



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## TESTOVACÍ SYSTÉM JEDNOTEK C-ITS

TEST SYSTEM FOR C-ITS UNITS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Martina Mareková**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Petr Číka, Ph.D.**

**BRNO 2024**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

**Studentka:** Bc. Martina Mareková

**ID:** 220822

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2023/24

**NÁZEV TÉMATU:**

## Testovací systém jednotek C-ITS

### POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem diplomové práce je vyvinout (polo)automatické testování jednotek C-ITS, a to s přihlédnutím k jejich rolím. Náplň práce bude:

- Seznámit se s komunikačními standardy ETSI ITS-G5, C-ROADS a Car-2-Car a příslušnými testovacími procedurami a jazykem TTCN-3.
- Navrhnout systematické postupy testů pro každý typ a roli jednotek tak, aby jednotky splňovaly standardy ETSI i dodržovaly chování dle scénářů C-ROADS.
- Připravit programy či skripty a metody pro (polo)automatické testování jednotlivých scénářů:
  - RSU připojené k radiči křižovatky,
  - Jednotka OBU na vozech veřejné dopravy
  - Jednotka OBU na vozech IZS

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Colin Willcock et al.: Introduction to TTCN-3, John Willey and Sons, 2011  
[2] ETSI TS 103 192-1/2: Interoperability test specifications for ITS V2X use cases

**Termín zadání:** 5.2.2024

**Termín odevzdání:** 21.5.2024

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Číka, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Ivo Herman, Ph.D.

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Táto práca sa zameriava na návrh systematických testovacích postupov pre jednotky C-ITS, aby splnili štandardy ETSI a scenáre C-ROADS. Implementovali sme (polo)automatické testovanie pre RSU pripojené k riadiču križovatky, OBU na vozidlách verejnej dopravy a vozidlách integrovaného záchranného systému (IZS). Vyvinuté testovacie skripty a programy umožnili efektívne a opakovateľné testovanie, s dôrazom na automatizáciu a jednoduchú údržbu. Výsledky potvrdili, že jednotky spĺňajú požadované štandardy a scenáre. Práca prispela k spoľahlivejším a efektívnejším testom pre overovanie funkčnosti jednotiek C-ITS, čo podporuje vývoj inteligentných dopravných systémov.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

ITS, OBU, RSU, radič križovatky, CAM, DEMN, SRM, SSM, MAP, SPAT, ETSI štandardy, C-ROADS scenáre, automatizované testovanie, testovacie skripty, funkčnosť C-ITS.

## **ABSTRACT**

This study focuses on designing systematic testing procedures for C-ITS units to meet ETSI standards and C-ROADS scenarios. We implemented (semi-)automatic testing for RSUs connected to intersection controllers, OBUs on public transport vehicles, and OBUs on integrated rescue system (IRS) vehicles. Developed testing scripts and programs enabled efficient and repeatable testing, with an emphasis on automation and easy maintenance. The results confirmed that the units meet the required standards and scenarios. This work contributed to more reliable and efficient tests for verifying the functionality of C-ITS units, supporting the development of intelligent transport systems.

## **KEYWORDS**

ITS, OBU, RSU, intersection controller, CAM, DENM, SRM, SSM, MAP, SPAT, ETSI standards, C-ROADS scenarios, automated testing, testing scripts, C-ITS functionality.

MAREKOVÁ, Martina. *Testovací systém jednotek C-ITS*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2024. Vedúci práce: doc. Ing. Petr Číka, Ph.D.

## Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

**Meno a priezvisko autora:** Bc. Martina Mareková  
**VUT ID autora:** 220822  
**Typ práce:** Diplomová práca  
**Akademický rok:** 2023/24  
**Téma závěrečnéj práce:** Testovací systém jednotek C-ITS

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracovala samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autorka uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušila autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahla nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomá následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autorky\*

---

\*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

## POĎAKOVANIE

Rada by som sa poďakovala svojmu vedúcemu práce doc. Ing. Petru Číkovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Ivovi Hermanovi, Ph.D. za ochotu pri spolupráci, cenné rady, návrhy a hlavne trpezlivosť.

# Obsah

Úvod	10
<b>1 Komunikačné štandardy</b>	<b>11</b>
1.1 Štandard ETSI ITS-G5	11
1.2 C-ROADS	12
1.3 C-ROADS CZ	13
1.4 Car-2-Car	13
1.5 TTCN-3	14
<b>2 Architektúra</b>	<b>15</b>
2.1 Centrálné prvky C-ITS	15
2.1.1 Bezpečnostná vrstva	15
2.1.2 Medzinárodná úroveň	15
2.1.3 Integrovaná platforma	15
2.2 Centrálna C-ITS stanica	16
2.3 Jednotky C-ITS	16
2.3.1 OBU	16
2.3.2 RSU	20
<b>3 Typy správ</b>	<b>22</b>
3.1 CAM	22
3.2 DENM	23
3.3 IVI	24
3.4 MAP	25
3.5 SPAT	26
3.6 SRM	27
3.7 SSM	28
3.8 Geonetworking	29
<b>4 Testovanie C-ITS jednotiek</b>	<b>30</b>
4.1 Vznik referenčných súborov a súborov pre testovanie	31
4.2 Úprava časových údajov	34
4.3 Výpočet frekvencie vysielania a jej porovnanie	34
4.4 Porovnávanie intervalov a obsahu správ	35
4.5 Simulácia prejazdu vozidla verejnej dopravy	37
4.6 Simulácia prejazdu vozidla záchrannej služby	40
4.7 Korektné správanie jednotky RSU	41

<b>5</b>	<b>Testovacie scenáre</b>	<b>44</b>
5.1	Testovací scenár pre jednotku OBU . . . . .	44
5.2	Testovací scenár pre jednotku RSU . . . . .	45
<b>6</b>	<b>Program analýzy vysielania staníc C-ITS</b>	<b>48</b>
6.1	Príprava vstupných dát . . . . .	48
6.2	Využitie knižnice . . . . .	49
6.3	Súborová štruktúra . . . . .	50
6.3.1	ModeConfigurator.py . . . . .	50
6.3.2	DataProcessor.py . . . . .	50
6.3.3	IntervalTracker.py . . . . .	51
6.3.4	CoordinateAdjuster.py . . . . .	52
6.3.5	CITStest.py . . . . .	52
6.3.6	Pomocné triedy . . . . .	52
6.4	Spustenie aplikácie . . . . .	53
6.5	Výstupy aplikácie . . . . .	53
6.5.1	Chybové hlásenia . . . . .	53
6.5.2	Konzolové hlásenia . . . . .	54
6.6	Vstupné a výstupné dáta . . . . .	56
	<b>Záver</b>	<b>57</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>58</b>
	<b>Zoznam symbolov a skratiek</b>	<b>62</b>
	<b>Zoznam príloh</b>	<b>63</b>
<b>A</b>	<b>Stromová štruktúra testovacieho programu</b>	<b>64</b>
<b>B</b>	<b>Vývojový diagram testovacieho programu</b>	<b>65</b>
<b>C</b>	<b>Tabuľka hľadaných hodnôt pre konkrétny parameter</b>	<b>66</b>
<b>D</b>	<b>Tabuľka vypočítaných intervalov pre referenčný súbor</b>	<b>68</b>
<b>E</b>	<b>Obsah elektronickej prílohy</b>	<b>69</b>



# Zoznam obrázkov

2.1	Aplikácia V2Vis . . . . .	18
2.2	Jednotka OBU . . . . .	19
2.3	Samostatná jednotka RSU . . . . .	20
3.1	OSI Geonetworking . . . . .	29
4.1	Zachytený pcap vysielaných správ z jednotky OBU . . . . .	31
4.2	Diagram vstupných súborov testovania jednotky OBU . . . . .	33
4.3	Výpis v konzole v prípade hodných vysielaní definovaných parametrov v obsahu správy . . . . .	37
4.4	Výpis v konzole v prípade hodných vysielaní definovaných parametrov v obsahu správy . . . . .	37
4.5	Testovacia trasa na základe trasy z vozidla MHD Ostrava. Červená šípka označuje smer jazdy vozidla MHD . . . . .	38
4.6	Diagram vysielaných správ na začiatku testovacej trasy. Jedná sa o úsek medzi štyrmi zastávkami. . . . .	39
4.7	Diagram vysielaných a prijímaných správ na testovacej trase. Táto časť trasy demonštruje komunikáciu medzi jednotkou OBU a RSU. Vozidlo začína na poslednej zastávke z diagramu 4.6 . . . . .	39
4.8	Tabuľka vysielaných správ CAM v rámci testovacej jazdy . . . . .	40
4.9	Tabuľka vysielaných správ DENM v rámci testovacej jazdy . . . . .	40
4.10	Traces správy DENM. . . . .	41
4.11	Testovacia trasa vozidla IZS . . . . .	42
4.12	Vygenerovaná DENM "emergency vehicle approaching" . . . . .	43
A.1	Stromový diagram . . . . .	64
B.1	Vývojový Diagram . . . . .	65

# Úvod

Cielom tejto diplomovej práce je vyvinúť (polo)automatické testovanie jednotiek C-ITS, s prihliadnutím na ich rôzne role a funkcie v rámci inteligentných dopravných systémov. C-ITS predstavujú kľúčový prvok pre zabezpečenie bezpečnosti a efektivity dopravy, a ich správne fungovanie je zásadné pre úspešné nasadenie týchto systémov do praxe.

V súčasnosti existuje niekoľko komunikačných štandardov a protokolov, ktoré sú základom pre interoperabilitu a správne fungovanie jednotiek C-ITS. Medzi najdôležitejšie patria štandardy ETSI ITS-G5, C-ROADS a Car-2-Car. Pre zabezpečenie kvality a spoľahlivosti týchto systémov je nevyhnutné implementovať dôkladné testovacie postupy a procedúry, ktoré overia, že jednotky spĺňajú požadované štandardy a správajú sa podľa očakávaných scenárov.

Prvá časť práce sa bude zaoberať teoretickým základom, kde budú predstavené komunikačné štandardy a testovacie procedúry. Následne budú navrhnuté testovacie postupy pre jednotlivé typy jednotiek a role, ktoré tieto jednotky v rámci C-ITS plnia. V praktickej časti budú vyvinuté programy a skripty pre automatizované testovanie, ktoré umožnia efektívne overovanie funkčnosti a kompatibility jednotiek s definovanými štandardmi a scenármi.

Táto práca tak prispeje k rozvoju spoľahlivých a bezpečných inteligentných dopravných systémov, ktoré sú schopné efektívne komunikovať a spolupracovať v rámci modernej dopravnej infraštruktúry.

# 1 Komunikačné štandardy

Kooperatívne inteligentné dopravné systémy (známe tiež ako "C-ITS") sú technologické systémy umožňujúce bezpečnú a dôveryhodnú komunikáciu medzi vozidlami, ako aj medzi vozidlami a dopravnou infraštruktúrou. Zmyslom kooperatívnych systémov v aktuálnej ranej fáze ich implementácie je prinášať vodičovi cielené, včasné a kvalitné informácie o dianí okolo neho a zároveň poskytovať správcovi komunikácie aktuálne informácie o premávke. V dlhodobom horizonte predstavujú kooperatívne systémy vývojový medzistupeň pre technológiu automatizovaného riadenia vozidiel. Všeobecne kooperatívne systémy zvyšujú bezpečnosť a plynulosť dopravy a znižujú jej negatívne vplyvy na životné prostredie[1].

Architektúra C-ITS systému sa skladá z centrálnych prvkov zabezpečujúcich dôveryhodnosť a zabezpečenie prostredia, centrálnych staníc C-ITS pre generovanie, spracovanie a distribúciu C-ITS správ, staníc C-ITS pre vzájomnú komunikáciu a pripojených dopravných centier[1].

## 1.1 Štandard ETSI ITS-G5

ETSI ITS-G5 je dôležitý komunikačný štandard vyvinutý Európskym telekomunikačným štandardizačným inštitútom (ETSI), ktorý sa zameriava na inteligentné dopravné systémy (ITS). Tento štandard, ktorý vychádza z technológie IEEE 802.11p, je kľúčový pre vozidlovú komunikáciu, zahrnujúc komunikáciu medzi vozidlami (V2V) a medzi vozidlami a dopravnou infraštruktúrou (V2I), čo je súčasťou širšieho konceptu vozidlo-čokoľvek (V2X)[1].

Štandard ETSI ITS-G5 pracuje v 5.9 GHz frekvenčnom pásme a je optimalizovaný pre krátkodobé a rýchle bezdrôtové komunikácie, ktoré sú nevyhnutné v dynamickom prostredí dopravných systémov. Je úzko prepojený s technológiou Dedicated Short-Range Communications (DSRC), ktorá umožňuje vozidlám priamu komunikáciu s inými účastníkmi cestnej premávky bez potreby mobilnej alebo inej sieťovej infraštruktúry[1] [2].

