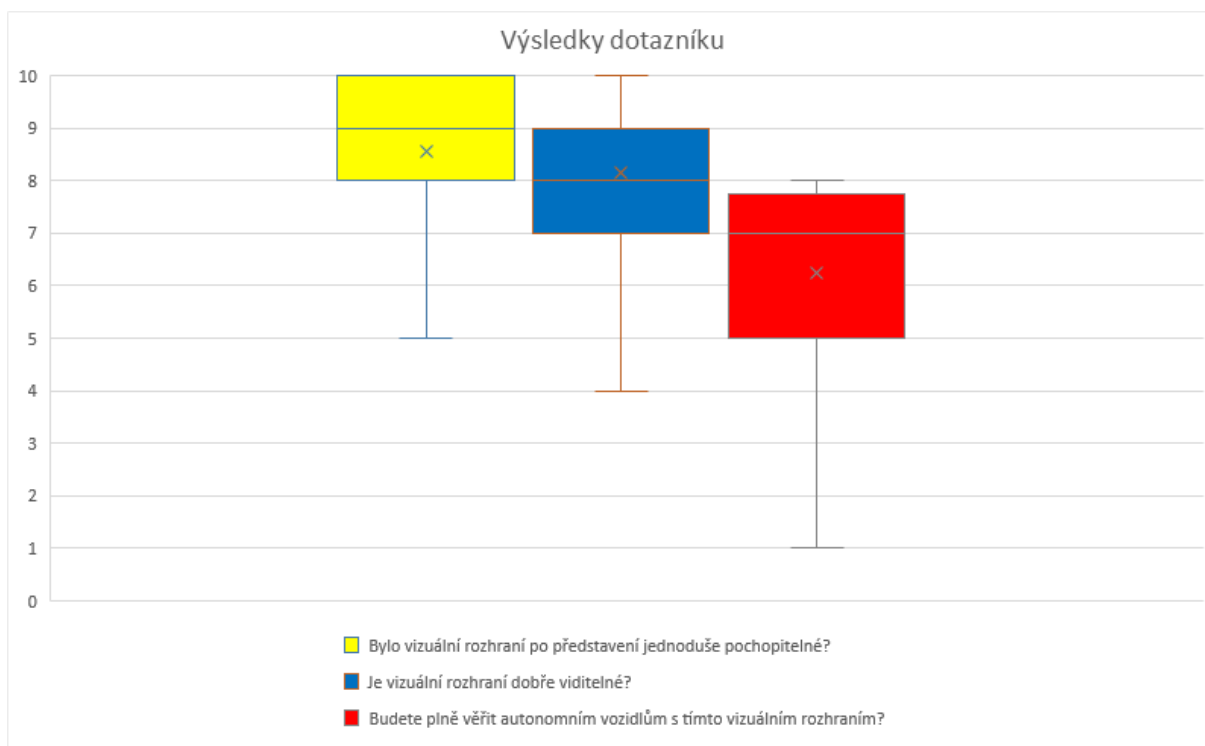
6.5 Výsledky

Byly naměřeny následovné časové dispozice (Graf 1). V prvním kole měření byl časový rozptyl mezi všemi účastníky experimentu šest až osm sekund. Aritmetický průměr doby čekání byl tak vypočítán na hodnotě 7,05 s. V druhém kole měření byl časový interval u všech probandu nižší. Konkrétně v rozmezí čtyři až sedm sekund. Aritmetický průměr druhého měření byl dán hodnotou 5,7 s. Průkazně je zde tedy vidět souvislost s menší dobou prodlevy chodce na přechodu a zvykem na vizuální rozhraní. Časová prodleva se průměrně snížila o 1,35 s.



Graf 1: Časový rozptyl jednotlivých měření

Výsledky dat z vyplněných formulářů vypadají následovně (Graf 2). Deset znamená nejlepší výsledek a jedna naopak výsledek nejhorší. V případě první otázky, byla srozumitelnost vizuálního rozhraní hodnocena aritmetickým průměrem 8,55. Nejnižší známka byla pět a nejvyšší deset. Druhá otázka ohledně viditelnosti rozhraní byla hodnocena aritmetickým průměrem 8,15. Nejnižší známkou bylo hodnocení čtyři a nejvyšší deset. Poslední otázka se vztahovala k důvěře v AV. Konkrétně zda budou dobrovolníci plně věřit autonomním vozidlům s tímto vizuálním rozhraním. Důvěra byla hodnocena nejnižší známkou jedna a nejvyšší osm, kdy byl vypočítán aritmetický průměr hodnocení 6,25.