V kontexte zabezpečenia a anonymity, ITS-G5 poskytuje zabezpečený a anonymný prenos dát. Vozidlá pritom odosielajú informácie o svojej polohe, smere a rýchlosti až desaťkrát za sekundu, čo je kritické pre efektívnu a bezpečnú výmenu informácií. Tieto údaje sú prenášané bezpečným a anonymným spôsobom. Každé okolité vozidlo prijíma tieto správy a odhaduje riziko predstavované vysielajúcim vozidlom. Riziká sú definované ako "bezpečnostné aplikácie", ako napríklad asistencia pri odbočovaní vľavo (LTA), pomoc pri pohybe na križovatke (IMA) a mnohé ďalšie. [3]

Štandard ITS-G5 zahŕňa aj požiadavky pre geografické siete a komunikáciu vozidiel, čo je nevyhnutné pre implementáciu služieb V2X v ITS staniách. Navyše, ITS-G5 je prezentovaný ako alternatíva k systému WAVE/DSRC definovanému v IEEE 1609 a SAE J2735, pričom oba systémy používajú rovnaké fyzické vrstvy bezdrôtovej prístupovej vrstvy v 5.9 GHz frekvenčnom pásme podľa IEEE 802.11p, ale ITS-G5 zahŕňa adaptácie na zníženie preťaženia. [4]

## 1.2 C-ROADS

Projekt C-Roads predstavuje širokú iniciatívu s cieľom podporiť a implementovať kooperatívne inteligentné dopravné systémy (C-ITS) v rámci Európy. Jeho primárnym zámerom je zabezpečiť, aby C-ITS služby boli kompatibilné naprieč hranicami a poskytovali konzistentné výhody pre účastníkov cestnej premávky. Kľúčovým aspektom tohto projektu je spolupráca medzi rôznymi členskými štátmi, orgánmi a prevádzkovateľmi ciest na harmonizácii nasadenia C-ITS. [5]

V rámci projektu C-Roads sú vytvárané pracovné skupiny sústredenú na rôzne aspekty C-ITS, vrátane technických špecifikácií, testovania, kompatibility a nasadenia. Tieto skupiny pracujú na rozvoji štandardov a postupov, ktoré majú byť prijaté na európskej úrovni s cieľom zaistiť kompatibilitu a efektivitu systémov C-ITS. [5]

Ciele projektu C-Roads zahŕňajú:

- **Harmonizácia nasadenia C-ITS:** Zabezpečiť, aby kooperatívne inteligentné dopravné systémy (C-ITS) boli nasadené harmonicky naprieč Európou.
- **Kompatibilita cezhraničných C-ITS služieb:** Dosiahnuť kompatibilitu C-ITS služieb cez hranice jednotlivých krajín.
- **Podpora cezhraničnej komunikácie a spolupráce:** Podporiť spoluprácu a komunikáciu medzi členskými štátmi, prevádzkovateľmi ciest a inými relevantnými zainteresovanými stranami.
- **Implementácia a testovanie C-ITS služieb:** Podporovať testovanie a implementáciu C-ITS služieb v reálnych podmienkach, aby sa overila ich účinnosť a funkčnosť. [5]

C-ROADS taktiež podporuje výmenu informácií a najlepších praktík medzi členskými štátmi a inými zainteresovanými stranami a zameriava sa na rozvoj a zlepšenie bezpečnosti, efektivity a udržateľnosti cestnej dopravy prostredníctvom pokročilej technológie a kooperatívnej komunikácie. [5]

## 1.3 C-ROADS CZ

V rámci projektu C-ROADS CZ bolo vytvorených päť pilotných lokalít zameraných na integráciu a testovanie C-ITS technológií, pričom na každej lokalite sa využívali rôzne kombinácie jednotiek OBU (On-board Units) a RSU (Road Side Units). DT1 sa sústredil na koridory v okolí mesta Brna, kde boli nasadené OBU v mobilných vozidlách údržby a RSU pozdĺž hlavných dopravných tepien. DT2, ktorý sa týkal mesta Brno, integroval RSU na kľúčových mestských komunikáciách a križovatkách a OBU v vozidlách mestských dopravných služieb. V DT3, na diaľniciach D5 a D11, boli implementované RSU pozdĺž diaľnic a OBU v údržbových vozidlách, čím sa zvyšovala bezpečnosť na týchto kritických úsekoch. DT4 zahŕňal nasadenie RSU v mestách Plzeň a Ostrava na mestských križovatkách a OBU v mestských dopravných prostriedkoch na zlepšenie koordinácie a bezpečnosti. Nakoniec, DT5 sa sústreďoval na železničné prejazdy v Pardubickom a Ústeckom kraji, kde boli nasadené RSU na zvýšenie bezpečnosti na týchto nebezpečných priesečníkoch. Tieto aplikácie OBU a RSU poskytli cenné poznatky o výhodách a možnostiach C-ITS v rôznych dopravných a infraštruktúrnych prostrediach [9].

## 1.4 Car-2-Car

Car 2 Car (C2C) je konzorcium, ktoré združuje európskych a medzinárodných výrobcov vozidiel, dodávateľov vybavenia, inžinierske spoločnosti, prevádzkovateľov ciest a výskumné inštitúcie s cieľom spoločne vyvíjať a implementovať komunikačné riešenia pre komunikáciu medzi vozidlami (V2V) a medzi vozidlami a infraštruktúrou (V2I) v oblasti inteligentných dopravných systémov (ITS). Členovia konzorcia sa zaviazali k tomu, že budú harmonizovať štandardy pre C-ITS a prispievajú k európskej a medzinárodnej standardizácii a harmonizácii C-ITS, vrátane komunikácie V2X (Vehicle-to-Everything). V priebehu rokov sa Konzorcium pre komunikáciu C2C stalo jedným z kľúčových hráčov pri príprave počiatočného nasadenia C-ITS v Európe a následných fáz inovácií. Členovia C2C sa sústreďujú na bezdrôtové aplikácie komunikácie V2V na základe štandardu ITS-G5 a venujú všetky svoje úsilie tvorbe noriem, ktoré zabezpečujú kompatibilitu kooperatívnych systémov, ktoré zahŕňajú všetky triedy vozidiel a značiek. Konzorcium pre komunikáciu C2C ako kľúčový prispievateľ úzko spolupracuje s európskymi a medzinárodnými standardizačnými organizáciami, ako je ETSI [6].

## 1.5 TTCN-3

**TTCN-3** je skratka pre **Testing and Test Control Notation version 3**, čo je medzinárodný štandardizovaný jazyk určený na špecifikáciu testovacích prípadov a postupov. TTCN-3 je vyvinutý organizáciou **ETSI** a je široko používaný v oblasti telekomunikácií, automobilového priemyslu, a ďalších oblastiach, kde je potrebné automatizované testovanie komplexných systémov [7].

### Kľúčové vlastnosti TTCN-3

- **Modulárnosť:** TTCN-3 podporuje modulárnu štruktúru, ktorá umožňuje opätovné použitie testovacích komponentov a ľahkú údržbu testovacích balíkov.
- **Flexibilita:** TTCN-3 umožňuje testovanie na rôznych úrovniach (od jednotkového testovania až po systémové testovanie) a podporuje širokú škálu protokolov a rozhraní.
- **Formalizmus:** Jazyk TTCN-3 má presne definovanú syntax a sémantiku, čo zaručuje jednoznačnosť a konzistenciu testovacích špecifikácií.
- **Podpora paralelizmu:** TTCN-3 umožňuje súbežné vykonávanie testovacích procedúr, čo je nevyhnutné pre testovanie distribuovaných systémov.
- **Rozšíriteľnosť:** TTCN-3 môže byť rozšírený o používateľom definované typy, funkcie a šablóny, čo umožňuje prispôbenie testovania špecifickým požiadavkám.
- **Použitie v oblasti ITS:** TTCN-3 sa používa na testovanie komunikačných štandardov, ako sú ETSI ITS-G5, C-ROADS a Car-2-Car [7].

### Prečo sme nevyužili TTCN-3

- **Komplexnosť:** Implementácia TTCN-3 môže byť zložitá a časovo náročná, najmä pre osoby bez predchádzajúcich skúseností s týmto jazykom.
- **Nástroje a prostredie:** Vývoj a spustenie testov v TTCN-3 často vyžaduje testovacie prostredie náročné na integráciu do existujúcich pracovných procesov.
- **Špecifickosť použitia:** TTCN-3 je optimalizovaný pre formálne a štandardizované testovanie telekomunikačných a sieťových protokolov. Pre náš konkrétny projekt zameraný na analýzu a spracovanie dát z vozidiel môže byť použitie jednoduchších a priamočiarejších metód efektívnejšie.
- **Flexibilita a dostupnosť knižníc v Pythone:** Python ponúka bohatú sadu knižníc pre spracovanie dát (napr. Pandas), vizualizáciu a ďalšie úlohy, čo umožňuje rýchle prototypovanie a iteratívny vývoj testovacích a analytických nástrojov.

## 2 Architektúra

### 2.1 Centrálné prvky C-ITS

Centrálné prvky C-ITS v Českej republike sú štruktúrované do dvoch hlavných vrstiev: bezpečnostnej vrstvy a integračnej platformy.

#### 2.1.1 Bezpečnostná vrstva

Bezpečnostná vrstva C-ITS je založená na infraštruktúre verejných kľúčov (PKI), využívajúcej asymetrickú kryptografiu. Tento systém obsahuje nasledujúce komponenty:

- **Koreňová certifikačná autorita (Root CA):** Spravuje koreňové certifikáty, zaisťuje najvyššiu úroveň dôveryhodnosti.
- **Registračná autorita (EA):** Registruje účastníkov a integruje ich do systému C-ITS.
- **Autorizačná autorita (AA):** Spravuje autorizácie a práva účastníkov.

Na národnej úrovni PKI systémy spravujú digitálne certifikáty, vydávajú zoznamy certifikátov a zabezpečujú revokáciu certifikátov, pričom dôvera je zaručená prostredníctvom koreňovej certifikačnej autority[28].

#### 2.1.2 Medzinárodná úroveň

Medzinárodné prepojenie PKI systémov zaisťuje interoperabilitu a dôveryhodnosť medzi členskými štátmi EÚ. Kľúčové komponenty:

- **C-ITS Point of Contact (CPOC):** Výmena informácií o bezpečnosti a certifikáciách.
- **Trust List Manager (TLM):** Publikuje zoznamy dôveryhodných certifikátov.
- **European Certificate Trust List (ECTL):** Zoznam dôveryhodných certifikátov.
- **C-ITS Certificate Policy Authority (CPA):** spravuje certifikačné pravidlá a bezpečnostné politiky[26].

#### 2.1.3 Integračná platforma

Integračná platforma je kľúčovým prvkom C-ITS, zabezpečujúcim výmenu dát medzi centrálnymi stanicami C-ITS (C-ITS Back Offices) a ďalšími subjektmi, ako sú správcovia dopravnej infraštruktúry [8].

Komunikácia je štandardizovaná definovaným protokolom a technickými špecifikáciami, opísanými v rozhraní kontraktu [8].

V rámci projektu C-Roads CZ bola platforma napojená na Národné dopravné informačné centrum (NDIC) a ďalšie centrá, čo podporuje rozvoj C-ITS v Českej republike [8].

## 2.2 Centrálna C-ITS stanica

Centrálna stanica C-ITS (C-ITS Back Office) spracováva a distribuuje dáta v kooperatívnych inteligentných dopravných systémoch. Zbiera dopravné informácie z rôznych zdrojov a generuje štandardizované C-ITS správy [9].

C-ITS Back Office integruje dopravné centrá, bezpečnostné vrstvy a poskytuje rozhranie pre riadenie dát a užívateľský manažment [9]. Prevádzka zahŕňa produkčné a testovacie prostredia, ktoré spĺňajú ETSI/ISO normy a bezpečnostné štandardy [9].

C-ITS Back Office teda zaisťuje efektívne spracovanie a distribúciu dát, podporujúc bezpečnosť na cestách [9].

## 2.3 Jednotky C-ITS

### 2.3.1 OBU

Komunikačná jednotka OBU predstavuje univerzálny komunikačný modul navrhnutý pre viacero typov vozidiel. Jej kľúčové vlastnosti zahŕňajú:

- **V2X komunikáciu:** Táto funkcia umožňuje jednotke výmenu informácií s inými vozidlami a dopravnými infraštruktúrami.
- **Mobilné LTE pripojenie:** Disponuje až dvoma nezávislými LTE modulmi pre rýchly prístup na internet.
- **GNSS:** Modul je schopný využiť tri súčasné globálne polohové systémy: GPS, Galileo a Glonass.
- **Výkonný Wi-Fi prístupový bod:** Výkonný Wi-Fi prístupový bod: S podporou štandardu 802.11ac dosahujúci rýchlosť až 1300 Mbit/s.
- **Rozsiahla komunikačná konektivita:** Obsahuje viaceré komunikačné rozhrania vrátane 2x Ethernet, CAN, RS-485, RS-232, USB a 1-bitový vstup/výstup.
- **Výkonný procesor a dostatočný úložný priestor:** Zabezpečuje spoľahlivý výkon a úložný priestor pre dáta.
- **Nízka spotreba energie:** Jednotka bola navrhnutá s ohľadom na energetickú efektívnosť. [10]



OBU je koncipovaná ako univerzálny komunikačný modul pre vozidlá a príviesy. Vďaka V2X komunikácii je schopná informovať vodičov o mimoriadnych situáciách v cestnej premávke a súčasne upozorňovať okolité vozidlá na stav vlastného vozidla. LTE pripojenie umožňuje prístup k internetu, čo znamená, že sa môžeme pripojiť k jednotke pomocou tabletu alebo mobilného telefónu.[10]

Jednotka je schopná prijímať správy DENM, IVI, MAP a SPAT a na základe týchto informácií informovať vodičov. Súčasne môže varovať okolité vozidlá prostredníctvom DENM správ alebo požiadať o prednosť na križovatke. DENM správy môžu byť generované automaticky na základe údajov z vozidla (akcelerometr, CAN) alebo manuálne. Samozrejmosťou je aj podpora správ CAM. [10]

### **OBU pre osobné vozidlá**

Základná jednotka OBU 2.2 má nasledujúce funkcie:

- **Odosielanie správ CAM:** OBU začína odosielanie správ CAM krátko po zapnutí a plní úlohu východzieho zariadenia.
- **Bezpečná komunikácia:**
  - Ak je povolená bezpečná komunikácia, OBU komunikuje so systémom PKI a sťahuje certifikáty.
  - Používa vnútorný hardvérový bezpečnostný modul na podpísanie správ.
  - Overuje každú prijatú správu C-ITS.
  - Ak nie je schopná podpísať správu (napríklad kvôli chýbajúcemu certifikátu), správa nebude odoslaná.
- **Príjem a spracovanie správ:**
  - Jednotka je pripravená prijať dôležité správy (DENM, IVI, MAPEM+SPATEM).
  - Spracuje prijaté správy a poskytne údaje na informovanie vodiča.
  - Vodič môže byť informovaný pomocou webovej aplikácie alebo mobilnej aplikácie V2Vis [10].
- **Ukážka:**
  - Ukážka 2.1 varovania pred vozidlom MHD v zastávke na tablete v aplikácii V2Vis od spoločnosti Herman [10].

### **OBU pre vozidlá záchranných zložiek**

OBU jednotka pre vozidlá záchranných zložiek má všetky vlastnosti rovnaké ako obyčajná OBU jednotka, avšak poskytuje aj nasledujúce funkcie:

- **Núdzová rola:** Núdzová rola je automaticky pridelená vozidlu, ktoré má aktívne majáky.
  - S aktívnou núdzovou rolou má vozidlo automaticky nárok na prednostnú jazdu na križovatkách.



Obr. 2.1: Varovanie pred vozidlom MHD (Fotografia z interného zdroja firmy Herman)

- Rozhodnutie o udelení prednosti je na riadiacej jednotke križovatky a jednotke RSU [10].
- Väčšina križovatiek poskytuje zelené svetlo pre vozidlá záchranných služieb a červené pre ostatné vozidlá.
- Prepínanie do prednostnej fázy môže trvať až 20 sekúnd [10].
- **Požiadavka na prednosť:**
  - Väčšina križovatiek poskytuje zelené svetlo pre vozidlá záchranných služieb a červené pre ostatné vozidlá.
  - Prepínanie do prednostnej fázy môže trvať až 20 sekúnd.
  - Ak vozidlo zastaví, požiadavka na prednosť sa po 20 sekundách ukončí.
  - Po vypnutí majákov je požiadavka okamžite zrušená [10].
- **Vysielanie varovných správ:**
  - Po zapnutí majákov vozidlo automaticky vysiela varovné správy (DENM emergency vehicle approaching) pomocou vlastných mapových údajov.
  - Ak vozidlo pokračuje v pohybe, správa sa pravidelne aktualizuje.
  - Ak je vozidlo stacionárne, typ vysiелanej správy sa zmení na DENM emergency recovery in progress.
  - Po vypnutí majákov sa vysiелanie varovných správ deaktivuje [10].



Obr. 2.2: Jednotka OBU[10]

### **OBU pre vozidlá verejnej dopravy**

OBU jednotka pre verejnú dopravu má všetky vlastnosti bežnej OBU jednotky, ale poskytuje aj nasledujúce funkcie:

- **Rola verejnej dopravy:**
  - Automaticky pridelená po načítaní čísla linky a cieľovej zastávky z palubného počítača.
  - Ak vozidlo neobsluhuje žiadnu linku verejnej dopravy, nemá rolu verejnej dopravy a nepožiada o prioritu na križovatke.
- **Pripojenie k palubnému počítaču:**
  - Typicky pripojená k palubnému počítaču vozidla MHD.
- **Prednosť na križovatke:**
  - Môže požiadať o prednosť prostredníctvom R.09 v CAM alebo SREM/SSEM.
  - Preferencia urýchľuje pridelenie zelenej farby svetelného signálu v smere príchodu vozidla.
  - Automaticky požiada o prednosť, ak má pridelenú rolu verejnej dopravy [10].
- **Generovanie výstrah:**
  - Môže generovať výstrahy týkajúce sa verejnej dopravy.
  - Varovné správy (DENM) sú generované na základe typu udalosti vybranej vodičom v aplikácii.
  - Správy sú vysielané pre danú polohu a majú obmedzenú platnosť.

– Správy sú odosielané všetkým okolitým jednotkám [10].

### 2.3.2 RSU

RSU (Road Side unit) umiestnená v rámci dopravnej infraštruktúry je univerzálnym komunikačným zariadením, primárne navrhnutým ako komunikačná jednotka V2X pre rôzne aplikácie v dopravnej infraštruktúre, vrátane riadiacich jednotiek semaforov. Kľúčové charakteristiky RSU zahŕňajú:

- **Komunikáciu V2X:** RSU umožňuje výmenu informácií s vozidlami v okolí a ďalšími prvkami dopravnej infraštruktúry pomocou technológie V2X.
- **Komunikáciu LTE:** RSU podporuje rýchle mobilné pripojenie LTE, čo umožňuje prístup k internetu a obnovu bezpečnostných certifikátov.
- **GNSS:** RSU je schopná prijímať signály zo všetkých hlavných satelitných systémov, vrátane GPS, Glonass a Galileo.
- **Rôzne káblové rozhrania:** RSU je vybavená niekoľkými káblovými rozhraniami, vrátane Ethernetu, CAN, RS-485, RS-232 a USB.
- **Výkonný procesor a dostatočne veľké úložisko.**
- **Nízkou spotrebu energie.**
- **Jednoduchú inštaláciu a výmenu.**
- **Nie je vyžadovaná pravidelná údržba.** [10]



Obr. 2.3: Samostatná jednotka RSU[10]

### **RSU pre riadenie semaforov**

- RSU môže efektívne spolupracovať s riadiacimi jednotkami semaforov, čo umožňuje poskytovať prioritu pre vozidlá záchranných služieb a verejnej dopravy.
- Môže vysielat signálne plány riadiacich jednotiek semaforov, čo vyžaduje kompatibilitu s konkrétnym riadiacim systémom.
- RSU prijíma správy od vozidiel v okolí a poskytuje cenné dopravné informácie riadiacim jednotkám semaforov prostredníctvom V2X správ.

### **Samostatná RSU jednotka**

- RSU môže byť pripojená k centrálnemu pracovisku C-ITS a umožňovať odosielanie varovných a informačných správ vodičom vozidiel vybavených OBU jednotkami.
- Typická aplikácia vhodná pre diaľničné prostredie.

### **RSU pripojená k rôznym dopravným senzorom**

- V prípade pripojenia RSU k dopravným senzorom, ako sú senzory pre detekciu počasia alebo stavu dopravy, môže RSU automaticky vysielat varovné správy vodičom na základe získaných dát [10].

## 3 Typy správ

### 3.1 CAM

Cooperative Awareness Message (CAM) podľa štandardu ETSI EN 302 637-2 je kľúčovým prvkom v rámci základného súboru aplikácií pre inteligentné dopravné systémy (ITS) a komunikácie medzi vozidlami. Tento štandard poskytuje špecifikácie základnej služby spolupráce (CA basic service), ktorá podporuje aplikácie zamerané na bezpečnosť na cestách. Obsahuje podrobnú definíciu syntaxe a sémantiky správy CAM a detailné špecifikácie pre spracovanie správ [12].

#### Štruktúra správy CAM

Štruktúra správy CAM podľa štandardu ETSI zahŕňa nasledujúce kľúčové prvky:

- **Identifikácia vozidla:** Náhodný identifikátor vozidla, ktoré správu odosiela.
- **Pozícia vozidla:** Presné GPS súradnice vozidla.
- **Smer a rýchlosť:** Informácie o smere jazdy a aktuálnej rýchlosti vozidla.
- **Stav vozidla:** Informácie o stave vozidla, ako je stav bŕzd, ukazovatele smeru zmeny, atď.
- **Časová pečiatka:** Časové označenie, kedy bola správa vygenerovaná a odoslaná [12].

#### Frekvencia vysielania

Správy CAM sú generované a odosielané až desaťkrát za sekundu (10 Hz) v závislosti od okolitých podmienok [12].

#### Funkcia správ CAM

Správy CAM, často označované ako "Here I am"správy, obsahujú základné údaje o vozidle, ktoré správu vygenerovalo. Ich hlavná funkcia je informovať ostatné vozidlá o prítomnosti daného vozidla.

#### Prenos a spracovanie správ CAM

- **Prvá správa:** Prvá CAM správa prijatá RSU jednotkou od konkrétneho vozidla je vždy preposlaná do C-ITS Back Office.
- **Následné správy:** Všetky nasledujúce správy sú spracované na úrovni RSU jednotiek, kde sú údaje agregované.

- **Agregované dáta:** Agregované dáta o premávke sú následne posielané do C-ITS serveru [12].

## 3.2 DENM

Správa DENM (Decentralized Environmental Notification Message) je súčasťou štandardu ETSI EN 302 637-3 a je určená pre inteligentné dopravné systémy. Táto správa poskytuje informácie o decentralizovaných upozorneniach na environmentálne podmienky, podporujúc aplikácie zamerané na bezpečnosť na cestách. Štandard špecifikuje syntax a sémantiku správy DENM a detaily o jej protokolovom spracovaní. Správa môže byť implementovaná vo vozidle, na cestnej infraštruktúre, v osobnom ITS-S, alebo centrálne v ITS-S [13].

### Štruktúra správy DENM

Štruktúra správy DENM zahŕňa:

- **Identifikácia správy:** Náhodný identifikátor správy.
- **Čas a poloha:** Informácie o čase vytvorenia správy a geografickej polohe.
- **Typ udalosti:** Typ environmentálneho incidentu alebo situácie, na ktorý správa upozorňuje.
- **Relevantné údaje:** Ďalšie informácie týkajúce sa udalosti alebo situácie, ako sú príčiny, dôsledky, a odporúčané opatrenia.
- **Trvanie a platnosť:** Informácie o tom, ako dlho budú informácie relevantné [13].

### Frekvencia vysielania

Správy DENM sú generované len vtedy, keď sa vyskytne určitá udalosť, a sú vysielané periodicky, až kým udalosť ostáva platná. Typická frekvencia vysielania je každú 1 s, v závislosti od typu udalosti a konfigurácie systému [13].

### Prenos a spracovanie správ DENM

- **Generovanie správ:** Správy DENM sú často generované buď v C-ITS Back Office (2.2) alebo priamo v ednotke 2.3.
- **Preposielanie správ:** RSU správy DENM preposielajú do vozidiel v ich dosahu alebo do C-ITS Back Office, v závislosti od typu udalosti [13].

## Typy udalostí

Podľa štandardu ETSI pre správy DENM, typy udalostí zahŕňajú rôzne situácie a incidenty, ktoré môžu ovplyvniť bezpečnosť alebo efektívnosť cestnej premávky. Tieto udalosti môžu zahŕňať:

- **Informácie o nehode:** Informácie o nehode alebo havárii na ceste, vrátane miesta, času a iných relevantných údajov.
- **Nepriaznivé poveternostné podmienky:** Informácie o aktuálnych poveternostných podmienkach, ako sú sneh, dážď, hmla alebo iné nepriaznivé poveternostné situácie.
- **Náhle udalosti na cestách:** Nečakané prekážky na ceste, zvieratá na ceste alebo stratený náklad.
- **Dopravné obmedzenia:** Informácie o dočasných alebo trvalých zmenách v dopravnej situácii, ako sú uzávierky ciest, obmedzenie rýchlostí, alebo zmeny v dopravných pruhoch.
- **Stav cesty:** Informácie o stave cesty, ako sú výtlky, rozbité povrchy alebo stavebné práce.

Každý typ správy má svoju špecifikáciu a obsahuje relevantné informácie podľa štandardu ETSI EN 302 637-3 [13].

## 3.3 IVI

Správy In-Vehicle Information (IVI) sú špecifikované v rôznych normách vrátane ISO/TS 19321:2020 a sú kľúčové pre výmenu informácií medzi ITS stanicami v kooperatívnych prostrediach ITS. Tieto správy využívajú všeobecnú, rozšíriteľnú dátovú štruktúru, rozdelenú do „kontajnerov“ na uloženie aktuálnych informácií. Kontajnery sú organizované do pod-štruktúr známych ako dátové rámce a dátové prvky, pričom každý z nich je opísaný z hľadiska obsahu a syntaxe [23][24].

### Obsah správ IVI

Správy IVI zahŕňajú celý rad informácií:

- **Rýchlosť**
- **Upozornenia na práce na ceste**
- **Obmedzenia vozidiel**
- **Obmedzenia jazdných pruhov**
- **Upozornenia na nebezpečenstvo na ceste**
- **Pokyny na zmenu trasy**[23][24]



## Komunikačná flexibilita

Dátové štruktúry správ IVI sú komunikačne agnostické, čo znamená, že štandard nešpecifikuje komunikačné protokoly, ale skôr štruktúru a obsah informácií, ktoré sa majú vymieňať.

## Vysielanie správ IVI

Správy IVI sú periodicky vysielané do vypršania ich platnosti alebo kým nie je odoslaná špeciálna IVIM správa, ktorá zruší platnosť vysielaných informácií [23][24].

## 3.4 MAP

Správa MapData (MAP), špecifikovaná v SAE J2735 a TS19091, sa využíva na prenos rôznych druhov geografických údajov o cestách. Jej hlavným účelom je prenášať jeden alebo viacero plánov jazdných pruhov pre križovatky v rámci jednej správy. Obsah správy MAP zahŕňa komplexné popisy križovatiek, popisy úsekov ciest, obrysy oblúkov s vysokou rýchlosťou a segmenty ciest [20].

Presná špecifikácia pre tvorbu MAP a SPAT je popísaná v rámci "European handbook for SPATEM and MAPEM creation".

### Obsah správy MAP

Jedna správa MAP môže zahŕňať popisy jedného alebo viacerých geografických oblastí alebo križovatiek. Informácie v správe poskytujú topologický základ, ktorý je následne využívaný inými správami na vzájomné prepojenie, napríklad informácií o aktuálnom stave semaforov prostredníctvom správy Signal Phase and Timing (SPAT) s konkrétnymi geografickými lokalitami na ceste [20].

- **Komplexné popisy križovatiek:** Podrobné informácie o konfigurácii križovatiek.
- **Popisy úsekov ciest:** Informácie o rôznych úsekoch ciest.
- **Obrysy oblúkov s vysokou rýchlosťou:** Detaily o obrysoch oblúkov na cestách.
- **Segmenty ciest:** Informácie o jednotlivých segmentoch ciest.

### Frekvencia vysielania

Správy MAP sú vysielané periodicky, typicky každú sekundu (1 Hz) až päťkrát za sekundu (5 Hz), v závislosti od potreby aktualizácie a konkrétnych požiadaviek systému [20].

## Vrstvy mapy

Podľa normy musí správa MAP obsahovať minimálne tri vrstvy mapy. Tieto vrstvy reprezentujú úrovne korešpondujúcich dátových prvkov v správe:

- **Základná vrstva:** Zahrňuje základné informácie o cestnej sieti.
- **Detailná vrstva:** Obsahuje detaily o jazdných pruhoch, križovatkách, cyklo-trasách a chodníkoch.
- **Doplnková vrstva:** Môže obsahovať dodatočné informácie podľa potreby aplikácie [28].

## Prepojenie so správami SPAT

Informácie z MAP správ sú využívané na prepojenie s informáciami o aktuálnom stave semaforov, ktoré sú prenášané prostredníctvom správy Signal Phase and Timing (SPAT). Toto prepojenie umožňuje presné geografické určenie stavu semaforov v konkrétnych lokalitách na ceste [20].

## Špecifikácia tvorby MAP a SPAT

Presná špecifikácia pre tvorbu správ MAP a SPAT je popísaná v "European Handbook for SPATEM and MAPEM Creation"[20].