Graf 2: Hodnocení jednotlivých otázek dotazníku

Následuje hodnocení připomínek v doplňující otázce. Jedná se o jedny s nejdůležitějších dat, která mohou sloužit k výraznému vylepšení stávajícího systému.

V doplňující otázce se nejčastěji objevovalo připomenutí absence akustického signálu a to celkem desetkrát. Dobrovolníci si bez propojení akustického s virtuálním rozhraním nedokáží představit možnost implementace do reálného provozu. Vzhledem k tomu, že si dal tento experiment za cíl prozkoumat pouze virtuální rozhraní, je tato připomínka vítána vzhledem k ověření nasbíraných dat. Pro implementaci do reálného provozu se předpokládá kombinace více rozhraní.

Šest dobrovolníků navrhovalo větší kontrast u krajních blikajících LED. Osazení výkonnějšího zdroje by tento problém vyřešilo, popřípadě mírné snížení výkonu dvou prostředních zdrojů. Pět dobrovolníků dále navrhovalo barevné odlišení signálů pro lepší pochopení vizuálního signálu. Navrhovali tak klasické rozhraní červené a zelené. Tři dobrovolníci navrhovali blikání všech modulů při detekci vzhledem k lepší viditelnosti. Tři dobrovolníci navrhují také zvětšení vzdálenosti, ve které vůz informuje o detekci chodce. Hlavně v případě pokud by vozidlo jelo vyšší rychlostí. Častým bodem z ohledem na důvěru AV byla poznámka, že v případě bezchybnosti komunikace by problém s důvěrou nebyl. Jeden respondent ovšem dodal, že pokud by jednou komunikační rozhraní selhalo, měl by následovně velký problém s obnovou důvěry v AV.

Z prezentovaných výsledků je možné vyvodit následující závěry. Měřením časové prodlevy se potvrdilo, že si chodci ke komunikaci s AV musí vybudovat důvěru. Experiment taktéž potvrzuje, že s ohledem na fungování za všech podmínek, je preference jednoho rozhraní nevhodná.

Z průzkumu ovšem vyšla velice důležitá poznámka z hlediska fungování a důvěry, která byla zmíněna dobrovolníky. Jedná se o část, kdy chodec začne plně důvěřovat v systém komunikace a tento systém v určitém případě vykáže problém. Pokud komunikační rozhraní v náhodném případě selže, může tato situace vést k velkému problému. Chodci ztratí nabytou důvěru v komunikační rozhraní. Dobrovolníci se tak nechali slyšet, že v případě problému by již k opětovnému stavu nabytí důvěry docházelo jen ztěžka. Dalším plnohodnotným výstupem této práce je tedy fakt, že navržené komunikační rozhraní musí fungovat bezchybně za všech podmínek. Tuto skutečnost odráží i průměrné hodnocení výsledků vyplněných dotazníků. Vzhledem ke skutečnosti, že měli dobrovolníci pouze dvě možnosti s komunikačním rozhraním přijít do styku, neměli možnost nabýt dostatečné důvěry v navržené rozhraní. Snižující se časová prodleva dokázala, že při navyknutí na vizuální rozhraní dochází k pokroku z hlediska k pochopení vyslaného signálu. Celková důvěra v AV ovšem vyšla spíše průměrně. K umístění a provedení signálů byla situace dle výsledků velice pozitivní.

Výsledky ohledně pochopení vizuálního rozhraní komunikace byly vyhodnoceny, jako velice dobré. Nicméně velkou měrou na tomto hodnocení se podepsal fakt, že před začátkem pokusu byly všechny fáze vizuální komunikace podrobně vysvětleny. Dobrovolníci se nechali slyšet, že bez tohoto vysvětlení by neměli ponětí, proč LED zdroje v přední části čelního okna vozu svítí/blikají. Že se jedná o prvek komunikace AV s chodcem, napadlo jen dobře informované probandy, kteří sledují podrobně situaci v automobilovém průmyslu. Dalším výstupem je tedy nutnost informovat účastníky provozu o tomto rozhraní. Bez informovanosti chodců všemi prostředky se potom tento systém v budoucnu obejde jen velice těžce. K implementaci do provozu je tak dalším bodem nutnost informovat veřejnost například sdělovacími prostředky o navrženém řešení.

Navržené umístění z hlediska viditelnosti obstálo dle výsledků velmi dobře. Potvrdila se tak správnost umístění z hlediska porovnání jiných možností v odstavci 4.6 a vhodnost vybraných LED zdrojů. Chodci tak měli možnost vidět vizuální rozhraní s dostatečným předstihem. Díky experimentu se ovšem podařilo najít i možná vylepšení následujícího systému. Dle návrhů dobrovolníků by bylo možným vylepšením vizuálního rozhraní osazení silnějších zdrojů na okraje čelního skla. Při instalaci čtyř zdrojů o stejné svítivosti docházelo k mírnému splynutí krajních blikajících LED (Obrázek 23). Silnější zdroje by tak byly oproti statickému svícení výraznější a došlo by k vylepšení ku prospěchu navrhovaného řešení.