## 3.5 SPAT

Správy SPAT (Signal Phase and Timing) sú dôležitou súčasťou ITS a sú definované v rámci rôznych štandardov, vrátane tých od organizácií ako ETSI a SAE. SPAT správy poskytujú informácie o fázach a časovaní svetelných signálov na križovatkách [22].

### Kľúčové aspekty správ SPAT

- **Fázy semaforov:** Informácie o aktuálnom stave semaforov (červená, žltá, zelená) na križovatkách.
- **Časovanie semaforov:** Detaily o tom, koľko času zostáva do zmeny signálu semaforu (napríklad koľko sekúnd zostáva do zmeny zo zelenej na oranžovú).
- **Plánované zmeny:** Predpokladané zmeny v signáloch a ich časovaní, umožňujúce vozidlám a vodičom predvídať zmeny v dopravnej situácii [21].

## Frekvencia vysielania

Podľa normy správy SPAT sú vysielané s frekvenciou minimálne raz za sekundu (1 Hz), aby zabezpečili aktuálnosť informácií o stave semaforov. V niektorých prípadoch môže byť frekvencia vysielania zvýšená na 10 Hz, v závislosti od potreby aktualizácie a konkrétnych požiadaviek systému [28].

## Význam správ SPAT

Správy SPAT sú kritické pre pokročilé aplikácie, ako sú systémy asistencie vodiča, autonómne vozidlá a efektívne riadenie dopravy. Umožňujú vozidlám komunikovať s dopravnou infraštruktúrou a lepšie pochopiť a reagovať na dynamické dopravné podmienky [21].

## 3.6 SRM

Signal Request Message (SRM) je neoddeliteľnou súčasťou moderných inteligentných dopravných systémov. SRM je správa vysielaná do RSU na signalizovanej križovatke prostredníctvom jednotiek OBU. SRM je formulovaná podľa štandardu SAE J2735 [15].

### Funkcia a použitie SRM

- **Žiadosť o prioritu alebo ukončenie prednosti:** SRM sa používa buď ako žiadosť o prioritu od vodiča semafora alebo ako žiadosť o ukončenie prednosti, v závislosti od nastavenia žiadosti.
- **Definícia prejazdu cez križovatku:** Každá žiadosť definuje prejazd cez križovatku a je žiadaná na základe vjazdov a výjazdov, ktoré majú byť použité.
- **Čas príchodu a dĺžka služby:** Každá žiadosť môže obsahovať čas príchodu a predpokladanú dĺžku poskytovanej služby.
- **Podpora viacerých žiadostí:** Podporovaných je viacero žiadostí na viaceré križovatky.
- **Identifikácia žiadateľa:** Žiadateľ sa identifikuje rôznymi spôsobmi pomocou metód podporovaných dátovým rámcom RequestorDescription. Jeho aktuálna rýchlosť, smer a poloha môžu byť tiež uvedené v tejto štruktúre [17] [18].

### Význam pre dopravu

SRM je zvlášť dôležitá pre vozidlá záchranných služieb a pre zefektívnenie verejnej dopravy. Umožňuje im efektívnejšie a bezpečnejšie prejsť križovatkami. RSU prijíma

SRM a preposiela ju príslušným komponentom na spracovanie, najčastejšie radiču križovatky [16].

## Prínosy SRM

SRM výrazne prispieva k zvýšeniu efektívnosti riadenia križovatiek a optimalizácii využitia kapacity. Umožňuje dynamický a citlivý systém riadenia dopravy, ktorý sa môže prispôbiť konkrétnym potrebám rôznych vozidiel, čím sa zlepšuje celková plynulosť dopravy a bezpečnosť [17].

## 3.7 SSM

Správa o stave signálu (SSM) je informačná správa odosielaná jednotkou na cestnej infraštruktúre (RSU) na riadenom križovatkovom priestore. Slúži na oznamovanie aktuálneho stavu dopravných svetelných signálov a zoznam všetkých čakajúcich alebo aktivovaných žiadostí o prednosť, ktoré boli schválené riadiacou jednotkou. Táto správa tiež poskytuje informácie o zamietnutých žiadostiach o prednosť [19].

### Funkcia a obsah SSM

- **Aktuálny stav signálov:** Informuje o aktuálnom stave dopravných svetelných signálov na križovatkke.
- **Zoznam žiadostí o prednosť:** Obsahuje zoznam všetkých čakajúcich a aktivovaných žiadostí o prednosť, ktoré boli schválené riadiacou jednotkou.
- **Zamietnuté žiadosti:** Poskytuje informácie o žiadostiach o prednosť, ktoré boli zamietnuté.
- **Komunikácia medzi žiadateľom a riadiacou jednotkou:** Pomáha vytvoriť mechanizmus komunikácie medzi žiadateľom a riadiacou jednotkou.

### Význam SSM pre dopravu

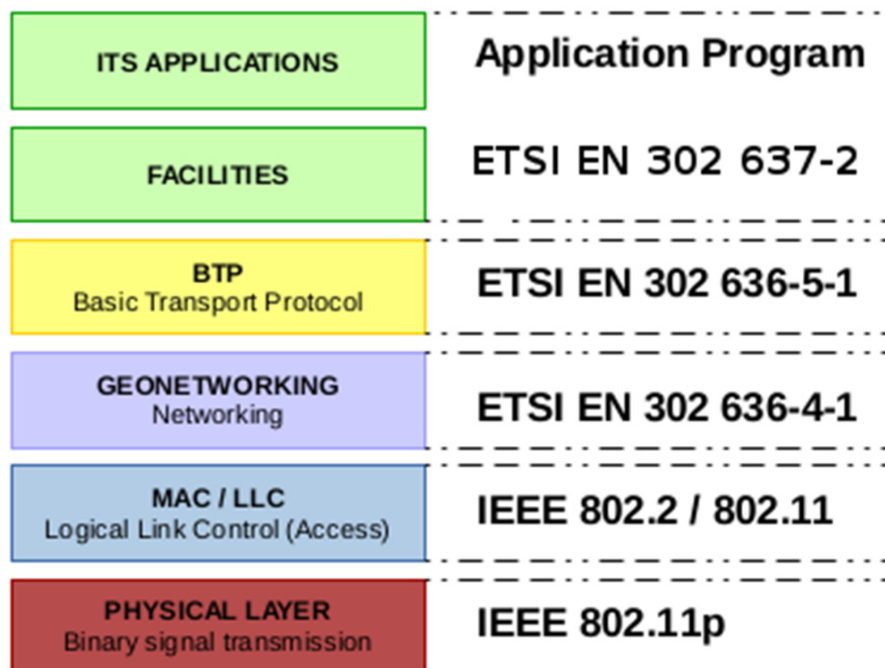
Údaje v tejto správe umožňujú iným účastníkom premávky určiť dôležitosť ich žiadostí o prednosť a dozvedieť sa o aktuálnych prebiehajúcich udalostiach na križovatkke. SSM správa sa neposiela, ak nie sú prijaté žiadne nové žiadosti o prednosť [19].

### Prepojenie so správami SPAT

Detaily o stave všetkých čakajúcich žiadostí o prednosť na križovatkke sú obsiahnuté v SSM, zatiaľ čo aktuálna aktívna udalosť je odzrkadlená v správe SPAT [19].

## 3.8 Geonetworking

Protokol GeoNetworking je sieťový protokol, ktorý poskytuje smerovanie paketov v ad hoc sieti. Využíva geografické polohy na prenos paketov. GeoNetworking podporuje komunikáciu medzi jednotlivými prvkami ITS-S a distribúciu paketov v geografických oblastiach. [11]



Obr. 3.1: OSI model protokolu geonetworking podľa ETSI EN 636-4-1 [11]

## 4 Testovanie C-ITS jednotiek

Táto kapitola popisuje korektné správanie testovaných jednotiek a na základe toho navrhujeme metódy testovania C-ITS jednotiek. Integračné testy sú navrhované na základe očakávaného správania a nie je možné ich vytvoriť priamo v kóde jednotky. Pred integračnými testami prebieha unit testovanie, ktoré overuje funkčnosť každej časti a jej zhodu so špecifikáciou. Tieto testy sú zvyčajne vytvárané programátorom.

### Dôvod integračných testov

Hlavným dôvodom pre tvorbu integračných testov je overenie správneho správania všetkých modulov spoločne. Tieto testy boli aplikované na jednotky od spoločnosti Ing. Ivo Herman, CSc. Predmetom testovania sú vysielané správy CAM, DENM, SRM a správne vysielané správy MAP, SPAT a SSM. Overuje sa, či ich obsah zodpovedá platnej špecifikácii.

### Sledovanie paketov

Základom testovania je sledovanie paketov v sieti, čo je realizované pomocou programu Wireshark. Wireshark bol zvolený pre svoju schopnosť jednoducho filtrovať pakety a je bežne používaný pre sledovanie sietí. Postupnosť zachytených paketov je uložená do súborov `rx.pcap` a `tx.pcap`, kde `tx` označuje odoslané pakety a `rx` prijaté pakety. Testovaná jednotka priamo podporuje spustenie automatického zachytávania komunikácie na rozhraniach V2X alebo Ethernetu.

### Spracovanie súborov PCAP

Na spracovanie súborov PCAP používame doplnok Wiresharku, Tshark, ktorý slúži na analýzu a extrakciu dát zo sieťových zachytávaní. Tshark umožňuje filtrovanie, dekódovanie a export dát z PCAP súborov do rôznych formátov, vrátane CSV, čo je ideálne pre ďalšiu analýzu a spracovanie. Ukážka pcapu zachyteného v jednotke OBU na obrázku 4.1

### Automatizácia analýzy dát

Pomocou skriptu 6.1 vytvárame osobitné CSV súbory s predom definovanými stĺpcami. Každý z týchto CSV súborov reprezentuje iný typ správy a obsahuje užívateľsky konfigurovateľné dáta. Tento skript automatizuje proces filtrovania a extrakcie špecifických dát zo súborov PCAP na základe typu správy a režimu operácie (verejná doprava alebo núdzové vozidlá). Výsledné CSV súbory obsahujú relevantné informácie potrebné pre analýzu dát z jednotiek C-ITS, čo umožňuje efektívne spracovanie

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Generation	Time	Arrival Time	id	stationID	request	approach	Info	timeDiff
1790	401.2.	1.1.	Broa...	DENM	411	196.	Dec 7, 2023	11:03:11.161.		2358941602			DENM	
1798	402.1.	1.1.	Broa...	SREM	176	196.	Dec 7, 2023	11:03:12.016.	stationID,31	2358941602	4		13,11 SREM	
1799	402.1.	1.1.	Broa...	SSEM	205	196.	Dec 7, 2023	11:03:12.068.	stationID,stationID.	2238983031		15,11,15,11,6,5,13,11	SSEM	
1800	402.1.	1.1.	Broa...	CAM	239	375.	196.	Dec 7, 2023	11:03:12.081.				CAM	
1801	402.3.	1.1.	Broa...	DENM	411	196.	Dec 7, 2023	11:03:12.210.		2358941602			DENM	
1803	402.5.	1.1.	Broa...	SREM	176	196.	Dec 7, 2023	11:03:12.430.	stationID,31	2358941602	4		13,11 SREM	
1804	402.5.	1.1.	Broa...	SSEM	205	196.	Dec 7, 2023	11:03:12.447.	stationID,stationID.	2238983031		15,11,15,11,6,5,13,11	SSEM	
1809	403.1.	1.1.	Broa...	CAM	239	385.	196.	Dec 7, 2023	11:03:13.085.				CAM	
1813	403.5.	1.1.	Broa...	SSEM	205	196.	Dec 7, 2023	11:03:13.417.	stationID,stationID.	2238983031		15,11,15,11,6,5,13,11	SSEM	
1814	403.5.	1.1.	Broa...	SREM	176	196.	Dec 7, 2023	11:03:13.432.	stationID,31	2358941602	4		13,11 SREM	
1815	403.5.	1.1.	Broa...	DENM	411	196.	Dec 7, 2023	11:03:13.455.		2358941602			DENM	
1821	404.2.	1.1.	Broa...	CAM	239	395.	196.	Dec 7, 2023	11:03:14.109.				CAM	
1824	404.5.	1.1.	Broa...	SSEM	205	196.	Dec 7, 2023	11:03:14.412.	stationID,stationID.	2238983031		15,11,15,11,6,5,13,11	SSEM	
1827	404.7.	1.1.	Broa...	SREM	176	196.	Dec 7, 2023	11:03:14.687.	stationID,31	2358941602	4		13,11 SREM	
1828	404.8.	1.1.	Broa...	DENM	411	196.	Dec 7, 2023	11:03:14.711.		2358941602			DENM	
1830	404.9.	1.1.	Broa...	SSEM	193	196.	Dec 7, 2023	11:03:14.816.	stationID,stationID.	2238983031		15,11,6,5,13,11	SSEM	
1832	405.2.	1.1.	Broa...	CAM	239	406.	196.	Dec 7, 2023	11:03:15.113.				CAM	
1839	405.9.	1.1.	Broa...	SSEM	193	196.	Dec 7, 2023	11:03:15.811.	stationID,stationID.	2238983031		15,11,6,5,13,11	SSEM	
1840	406.0.	1.1.	Broa...	SREM	176	196.	Dec 7, 2023	11:03:15.931.	stationID,31	2358941602	4		13,11 SREM	
1841	406.0.	1.1.	Broa...	DENM	411	196.	Dec 7, 2023	11:03:15.952.		2358941602			DENM	
1844	406.2.	1.1.	Broa...	CAM	239	415.	196.	Dec 7, 2023	11:03:16.116.				CAM	
1850	406.9.	1.1.	Broa...	SSEM	193	196.	Dec 7, 2023	11:03:16.809.	stationID,stationID.	2238983031		15,11,6,5,13,11	SSEM	
1852	407.0.	1.1.	Broa...	SREM	176	196.	Dec 7, 2023	11:03:16.947.	stationID,31	2358941602	4		13,11 SREM	
1863	407.1	1.1	Broa...	SSEM	193	196.	Dec 7, 2023	11:03:17.053.	stationID,stationID.	2238983031		11,13,6,5,13,11	SSEM	

```

Intelligent Transport Systems
  ItsPduHeader
    protocolVersion: 2
    messageID: srem (9)
    stationID: 2358941602
  SignalRequestMessage
    timeStamp: 340d 10:03 (490203)
    second: 11.300 (11300)
    sequenceNumber: 0
    requests: 1 item
      Item 0
        SignalRequestPackage
          request
            id
              id: 31
              requestID: 4
              requestType: priorityRequest (1)
            inBoundLane: approach (1)
              approach: 13
            outBoundLane: approach (1)
              approach: 11
          requestor
            id: stationID (1)
              stationID: 2358941602
            type
              role: publicTransport (1)
              subrole: requestSubRole2 (2)
            position
              name: 1602
  
```

Obr. 4.1: Zachytený pcap vysielaných správ z jednotky OBU

a interpretáciu zhromaždených dát. Parameter `<mode>` definuje, o ktorú testovanú jednotku sa jedná:

- `pt` pre verejnú dopravu,
- `emerg` pre vozidlá zásehovej služby,
- `rsu` pre jednotku na križovatke.

Parameter `<messageId>` definuje, ktorá správa je v danom súbore vyfiltrovaná alebo pre ktorú je vypočítaná frekvencia:

## 4.1 Vznik referenčných súborov a súborov pre testovanie

Použitie referenčných a užívateľom vytvorených súborov je prehľadne znázornené na diagrame 4.2. Ďalej budeme popisovať, ako konkrétne súbory vznikli a čo obsahujú. Stĺpce použité v ďalej popisovaných vytvorených súboroch sú definované v globálnych premenných 6.1 v rámci skriptu `skript_tshark.py`.

Správa	Identifikátor
denm	1
cam	2
spatem	4
mapem	5
ivim	6
srem	9
ssem	10

Tab. 4.1: Zoznam messageID pre jednotlivé typy správ

Pokiaľ by sa užívateľ rozhodol rozšíriť testy o parametre mimo tohto testovania, je potrebné pridať názvy požadovaných stĺpcov do premennej `ADDITIONAL_FIELDS`. Pozor, pokiaľ sa pridávajú parametre pre kontrolu, musia byť vygenerované aj nové referenčné súbory, ktoré ich budú tiež obsahovať, aby bolo možné z čoho porovnávať dáta.

### VehicleData.csv

Vstupom pre testovanie bude súbor `vehicleData.csv`, ktorý obsahuje presné informácie o pohybe vozidla zaznamenané periodicky každých 100 ms. Tento súbor je nahraný priamo do jednotky a spustený simulačný proces definovaný simulačným programom v jednotke. Súbor `vehicleData.csv` bol logovaný priamo na jednotke, ktorá bola zvolená ako referenčná na zvolenej referenčnej trase. Ukážka obsahu súboru `vehicleData.csv` sa nachádza v tabuľke 4.2

#DateLog	DateGPS	Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Heading	LongAccel
32:51.3	32:51.1	49.773	18.224	268.7	0	115.500	NaN
32:56.2	32:56.2	49.773	18.224	268.7	0	115.500	-1.303
33:01.2	33:01.1	49.773	18.224	268.7	0	115.500	-1.303
37:41.3	37:41.2	49.773	18.225	270.8	3.699	50.190	-1.303
37:46.2	37:46.2	49.773	18.225	272.2	2.799	20.460	-1.226
37:51.2	37:51.1	49.773	18.225	273.8	2.655	353.960	-0.537

Tab. 4.2: Ukážka prvých stĺpcov súboru VehicleData.csv

### `<mode>_ref_filtered_<messageId>.csv`

Ďalšími vstupnými súbormi sú `<mode>_ref_filtered_<messageId>.csv`. Jedná sa o súbory vyfiltrované zo stiahnutého PCAPu z referenčnej jednotky. Tieto súbory



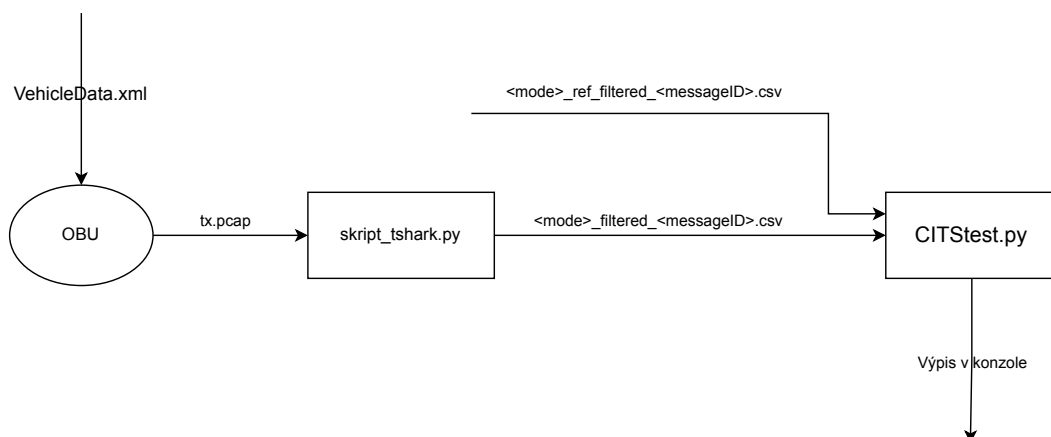
boli vygenerované pomocou nášho skriptu `skript_tshark.py` 6.1. Ich obsah bol skontrolovaný podľa platných špecifikácií a budú ďalej používané ako referencia pre výpočet frekvencie a kontrolu obsahu jednotlivých správ na základe filtrovaných stĺpcov.

#### `<mode>_ref_freq_<messageId>.csv`

V rámci testovania boli pre každý typ správy vytvorené aj súbory `<mode>_ref_freq_<messageId>.csv`, ktoré obsahujú frekvencie vypočítané v hlavnom programe pre referenčné dáta. Tieto frekvencie nie sú definované na základe úsekov trasy, ale sú fixne počítané pre intervaly po 10 sekúnd. Takto vypočítané referenčné dáta sú ďalej nemenené a porovnávané s vypočítanou frekvenciou testovacej jednotky.

#### `<mode>_filtered_<messageId>.csv`

Tieto súbory už vytvára osoba testujúca. Vznikajú zo súboru `tx.pcap`, ktorý bol odchytený v testovanej jednotke na základe simulácie spustenej z dát vo `VehicleData.csv` 4.1. Simulácia prebieha priamo v jednotke OBU/RSU; v tomto prípade ide o internú aplikáciu vytvorenú firmou Herman. PCAP je pomocou skriptu `skript_tshark.py` spracovaný na oddelené súbory pre každú zo správ. Pre testovanie bude súbor `<mode>_filtered_<messageId>.csv` vytvorený z rovnakých definovaných stĺpcov ako je `<mode>_ref_filtered_<messageId>.csv`. Líšiť sa môžu dĺžkou a obsahom v konkrétnych stĺpcoch.



Obr. 4.2: Diagram vstupných súborov testovania jednotky OBU

## 4.2 Úprava časových údajov

Aby sme mali istotu, že porovnávame rovnaké dáta, používame relatívny čas `frame.time_relative` na synchronizáciu dát. Tento čas vieme zosúladiť v obidvoch súboroch a následne porovnávať dáta podľa vypočítaných časových intervalov. Pre synchronizáciu času musíme definovať, na základe akého parametra chceme začať náš PCAP.

Ak sú pre daný súbor definované želané súradnice, program upraví časové údaje nasledovne:

1. Najskôr nájde prvý záznam, ktorý zodpovedá počiatočným parametrom, a použije hodnotu `frame.time_relative` z tohto záznamu ako offset.
2. Tento offset sa odpočíta od všetkých hodnôt `frame.time_relative`, čím sa zarovnajú všetky časy na spoločný časový základ.

Rovnakým spôsobom sa definuje aj koniec, kde hľadáme posledný výskyt hľadaného referenčného bodu konca a na základe toho CSV ukončíme. Všetky riadky za týmto bodom budú vymazané.

Synchronizácia časových údajov je nevyhnutná, aby sme zabezpečili presné porovnanie dát z rôznych zdrojov, pretože PCAP súbory nemusia byť spustené v rovnakom čase.

## 4.3 Výpočet frekvencie vysielania a jej porovnanie

Program iteruje cez kumulatívne časové rozdiely a rozdeľuje dáta do definovaných intervalov. Proces prebieha nasledovne:

### Rozdelenie dát do intervalov

- Program pre každý 10-sekundový interval vytvorí skupinu dát, ktorá sa následne spracuje.
- Ak sa nájde väčšia časová medzera, ktorá prekračuje nastavený interval (10 sekúnd), aktuálny interval sa ukončí a začne sa nový.

### Spracovanie dát v intervaloch

- Pre každú skupinu dát v intervale program vypočíta priemerný čas a počet záznamov.
- Tieto výsledky sú pridané do spracovaných dátových skupín.

### Uloženie spracovaných dát

- Po spracovaní všetkých intervalov sa spracované dáta uložia do nového CSV súboru, ktorý je pomenovaný podľa vzoru `<mode>_freq_<messageId>.csv`,

kde `<messageId>` je index súboru podľa tabuľky 4.1. Tento súbor obsahuje stĺpce: `['size', 'frame.number', 'avg']`, kde `size` je vypočítaný počet záznamov, `frame.number` je číslo posledného započítaného záznamu a `avg` je vypočítaná frekvencia.

- Rovnakým spôsobom bol vytvorený aj referenčný súbor s vypočítanou frekvenciou `<mode>_ref_freq_<messageId>.csv`.

### **Porovnanie spracovaných dát s referenčnými dátami**

- Program načíta referenčný CSV súbor a porovná spracované dáta s týmito referenčnými dátami.
- Vypočíta správnosť spracovaných dát tým, že porovná vypočítané frekvencie medzi testovacími a referenčnými dátami v rámci tolerancie. Tolerancia je definovaná ako 10% z priemernej hodnoty v referenčných dátach.
- Výsledky sú uložené do výstupného súboru `<mode>_result_freq_<messageId>.csv`.

### **Výpočet celkovej presnosti**

- Po spracovaní dát a uložení výsledkov do CSV súboru program vykoná krok na výpočet celkovej presnosti.
- Tento krok zahŕňa funkciu `calculate_total_accuracy`, ktorá spočíta celkový počet záznamov, správny počet záznamov a vypočíta percento úspešnosti.
- Na základe výslednej úspešnosti program vypíše správu o správnosti frekvencie vysielania. Pokiaľ je teda úspešnosť väčšia ako 90% považujeme vysielaciu frekvenciu pre danú správu za korektnú.

## **4.4 Porovnávanie intervalov a obsahu správ**

Porovnávanie intervalov pre definované parametre zahŕňa sledovanie a analýzu časových úsekov, počas ktorých sú splnené špecifické podmienky. Tento proces je kľúčový pre overenie správnosti a konzistencie dát vo filtrovaných a referenčných súboroch.

### **Postup sledovania a Porovnávania Intervalov**

#### **1. Načítanie a Príprava Dát:**

- Pre každý súbor program načíta filtrované a referenčné CSV súbory, ktoré obsahujú údaje o správach, ktoré sa budú analyzovať.

#### **2. Filtrovanie Záznamov:**

- Program vyfiltruje záznamy podľa hodnôt špecifikovaných v podmienkach C.1 pre vozidlá verejnej dopravy a C.2 pre IZS. Týmto spôsobom sa

zameriava na záznamy, ktoré obsahujú relevantné údaje v špecifikovanom stĺpci.

### 3. Sledovanie Intervalov:

- Sledujeme časové intervaly, počas ktorých sú hodnoty v špecifikovanom stĺpci platné.
  - **Začiatok Intervalu:** Ak je hodnota v zázname platná, zaznamená sa začiatok intervalu.
  - **Ukončenie Intervalu:** Ak časový rozdiel medzi dvoma po sebe idúcimi záznamami prekročí definovaný maximálny povolený rozdiel (gap), aktuálny interval sa ukončí a začne sa nový.
  - **Záznam Intervalu:** Pre každý interval sa zaznamenajú informácie o začiatku, konci a počte záznamov v rámci intervalu.

### 4. Uloženie Sledovaných Intervalov:

- Po sledovaní všetkých intervalov program uloží výsledky sledovania, ktoré zahŕňajú identifikátory intervalov, čas začiatku, čas konca a počet záznamov.

### 5. Porovnávanie Intervalov:

- Porovnáme sledované intervaly vo filtrovaných dátach s intervalmi v referenčných dátach.
  - **Zhodné Intervaly:** Ak sa intervaly v oboch súboroch zhodujú (čas začiatku, čas konca a počet záznamov sú v rámci tolerancie), interval sa považuje za správny.
  - **Rozdielne Intervaly:** Ak sa intervaly nezhodujú, program zaznamená rozdiely a identifikuje, ktoré intervaly nespĺňajú kritériá zhody.

### 6. Výpis Výsledkov:

- Vypisujeme výsledky porovnania, vrátane intervalov, ktoré sa zhodujú, a tých, ktoré sa nezhodujú. Toto pomáha identifikovať oblasti, kde môže byť problém s konzistenciou dát.

V prípade zhody intervalov bude výpis do konzoly vyzeráť nasledovne:

Naopak, pokiaľ dôjde k chybe, môžeme sa stretnúť s nasledujúcimi scenármi:

1. Interval nájdený v testovacom scenári sa vôbec nenachádza v referenčnom súbore, ani v povolenom časovom okolí nie je žiaden podobný (platí aj naopak).
2. Intervaly sa zhodujú, avšak v definovanom intervale sa nachádza menší počet hľadaných parametrov ako je očakávané.

Ukážka detekovanej chyby pri výpočte intervalov obsahu správ je znázornená na obrázku 4.4.