Mezi další vylepšení by se mohla řadit implementace světelných zdrojů do panelu popřípadě vlastního upevnění na čelní sklo. Při upevnění LED zdrojů na stropnici činí vzdálenost mezi zdrojem světla a čelním sklem necelých deset centimetrů. Instalací přímo k čelnímu sklu dojde ke zlepšení viditelnosti, při přímém oslnění slunečním světlem a omezení tak následných odlesků, které omezují viditelnost LED zdrojů. Navrhované vylepšení je vítáno nejen z pohledu chodců, ale také z pohledu komfortu posádky uvnitř vozu. Silné světelné zdroje v navrhovaném experimentu nemají navrženou clonu, která by bránila pronikání světelných paprsků do interiéru vozu. V tomto případě může dojít k oslnění posádky uvnitř vozu v autonomním provozu. Hlavně při jízdách ve tmě může dojít k narušení komfortu cestování. Při sériové výrobě tento problém nemusí nastat, jelikož na toto kritérium bude myšleno.



Obrázek 24: Viditelnost LED zdrojů

Ve finále byla tedy dokázána vhodnost provedení experimentu v reálném prostředí. Při testování ve VR by bylo velmi složité ověřit výkonnost testovaných LED zdrojů nebo oslnění posádky uvnitř vozu. Proto je ověření funkčnosti v reálném testu obecně nutné. Navržený systém byl vyhodnocen jako srozumitelný.

7 Závěr

V první části práce se autor věnoval uvedení do problematiky automatizace a prozkoumání stávajících možností komunikace. Byly popsány jednotlivé úrovně autonomie vozidel. Od úrovně nula, kde není vozidlo automatizováno až po úroveň pět, tedy vozidlo schopné plně autonomní jízdy. Dále byly představeny technické možnosti konstrukčního řešení komunikačního rozhraní. Ze stávajících možností komunikace bylo po pečlivém zkoumání vybráno vhodné vizuální komunikační rozhraní, které bylo následně podrobena experimentu. Došlo tak na ověření funkčnosti tohoto rozhraní v reálném prostředí.

Cílem experimentu bylo prozkoumat důvěru chodců v navržené vizuální rozhraní. Vizuální prvek komunikace byl umístěn na vrchní hranu čelního skla, složen ze čtyř LED modulů (Obrázek 24). Vhodnost umístění byla navržena vzhledem k nalezeným výsledkům již proběhlých studií. Byla tak zaručena dobrá viditelnost systému za všech podmínek. Výstupem experimentu bylo ověření viditelnosti a srozumitelnosti navrhnutého rozhraní z pohledu chodce.



Obrázek 25: Vizuální komunikační rozhraní

Dalším krokem bylo navrhnutí reálného testu. Experiment proběhl vzhledem k bezpečnosti a legislativní odpovědnosti na nefrekventované komunikaci. Za spolupráce dvaceti probandů se měřily veličiny časového intervalu, který značil důvěru v dané komunikační rozhraní. V případě, že byl naměřený časový interval dlouhý, dalo se předpokládat, že chodec ve vizuální rozhraní nemá důvěru a čeká, než vozidlo zastaví. Celkem měl každý proband dva měřené pokusy. Předpokládalo se, že při opakovaném pokusu se časové intervaly v průměru zkrátí z důvodu porozumění vizuálního rozhraní. Tento předpoklad byl naplněn a časový interval se u všech probandů zkrátí v rámci vteřin. Byl tedy ověřen předpoklad, že chodec si

na komunikační rozhraní musí postupně navyknout a vybudovat si v AV důvěru. Při správném zapracování komunikačního rozhraní bude tak naplněna podstata o bezpečném a plynulém provozu v souvislosti s autonomními vozidly a chodci.