Tento proces zabezpečuje, že dáta sú konzistentné a správne z hľadiska špecifikovaných parametrov a umožňuje identifikáciu odchýlok alebo iných nesúládov.

```

Tracking parameter intervals for column 'its.causeCode' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'its.causeCode' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 26 intervals for 'its.causeCode'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'its.causeCode'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'denm.termination' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'denm.termination' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 27 intervals for 'denm.termination'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'denm.termination'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'denm.relevanceDistance' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'denm.relevanceDistance' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 15 intervals for 'denm.relevanceDistance'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'denm.relevanceDistance'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'denm.relevanceTrafficDirection' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'denm.relevanceTrafficDirection' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 26 intervals for 'denm.relevanceTrafficDirection'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'denm.relevanceTrafficDirection'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'denm.validityDuration' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'denm.validityDuration' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 26 intervals for 'denm.validityDuration'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'denm.validityDuration'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'denm.stationType' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'denm.stationType' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 26 intervals for 'denm.stationType'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'denm.stationType'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'its.subCauseCode' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'its.subCauseCode' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 25 intervals for 'its.subCauseCode'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'its.subCauseCode'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'denm.traces' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'denm.traces' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 14 intervals for 'denm.traces'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'denm.traces'.
Comparison complete.
Tracking parameter intervals for column 'denm.stationarySince' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_1.csv.
Tracking parameter intervals for column 'denm.stationarySince' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_1.csv.
Comparing 26 intervals for 'denm.stationarySince'...
All intervals match within the given tolerance and count tolerance for column 'denm.stationarySince'.
Comparison complete.

```

Obr. 4.3: Výpis v konzole v prípade hodných vysielaní definovaných parametrov v obsahu správy

```

Tracking parameter intervals for column 'can_embarkationStatus' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\input\pt_filtered_2.csv.
Tracking parameter intervals for column 'can_embarkationStatus' in C:\Users\Admin\Desktop\CITStest\reference\pt_ref_filtered_2.csv.
Comparing 26 intervals for 'can_embarkationStatus'...
Detailed interval matching report for column 'can_embarkationStatus':
Identifier Filtered_Start Filtered_End Filtered_Count
1,0 3,419444 18,594557 23,0 No corresponding interval found in reference data for column "can_embarkationStatus"
1,0 111,978486 198,876585 91,0 Closest but outside tolerance
Comment Reference_Start Reference_End Reference_Count Distance
NaN NaN NaN NaN
Closest but outside tolerance 113,278222 196,871448 84,8 3,384953
Comparison complete.

```

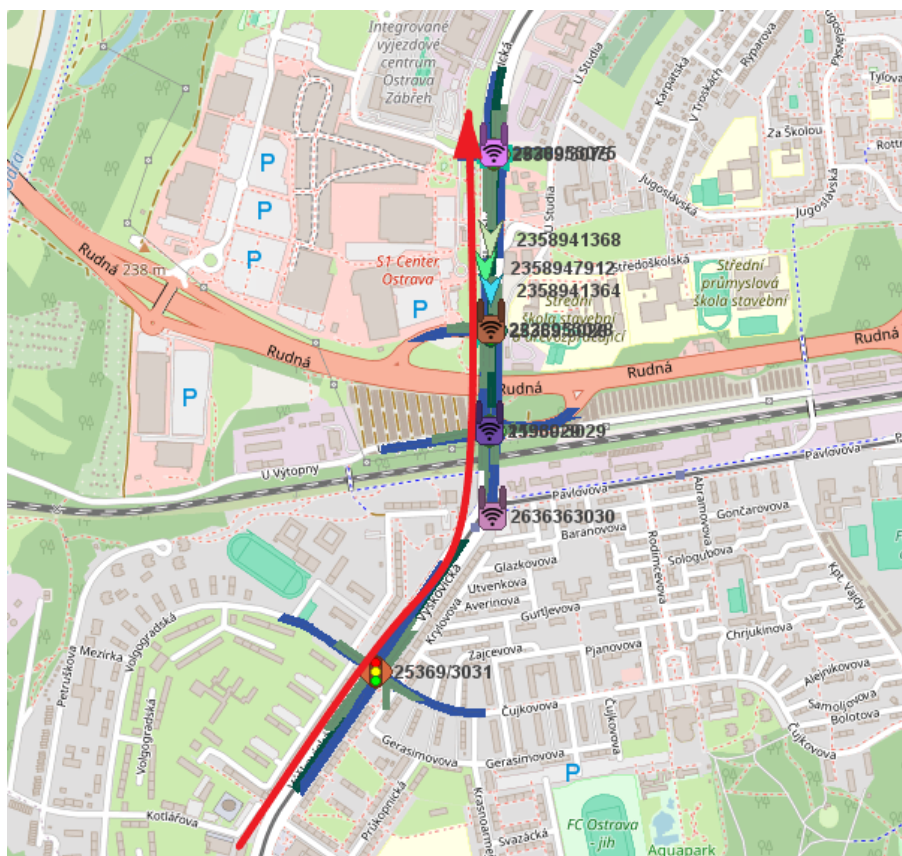
Obr. 4.4: Výpis v konzole v prípade hodných vysielaní definovaných parametrov v obsahu správy

## 4.5 Simulácia prejazdu vozidla verejnej dopravy

V scenári verejnej dopravy v meste Ostrava sledujeme reálny prejazd električky na jednej z existujúcich liniek. Prejazd vozidla bol zaznamenaný pomocou .pcap súborov, ktoré obsahujú vysielané a prijímané správy, a súboru XML, ktorý obsahuje detailné dáta o pohybe vozidla.

Električka nasledovala jednu z existujúcich liniek, ktorá obsahovala rôzne typy dopravných situácií, vrátane prechodov cez križovatky, zastavení na zastávkach, generovania varovných správ a komunikácie s inými dopravnými prostriedkami. Na vybranej časti trasy (obr. 4.5) pozorujeme štyri križovatky s vygenerovanou mapou. Na týchto križovatkách jednotka aktívne žiada o preferenciu.

V nasledujúcich diagramoch zachytávame presnú postupnosť vysielania vybraných správ pri jazde. Vieme tak presne určiť, ako by sa jednotka mala na určitom úseku správať. Pre prvú časť jazdy (obr. 4.6) jednotka prechádza medzi zastávkami,

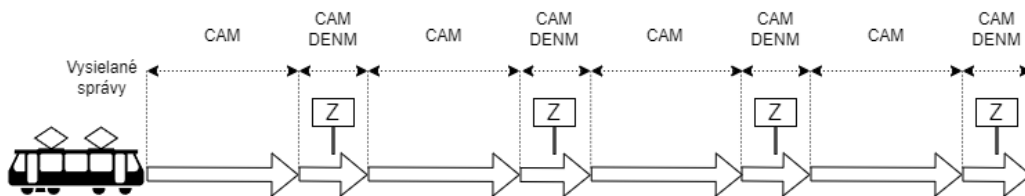


Obr. 4.5: Testovacia trasa na základe trasy z vozidla MHD Ostrava. Červená šípka označuje smer jazdy vozidla MHD

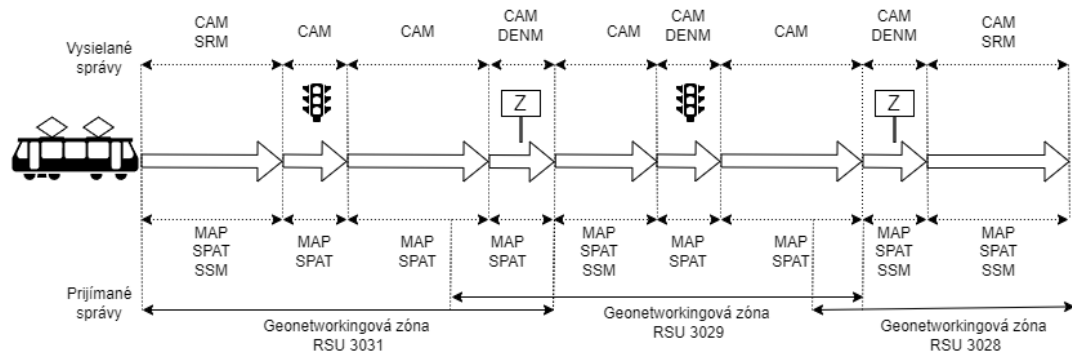
kde sa nenachádzajú iné vysielačce jednotky. V druhej časti (obr. 4.7) jednotka prechádza križovatkami, na ktorých sa nachádzajú aktívne jednotky RSU. Jednotka po zachytení správy MAP žiada o preferenciu SRM a prijíma správy SSM a SPAT.

Podľa testovacej jazdy vieme určiť očakávaný časový rozsah vysielačce správ, typ správy a ich obsah, priemernú frekvenciu odosielačce a ďalšie relevantné informácie. Tieto informácie spracováčce pomocou vytvorených programov a porovnáváme ich so štandardmi, aby sme overili, že aj referenčná jednotka vysiela podľa štandardu. Vypočítané správanie sa potom použije ako očakávaný výstup pri testovaní jednotiek. Výsledné dáta z testovacej jazdy podľa rovnakého scenára nemusia presne zodpovedať dátam v tabuľkách, rátame s povolenou odchýlkou vysielačce. Odchýlka vysielačce sa berie do úvahy v prípade frekvencie vysielačce a pri kontrole obsahu správ, kde obsah musí byť rovnaký, avšak počet výskytov vybraného parametra sa môže v rámci povolenej odchýlky líšiť.

Poskytnuté tabuľky sú spracované ručne na základe vybraných úsekov jazdy. Pre reálne testy sa používajú kratšie intervaly vysielačce na efektívnejšie odhalenie prípadných chýb.



Obr. 4.6: Diagram vysielaných správ na začiatku testovacej trasy. Jedná sa o úsek medzi štyrmi zastávkami.



Obr. 4.7: Diagram vysielaných a prijímaných správ na testovacej trase. Táto časť trasy demonštruje komunikáciu medzi jednotkou OBU a RSU. Vozidlo začína na poslednej zastávke z diagramu 4.6

Vygenerovaná správa DENM v zastávke na 29.dubna. Konkrétne vygenerovaný use-case je "*stationary vehicle warning*". Na obrázku 4.10 vidíme oblasť vysielania správy DENM a vygenerované traces.

Správy DENM kontrolujeme podľa obsahu na základe štandardu ETSI EN 302 637-3. V rámci testovania sa skontrolujú vygenerované traces, konkrétne ich trasy a počet. Ukážka vygenerovaných traces správy DENM je viditeľná na obrázku 4.10. Správa DENM bola vytvorená na základe informácií z palubného počítača vozidla stojaceho v zastávke.

Jednotka vysiela správy MAP a SPAT z križovatiek na trase. Frekvencia, počet a typ správ by sa mali zhodovať s dátami vysielanými podľa noriem. Pre MAP správy je frekvencia vysielania stanovená na 1 Hz, pričom obsahujú informácie o

Čas vysielania od	Čas vysielania do	Typ správy	Logické Id stanice	Priemerná frekvencia vysielania	Počet správ	Poznámka
10:56:29.90	10:57:01.02	CAM	2358941602	1Hz	32	Vozidlo na konečnej zastávke
10:57:01.52	10:58:32.53	CAM	2358941602	2Hz	184	Konečná zastávka -> Výškovice
10:58:33.55	10:59:06.09	CAM	2358941602	1Hz	37	Vozidlo v zastávke Výškovice
10:59:06.89	10:59:44.82	CAM	2358941602	5Hz	146	Výškovice -> Nové Výškovice
10:59:45.82	11:00:06.99	CAM	2358941602	1Hz	22	Vozidlo v zastávke Nové Výškovice
11:00:07.59	11:00:45.74	CAM	2358941602	5Hz	147	Nové Výškovice -> 29.dubna
11:00:46.75	11:01:06.83	CAM	2358941602	1Hz	21	Vozidlo v zastávke 29.dubna
11:01:07.33	11:02:10.51	CAM	2358941602	5Hz	203	29.dubna -> KinoLuna
11:02:11.52	11:02:27.57	CAM	2358941602	1Hz	17	Vozidlo v zastávke Kino Luna
11:02:28.18	11:03:11.06	CAM	2358941602	4Hz	121	Kino Luna -> križovatka 3031
11:03:12.08	11:03:35.89	CAM	2358941602	1Hz	25	Vozidlo stojí na križovatke 3031
11:03:36.09	11:04:25.52	CAM	2358941602	5Hz	138	križovatka 3031 -> Zábřeh, vodárna
11:04:26.53	11:04:40.18	CAM	2358941602	1Hz	15	Vozidlo v zastávke Zábřeh, vodárna
11:04:40.38	11:05:26.40	CAM	2358941602	3Hz	103	Zábřeh, vodárna -> križovatka 3029
11:05:37.40	11:05:39.84	CAM	2358941602	1Hz	20	Vozidlo stojí na križovatke 3029
11:05:40.04	11:06:20.51	CAM	2358941602	3Hz	134	Križovatka 3029 -> Zábřeh OC
11:06:21.51	11:06:50.67	CAM	2358941602	1Hz	30	Vozidlo v zastávke Zábřeh OC
11:06:50.97	11:07:50.91	CAM	2358941602	5Hz	190	Križovatka 3075 -> koniec trasy

Obr. 4.8: Tabuľka vysielaných správ CAM v rámci testovacej jazdy

Čas vysielania od	Čas vysielania do	Typ správy	Logické Id stanice	Priemerná frekvencia vysielania	Počet správ	Poznámka
10:58:32.98	10:59:11.54	DENM	2358941602	1Hz	35	Vozidlo v zastávke Výškovice
10:59:48.20	11:00:23.29	DENM	2358941602	2Hz	72	Vozidlo v zastávke Nové Výškovice
11:00:44.36	11:01:23.58	DENM	2358941602	1Hz	34	Vozidlo v zastávke 29.dubna
11:02:09.89	11:03:50.46	DENM	2358941602	1Hz	85	Vozidlo v zastávke Kino Luna
11:04:25.92	11:04:55.82	DENM	2358941602	1Hz	26	Vozidlo v zastávke Zábřeh, vodárna
11:06:20.67	11:07:00.39	DENM	2358941602	1Hz	35	Vozidlo v zastávke Zábřeh OC

Obr. 4.9: Tabuľka vysielaných správ DENM v rámci testovacej jazdy

topografii cesty a križovatky. SPAT správy sú vysielané s frekvenciou 1 Hz a obsahujú časové údaje o fázach konkrétnych signálnych skupín semaforov na danej križovatke. Rovnaké pravidlá sa uplatňujú aj pre správy SRM, ktoré sú vysielané s frekvenciou 1 Hz, a správy SSM, ktoré odpovedajú na SRM s frekvenciou 1 Hz.

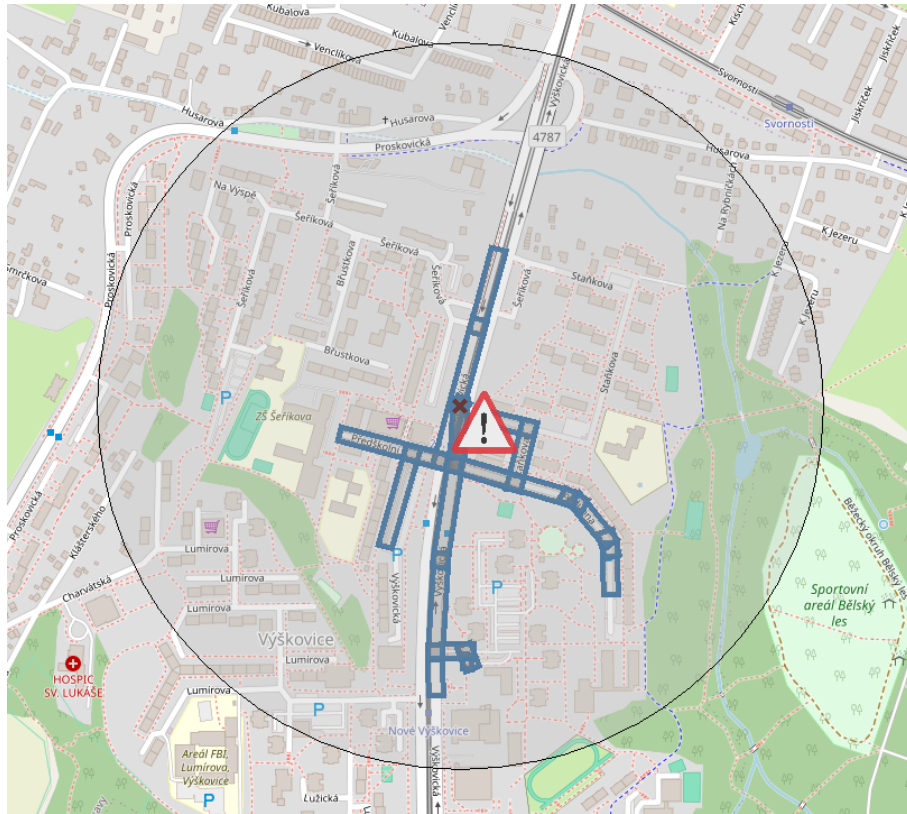
## 4.6 Simulácia prejazdu vozidla záchranej služby

Podmienky testovania jednotky OBU pre záchranné vozidlá budú podobné ako v prípade verejnej dopravy. Popíšeme teda len informácie, ktoré sa líšia.

V scenári záchranej služby sledujeme reálny prejazd sanitky na trase medzi Židenicami a nemocnicou svätej Anny. Prejazd vozidla bol zaznamenaný pomocou .pcap súborov, ktoré obsahujú vysielané a prijímané správy, a súboru XML, ktorý obsahuje detailné dáta o pohybe vozidla.

Sanitka sa pohybuje po trase 4.11, ktorá zahŕňa rôzne typy dopravných situácií, vrátane prechodov cez križovatky a generovania výstražných správ. Na celej trase vysielala výstražnú správu DENM a zároveň v správach CAM žiada o preferenciu. Trasa medzi Židenicami a nemocnicou svätej Anny bola vybraná kvôli jej strategickému významu a typickým dopravným podmienkam, ktoré umožňujú komplexné





Obr. 4.10: Traces správy DENM.

testovanie funkcionality OBU jednotky v reálnych podmienkach záchranej služby.

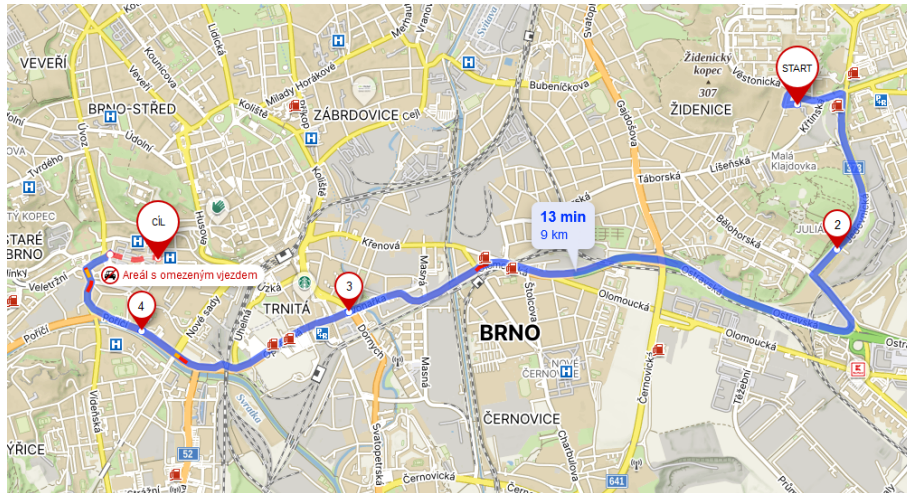
Na začiatku a na konci trasy má jednotka vypnuté majáky, takže prestáva vysielat správy DENM a jej rola sa mení z *emergency* na *default*.

Sanitka nasledovala trasu, ktorá obsahovala rôzne typy dopravných situácií, vrátane prechodov cez križovatky a komunikácie s inými dopravnými prostriedkami. Na celej trase sanitka aktívne žiadala o preferenciu, generovala výstražné správy DENM a interagovala s RSU na križovatkách.

## 4.7 Korektné správanie jednotky RSU

Pri zapnutí RSU dochádza k inicializačnému procesu, ktorý zahŕňa aktiváciu komunikačných modulov a nadviazanie spojenia s riadiacimi prvkami na križovatke. Po úspešnej inicializácii začína RSU vysielat CAM a zároveň prijíma a spracúva CAM správy od ostatných jednotiek v rámci systému C-ITS. Tento proces umožňuje RSU efektívne monitorovať a získavať informácie o pohybe a stave vozidiel na ceste.

RSU aktívne vysielala správy MAP, ktoré poskytujú detailné informácie o topografii cesty, jazdných pruhoch a štruktúre križovatiek. RSU je umiestnené na križovatke a je nadviazaná úspešná komunikácia s križovatkovým radičom, RSU zaháji



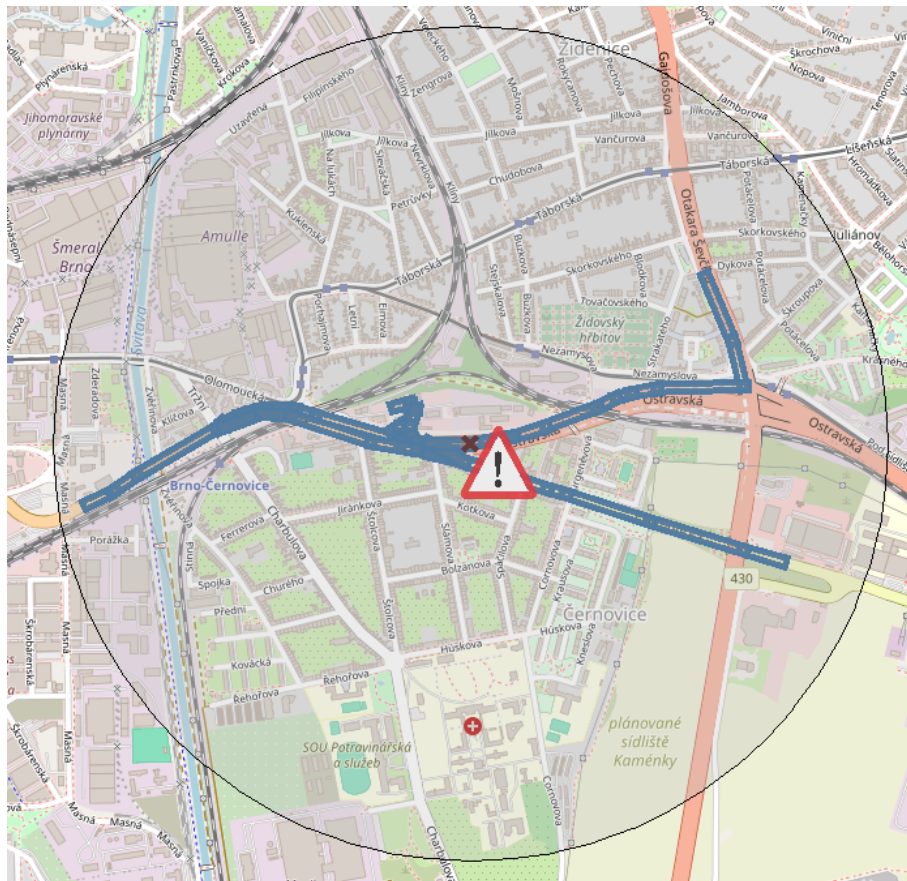
Obr. 4.11: Testovacia trasa vozidla IZS

vysielanie SPAT správ. SPAT správy obsahujú časové údaje o fázach konkrétnych signálnych skupín semaforov na danej križovatke.

V momente, keď sa k RSU približuje vozidlo OBU žiadajúce o preferenciu, RSU prijíma SRM správy. Po prijatí týchto správ ich RSU spracuje a prepošle informácie radiču križovatky. Tento proces umožňuje radiču prispôbiť fázy semaforov tak, aby bolo možné poskytnúť preferenciu žiadajúcemu vozidlu. V prípade, že správa SRM bola určená testovanému RSU, bude vysielat správy SSM ako odpoveď na preferenciu.

RSU je taktiež zodpovedná za prijímanie a vysielanie informačných správ typu DENM a IVI. RSU prijíma tieto správy, spracováva ich a distribuuje do zariadení vo svojej geografickej oblasti, čím umožňuje vozidlám a účastníkom cestnej premávky získať aktuálne informácie.

Pred každým testom je spustený proces zachytávania sieťových paketov po zapnutí jednotky. Pred začatím testu je nevyhnutné pripraviť prostredie, v ktorom RSU aktívne vysiela s pripojením na simulátor radiča križovatky, ktorý zaisťuje spracovanie požiadaviek na preferenciu. Rovnako sú do RSU odosielané vytvorené SPAT zo spat-generátora.



Obr. 4.12: Vygenerovaná DENM "emergency vehicle approaching"

## 5 Testovacie scenáre

### 5.1 Testovací scenár pre jednotku OBU

Tento testovací scenár je navrhnutý na overenie a zabezpečenie funkčnosti komunikačných systémov v súlade s európskymi štandardmi ETSI. Vstupom pre testovanie bude súbor z jednotky so zachyteným referenčným správaním overený podľa štandardov a súbor `vehicleData.csv`, ktorý obsahuje presné informácie o pohybe vozidla zaznamenávané periodicky každých 100 ms.

#### Príprava prostredia

1. **Nastavenie jednotky OBU:**
  - Zabezpečte, aby bola jednotka OBU správne nainštalovaná a nakonfigurovaná.
  - Overte, že jednotka je schopná komunikovať prostredníctvom V2X.
2. **Spustenie procesu simulácie funkčnosti:**
  - Spustíme simuláciu na základe vstupných dát zo súboru XML v jednotke OBU Herman v rámci internej aplikácie `V2XService.jar`.

#### Testovacie scenáre

##### Komunikačné testy

**Cieľ:** Overenie schopnosti jednotky OBU komunikovať prostredníctvom V2X.

V rámci komunikačných testov všeobecne kontrolujeme frekvenciu, existenciu a obsah správ. Testy sú zamerané na overenie, či jednotky správne vysielajú správy v očakávanom časovom rozsahu, či správy obsahujú správny typ informácií a či je frekvencia odosielania v súlade so špecifikáciami.

##### Analýza dát

**Kroky:**

1. **Zachytenie a uloženie dát:**
  - Po ukončení simulácie sa automaticky zastaví proces zachytávania sieťových paketov.
  - Uložíme zachytené dáta do súboru `...tx.pcap` a `...rx.pcap`.
2. **Spracovanie dát:**
  - Použijeme vytvorený skript `skript_tshart.py` na extrakciu dát z PCAP súboru do samostatných CSV súbor pre testované typy správ.

- Porovnáme výsledky s údajmi vysielanými overeným referenčným vozidlom pomocou vytvoreného programu CITStest.py.

## Testovanie konkrétnych správ v rámci kódu

1. **Vysielanie a prijímanie správ CAM:**
  - Overíme, či jednotka C-ITS pravidelne vysielala a prijíma správy CAM v rozsahu 1-10Hz podľa určeného referenčného správania v predom definovaných intervaloch.
2. **Vysielanie žiadosti SRM a prijímanie správ SSM:**
  - Na simulovanej križovatke vysielame žiadosť SRM.
  - Overíme, či jednotka C-ITS vysielala SRM so správnou frekvenciou a obsahom a prijíma odpoveď SSM.
3. **Generovanie a prijatie správ DENM:**
  - Simulujeme udalosti, ktoré vyžadujú generovanie správ DENM (napr. prejazd vozidla záchranej služby, stacionárne vozidlo v zastávke...).
  - Overíme, či jednotka C-ITS správne generuje správy DENM.
4. **Detekcia správ SPAT a MAP:**
  - Na testovacej trase overíme, či jednotka C-ITS detekuje a správne spracuje správy SPAT (Signal Phase and Timing) a MAP (Map Data).

## 5.2 Testovací scenár pre jednotku RSU

Tento testovací scenár je navrhnutý na overenie a zabezpečenie funkčnosti a bezpečnosti komunikačných systémov v súlade s európskymi štandardmi ETSI. Vstupom pre testovanie bude súbor `rx.pcap` z V2X, ktorý obsahuje komunikáciu od okolitých jednotiek žiadajúcich o preferenciu. Súčasťou testovania bude aj simulátor pripojenia radica, ktorý bude bežať na jednotke RSU. Pretože ide o simulátor, použijeme väčšiu toleranciu chyby a budeme kontrolovať iba prijatie správ a ich správne spracovanie.

### Príprava prostredia

1. **Nastavenie jednotky RSU:**
  - Zabezpečte, aby bola jednotka RSU správne nainštalovaná a nakonfigurovaná.
  - Overte, že jednotka je schopná komunikovať prostredníctvom V2X.
  - Uistíme sa, že simulátor pripojenia radica križovatky je správne nainštalovaný a spustený.
2. **Spustenie procesu simulácie funkčnosti:**

- Spustíme simuláciu na základe vstupných dát zo súboru `rx.pcap` v jednotke RSU Herman v rámci internej aplikácie `V2XService.jar`.
3. **Spustenie zachytávania paketov:**
- Spustíme proces zachytávania sieťových paketov na jednotke RSU, aby sme mohli analyzovať prichádzajúce a odchádzajúce správy.