Další data z experimentu byla k následovnému vyhodnocení sbírána pomocí dotazníku. Každý proband vyplnil dotazník se třemi otázkami a jedním doplňujícím dotazem. Otázky se týkaly viditelnosti, pochopení a důvěry v testované vizuální rozhraní. Doplňující dotaz se vztahoval k možnému vylepšení vizuálního systému. Výsledky dopomohly k ověření funkčnosti vizuálního rozhraní a poukázaly na možné vylepšení. Celkově bylo testované rozhraní hodnoceno velice kladně z hlediska viditelnosti a pochopení světelných signálů. Naopak průměrně z hlediska důvěry. Probandi se nechali slyšet, že celkovou důvěru v systém si budou budovat pozvolna. Navíc v případě nenadálého problému o tuto důvěru velice rychle přijdou. Z výsledků vyplynulo, že při použití tohoto systému komunikace bude vhodné použít více svítivé LED zdroje po stranách vizuálního rozhraní. Stávající LED zdroje byly za přímého slunečního svitu méně viditelné. Dalším podnětem na zlepšení je odstínění LED zdrojů z hlediska vnitřní posádky vozu. U silných LED zdrojů může dojít hlavně ve večerních hodinách k oslnění vnitřní posádky, což z hlediska komfortu není žádoucí. Odstranit tento problém při implementaci do vozidla nebude složité. Testované vozidlo nebylo na systém testovacího vizuálního rozhraní plně připraveno. Při výrobě finálního vizuálního systému bude na tento bod brán ohled a LED panel nebude posádku uvnitř vozu oslňovat.

Celkově experiment, tak poukázal na možné nedostatky a případné možnosti, jak navržené vizuální rozhraní vylepšit. Také se ukázalo, že v případě plné implementace do praxe je potřeba systém zdokonalit. Bylo také odhaleno, jak na celý systém vizuální komunikace reagují chodci.

Nejlepší možností se jeví vzájemné propojení minimálně dvou rozhraní komunikace. Kupříkladu vizuálního s akustickým rozhráním. V dopravním proudu se objevují i lidé, se sníženou schopností pohybu a orientace a je nutné, aby komunikační rozhraní vyhovovalo všem. Také je v dopravním proudu například mnoho chodců, kteří nevěnují plně pozornost. Vizuální kontakt mohou ztratit například při pohledu do displeje mobilního zařízení. Akustický kontakt mohou ztratit v případě sluchátek v uších. Vzájemným propojením více rozhraní se dá tento problém do jisté míry odstranit. Tuto skutečnost potvrdilo i několik probandů. Ve večerních podmínkách je potom možné přiřadit další komunikační rozhraní projekce na vozovku.

Jelikož je problematika vnějšího HMI značně složitá, lze tuto práci považovat za základ úvodu do problematiky vzájemné komunikace mezi chodcem a AV. Je nutné provést další analýzy

a testy navržených rozhraní. Příslibem dalšího testování bude následné odstraňování nedostatků. Tyto nedostatky mohou v reálném provozu znamenat fatální následky a tak je jejich odstranění opravdu nutné.

Autor by chtěl do budoucna pokračovat v tomto výzkumu a uskutečnit další řadu experimentů. Tentokrát ovšem se zdokonaleným systémem komunikace a pokud možno v reálném provozu na dvouproudové komunikaci. Naměřené výsledky dalších zdokonalených experimentů budou opět blíže implementaci celého systému do reálného provozu.

Autor věří, že má tato práce společně s uskutečněným experimentem reálný přínos. Vzhledem k získání mnoha informací ohledně problematiky autonomních vozidel je cílem tyto poznatky nadále rozvíjet a přenést do následující práce v navazujícím magisterském studiu.

Použitá literatura

- [1] Who sees you when the car drives itself? [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.semcon.com/smilingcar/>
- [2] Úrovně autonomního řízení – jak šel čas od nuly až k Tesle [online]. 2016 [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <https://www.teslafan.cz/clanky/urovne-autonomniho-rizeni-jak-sel-cas-od-nuly-az-k-tesle>
- [3] Samořídící auta Waymo najezdí každý den víc než průměrný řidič za tři roky [online]. 2018 [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/478877-samoridici-auta-waymo-najezdi-kazdy-den-vic-nez-prumerny-ridic-za-tri-roky.html>
- [4] Švédové představili autonomní elektronákladák pro přepravu dřeva [online]. 2018 [cit. 2018-08-13]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/480306-svedove-predstavili-autonomni-elektronakladak-pro-prepravu-dreva.html>
- [5] Smiling Self-Driving Car is for Pedestrian Safety [online]. 2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.hybridcars.com/smiling-self-driving-car-is-for-pedestrian-safety/>
- [6] Autonomous vehicles to communicate with people. [online]. 2017 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2017/09/13/ford-virginia-tech-autonomous-vehicle-human-testing.html>
- [7] MULTIBEAM LED headlamps in the new E-Class. [online]. 2017 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/multibeam-led-headlamps-in-the-new-e-class-video/>
- [8] HANZEL, František. Ako fungujú nové multibeam svetlá v novom Mercedese E [online]. 2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.topspeed.sk/ako-funguju-multibeam-led-svetla-v-novom-mercedese-e-/10148>
- [9] AVIP: Automated Vehicle Interaction Principles [online]. [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <https://www.viktoria.se/projects/avip-automated-vehicle-interaction-principles>
- [10] Tobias Lagström, Victor Malmsten Lundgren. AVIP - Autonomous vehicles' interaction with pedestrians. [online] 2015. [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/238401/238401.pdf>
- [11] Evaluating interactions with non-existing automated vehicles. [online] 2016. [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7535360/>

- [12] Jim Gorzelany 'The Smiling Car' Concept Gives Autonomous Autos A Great Big Emoji [online] 2016. [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/jimgorzelany/2016/09/16/the-smiling-car-concept-gives-autonomous-autos-a-great-big-emoji/#2897b820243d>
- [13] Who sees you when the car drives itself? [online]. [cit. 2018-07-27]. Dostupné z: <https://semcon.com/smilingcar/>
- [14] Michael Clamann, Miles Aubert, Mary L. Cummings, Who sees you when the car drives itself? [online] 2016. [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: https://hal.pratt.duke.edu/sites/hal.pratt.duke.edu/files/u10/Clamann_etal_TRB2016.pdf
- [15] How Can We Make Driverless Cars Safe for Pedestrians? [online] 2017. [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: <https://futurism.com/make-driverless-cars-safe-pedestrians/>
- [16] The San Diego Union-Tribune [online] 2018. [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: <http://www.tronc.com/gdpr/sandiegouniontribune.com/>
- [17] Grace Ballenger. The research behind that mysterious 'driverless' car spotted in DC last month [online] 2017. [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: <https://technical.ly/dc/2017/09/19/driverless-car-seat-suit-ford/>
- [18] Franz Keferböck, Andreas Riener. Strategies for Negotiation between Autonomous Vehicles and Pedestrians [online] 2015. [cit. 2018-08-04]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/281785219_Strategies_for_Negotiation_between_Autonomous_Vehicles_and_Pedestrians

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1: Počty registrovaných osobních automobilů (zdroj: http://ceskatelevize.cz) | 8 |
| Obrázek 2: Stupně automatizace (zdroj: http://slidehunter.com) | 10 |
| Obrázek 3: Ukázka adaptivního tempomatu (zdroj: https://www.opel.cz)..... | 11 |
| Obrázek 4: Ukázka zobrazení autopilotu Tesla (zdroj: https://www.teslarati.com)..... | 12 |
| Obrázek 5: Stroj T-Log (zdroj: http:// media.novinky.cz) | 13 |
| Obrázek 6: Ukázka LED panelu na přední části (zdroj: http://hybridcars.com) | 15 |
| Obrázek 7: Ukázka LED panelu za čelním sklem (zdroj: http://media.ford.com)..... | 15 |
| Obrázek 8: Ukázka LED projekce na vozovku (zdroj: http://autocar.co.uk)..... | 16 |
| Obrázek 9: Reakce chodce na přijíždějící vozidlo (zdroj: http://victoria.se) | 20 |
| Obrázek 10: Umístění LED panelu na vozidle (zdroj: http://victoria.se)..... | 21 |
| Obrázek 11: Zobrazení jednotlivých fází (zdroj: http://publications.lib.chalmers.se) | 22 |
| Obrázek 12: Smiling car při testování (zdroj: https://www.forbes.com)..... | 23 |
| Obrázek 13: Velikost panelu na přední části (zdroj: http:// hal.pratt.duke.edu) | 25 |
| Obrázek 14: Ukázka atrapy sedadla řidiče (zdroj: https://technical.ly)..... | 26 |
| Obrázek 15: Ford při testu autonomního řízení (zdroj: https://www.stoplusjednicka.cz/) . | 27 |
| Obrázek 16: Virtuální set HTC Vive (zdroj: http://autoforum.cz) | 28 |
| Obrázek 17: Varianty LED zdrojů..... | 31 |
| Obrázek 18: Vozidlo v plně autonomním režimu | 32 |
| Obrázek 19: Vozidlo informuje chodce, že může přejít komunikaci..... | 32 |
| Obrázek 20: Interiér testovaného vozidla | 33 |
| Obrázek 21: Schéma experimentu..... | 33 |
| Obrázek 22: Chodec přechází komunikaci | 34 |
| Obrázek 23: Dotazník..... | 35 |
| Obrázek 24: Viditelnost LED zdrojů | 39 |
| Obrázek 25: Vizualní komunikační rozhraní | 40 |

Všechny obrázky, které nemají uvedený zdroj, byly vytvořeny autorem práce.