## Testovacie scenáre

### Komunikačné testy

**Cieľ:** Overenie schopnosti jednotky RSU komunikovať prostredníctvom V2X.

V rámci komunikačných testov všeobecne kontrolujeme frekvenciu, existenciu a obsah správ. Testy sú zamerané na overenie, či jednotky správne vysielajú správy v predom definovaných časových intervaloch, či správy obsahujú správny typ informácií a či je frekvencia odosielania v súlade so špecifikáciami.

### Analýza dát

**Kroky:**

1. **Zachytenie a uloženie dát:**
  - Po ukončení simulácie sa automaticky zastaví proces zachytávania sieťových paketov.
  - Zachytené dáta sú uložené do súborov `tx.pcap` a `rx.pcap` v logoch jednotky.
2. **Spracovanie dát:**
  - Použijeme vytvorený skript `skript_tshark.py` na extrakciu dát z PCAP súboru do samostatných CSV súborov pre testované typy správ.
  - Porovnáme výsledky s údajmi vysielanými overenými referenčnými jednotkami pomocou vytvoreného programu `CITStest.py`.

### Testovanie konkrétnych správ v rámci kódu

1. **Vysielanie a prijímanie správ CAM:**
  - Overíme, či jednotka RSU pravidelne vysielala a prijíma správy CAM v rozsahu 1-10 Hz podľa určeného referenčného správania v predom definovaných intervaloch.
2. **Prijímanie žiadosti SRM a vysielanie správ SSM:**
  - Na simulovanej križovatke prijímame žiadosť SRM od predom známych vozidiel v rámci simulácie.
  - Overíme, či jednotka RSU vysielala odpoveď SSM so správnou frekvenciou a obsahom zhodujúcim sa s informáciami v SRM.

**3. Generovanie a prijatie správ DENM:**

- Simulujeme udalosti, ktoré vyžadujú generovanie správ DENM (napr. stacionárne vozidlo v zastávke...) v rámci vozidiel jazdiacich v simulácii.
- Overíme, či jednotka RSU správne prijíma a preposiela správy DENM.

**4. Detekcia správ SPAT a MAP:**

- Na testovacej trase overíme, či jednotka RSU korektne vysiela správy MAP a prijíma správy SPAT od radiča križovatky a následne ich vysiela.

## 6 Program analýzy vysielania staníc C-ITS

Táto kapitola sa zaoberá programom, ktorý slúži na analýzu vysielania staníc C-ITS. Program spracováva vstupné dáta zo zachytenej komunikácie do súborov csv, vykonáva analýzu a generuje výstupy, ktoré sú následne použité na overenie funkčnosti a správnosti systému. Kapitola zahŕňa popis jednotlivých komponentov, použité knižnice, súborovú štruktúru a spôsob spustenia aplikácie. Vývojový diagram programu CITStest.py je dostupný v prílohe B.1

### 6.1 Príprava vstupných dát

Python je flexibilný a jednoduchý na použitie, čo ho robí ideálnym jazykom pre písanie skriptov. Jeho bohatá štandardná knižnica a podpora pre automatizáciu a testovanie z neho robia preferovanú voľbu. V prípade tohto projektu bol Python zvolený z dôvodu jednotnosti programovacích jazykov naprieč prácou. Python umožňuje efektívne spracovanie dát a integráciu s existujúcimi nástrojmi a knižnicami, čo zjednodušuje vývoj a údržbu skriptov, ako je ďalej popisovaný skript\_tshark.py.

Tento skript slúži na filtrovanie a extrakciu špecifických dát z PCAP súborov pomocou nástroja Tshark. Je navrhnutý na spracovanie dát z jednotiek C-ITS pre rôzne typy správ a ukladanie výsledkov do CSV súborov. Skript funguje pre dva hlavné režimy operácie: verejná doprava (**pt**), núdzové vozidlá (**emerg**) a (**rsu**).

#### Hlavné komponenty

##### Globálne konštanty a premenné

Skript definuje stĺpce na filtrovanie, identifikátor stanice a predvolené polia na extrakciu pre rôzne typy správ.

##### **DEFAULT\_FIELDS\_BY\_MESSAGE\_ID**

Táto premenná obsahuje preddefinované polia na extrakciu pre základné funkcie skriptu. Pre každý typ správy (`message_id`) sú špecifikované základné polia, ktoré sú nevyhnutné pre základnú funkčnosť programu. Tieto predvolené polia zabezpečujú, že aj bez ďalších úprav budú extrahované kľúčové informácie potrebné pre analýzu.

##### **ADDITIONAL\_FIELDS**

Táto globálna premenná slúži na pridanie vlastných stĺpcov pri tvorbe CSV súborov pre jednotlivé typy správ. Umožňuje užívateľovi špecifikovať dodatočné polia, ktoré budú extrahované z PCAP súborov pre rôzne režimy operácie (`pt`, `emerg`, `rsu`). Toto umožňuje flexibilitu v rozširovaní informácií, ktoré sú potrebné pre konkrétne analýzy alebo reporty.



### **Funkcia run\_tshark**

Táto funkcia vykonáva hlavnú operáciu extrakcie dát pomocou Tshark. Na základe typu správy (`message_id`) a dodatočných polí vytvára príkaz Tshark, ktorý filtruje a extrahuje dáta z PCAP súboru a ukladá ich do CSV súboru.

### **Funkcia main**

Hlavná funkcia skriptu, ktorá spracováva vstupné argumenty a spúšťa funkciu `run_tshark` pre príslušné typy správ. Očakáva jeden argument, ktorý určuje režim operácie (`pt` alebo `emerg`).

## **Postup práce**

1. **Spustenie skriptu:** Používateľ spustí skript s argumentom určujúcim režim operácie, napríklad:  

```
python script.py <mode>
```
2. **Spracovanie argumentov:** Skript overí, či bol zadaný správny počet argumentov.
3. **Konfigurácia ciest a filtrov:** Definujú sa cesty k PCAP súboru a výstupnému CSV súboru. Získajú sa príslušné stĺpce a polia na extrakciu pre každý typ správy.
4. **Vytvorenie príkazu Tshark:** Príkaz Tshark sa zostaví s potrebnými filtrami a poliami a spustí sa. Výsledné dáta sa uložia do CSV súboru v predom definovanom adresari.

## **6.2 Využité knižnice**

V rámci tohto programu sme sa rozhodli využiť niekoľko kľúčových knižníc, ktoré nám umožňujú efektívne a flexibilné spracovanie dát, analyzovanie argumentov príkazového riadku a vytváranie komplexných nástrojov pre testovanie a overovanie komunikačných systémov C-ITS. Tieto knižnice poskytujú potrebné nástroje a funkcie, ktoré zjednodušujú vývoj a údržbu programov.

### **Pandas**

Pandas je výkonná a flexibilná knižnica pre Python, ktorá je určená na prácu s dátovými rámcami (DataFrames) a sériami (Series). Je postavená na základe knižnice numpy, čo jej umožňuje efektívnu prácu s veľkými dátovými súbormi.

## Kľúčové funkcie

- **Definovanie argumentov:** Umožňuje definovať rôzne typy argumentov (po-vinné, voliteľné, s predvolenými hodnotami) a ich spracovanie.
- **Automatické generovanie pomoci:** Vytvára automaticky generované správy pomoci a chyby, čo zjednodušuje používanie skriptov.
- **Podpora rôznych typov dát:** Umožňuje spracovanie argumentov rôznych typov, ako sú reťazce, celé čísla, plávajúce desatinné čísla a booleovské hodnoty.
- **Podpora pre skupiny argumentov a podpríkazy:** Umožňuje zoskupova-nie argumentov do logických celkov a definovanie podpríkazov, čo je užitočné pri vytváraní komplexnejších nástrojov.

## Argparse

Argparse je knižnica v Pythone, ktorá sa používa na analýzu argumentov príkazo-vého riadku. Je súčasťou štandardnej knižnice Pythonu, takže nie je potrebné ju dodatočne inštalovať. Umožňuje vytváranie flexibilných a užívateľsky prívetivých rozhraní pre skripty, ktoré môžu prijímať a spracúvať argumenty a možnosti zadané na príkazovom riadku.

## 6.3 Súborová štruktúra

Projekt je organizovaný do jasne definovaných súborov. V prílohe je uvedený dia-gram tried B.1, ktorý zobrazuje logickú štruktúru projektu, vrátane vzťahov medzi jednotlivými triedami a modulmi. Popis funkčnosti programu popísaný v kapitole

### 6.3.1 ModeConfigurator.py

Konfiguruje režim na základe argumentov.

**Trieda: ModeConfigurator**

Metódy

- `configure_mode(mode)` Táto metóda nastaví konfiguráciu pre zadaný režim `mode` na základe preddefinovaných nastavení. Každý režim má svoje špecifické nastavenia vrátane prefixov súborov, súradníc a podmienok

### 6.3.2 DataProcessor.py

Kód obsahuje dve hlavné triedy: `MathUtils` a `DataProcessor`. Tieto triedy poskytujú metódy na matematické výpočty a spracovanie dát, vrátane výpočtu správnosti a celkovej presnosti.

### **Trieda: MathUtils**

#### Metódy

- `avg(lst, start)`
  - **Popis:** Vypočíta priemer hodnôt v zozname `lst` od indexu `start`. Ak `start` je 0 a veľkosť zoznamu je väčšia ako 0, zníži veľkosť zoznamu o 1. Vrátí priemer a veľkosť použitého zoznamu.
  - **Argumenty:**
    - \* `lst` (list): Zoznam hodnôt, pre ktoré sa má vypočítať priemer.
    - \* `start` (int): Začiatkový index, od ktorého sa má počítať priemer.
  - **Návratová hodnota:** Tuple (dvojica hodnôt)
    - \* Prvá hodnota: Priemer hodnôt v zozname `lst` od indexu `start`.
    - \* Druhá hodnota: Veľkosť (počet prvkov) použitého zoznamu po úprave.

### **Trieda: DataProcessor**

#### Metódy

- `makeDfGroup(df, start, end)` Vytvára skupiny dát a pridáva priemerné hodnoty do rámca `df`. Návratová hodnota je posledný riadok skupiny dátového rámca `df`.
- `makeCSVExpect(dfs, output_filename)` Ukladá zoznam dátových rámcov `dfs` do CSV súboru `output_filename`.
- `calculate_correctness(reference_data_file, frequency_file, output_file)` Vypočíta správnosť dát na základe vypočítaných referenčných a testovacích frekvenčných súborov. Výsledky ukladá do `output_file`.

## **6.3.3 IntervalTracker.py**

Trieda `IntervalTracker` obsahuje statické metódy na sledovanie a analýzu intervalov vysielania dát. Poskytuje metódy na sledovanie intervalov, filtrovanie dát podľa hodnôt v stĺpci a porovnávanie intervalov medzi dvoma dátovými rámcami.

**Trieda: `IntervalTracker`** Trieda `CoordinateAdjuster` obsahuje statickú metódu na úpravu relatívneho času v dátovom rámci na základe súradníc. Metódy

- `track_broadcast_intervals(df, identifier_column, condition_func, max_interval)` Sleduje intervaly vysielania dát na základe podmienok a vracia zoznam ukončených intervalov.
- `track_parameter_intervals(df, filename, column_name, status_values, max_gap)` Sleduje intervaly parametrov a vracia dátový rámec intervalov.
- `filter_dataframe_by_column_values(df, column_name, values)` Filtruje dátový rámec `df` podľa hodnôt v stĺpci

- `compare_intervals(df1, df2, column_name, tolerance=2, count_tolerance=3)`  
Porovnáva intervaly medzi dvoma dátovými rámcami `df1` a `df2` a vracia výsledky porovnania.

### 6.3.4 **CoordinateAdjuster.py**

Trieda `CoordinateAdjuster` obsahuje statickú metódu na úpravu relatívneho času v dátovom rámci na základe definovaných parametrov vo vybranom stĺpci.

**Trieda: `CoordinateAdjuster`** Metódy

- `adjust_time_relative(df, first_col, second_col, start_coords, end_coords)`  
– Upravuje hodnoty `frame.time_relative` na základe parametrov v stĺpcoch `first_col` a `second_col`.

### 6.3.5 **CITStest.py**

Trieda `Main` obsahuje hlavný vstupný bod programu, ktorý spracováva argumenty príkazového riadku, konfiguruje režim a vykonáva spracovanie dát na základe vstupných súborov.

**Trieda: `Main`** Metódy

- `main()`  
– Hlavná metóda programu, spracúva argumenty, konfiguruje režim a vykonáva spracovanie dát na základe vstupných súborov. Metóda spracováva priamo argumenty príkazového riadku

### 6.3.6 **Pomocné triedy**

#### **FileColumnConfigurator.py**

Konfiguruje stĺpce súborov pre rôzne režimy.

**Trieda: `FileColumnConfigurator`** Metódy

- `__init__()`  
– Inicializuje konfiguračné stĺpce pre rôzne súbory.

#### **ColorPrinter.py**

Poskytuje metódy na tlačenie textu a pozadia v rôznych farbách.

#### **ArgumentParser.py**

Spracúva argumenty príkazového riadku.

## 6.4 Spustenie aplikácie

Program je možné spustiť príkazom:

```
python CITStest.py <mode>
```

kde <mode> je jeden z možných režimov: **pt** (public transport), **emerg** (emergency vehicle) alebo **rsu** (jednotka na križovatke)

## 6.5 Výstupy aplikácie

Ako hlavný výstup programu boli použité výpisy do konzoly z niekoľkých praktických a technických dôvodov. Konzolové výpisy poskytujú okamžitú spätnú väzbu o priebehu spracovania a výsledkoch testov. Umožňujú transparentne sledovať každý krok spracovania dát. Chybové hlásenia a priebežné výpisy do konzoly, ktoré pomáhajú pri diagnostike problémov a sledovaní priebehu spracovania dát. Tvorba a popis súborov v kapitole 4.1

### 6.5.1 Chybové hlásenia

- **Error: No data available in 'intervals\_cum'. One of the files is empty**
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak v stĺpci `intervals_cum` nie sú dostupné žiadne dáta. Môže to byť spôsobené prázdny vstupným súborom.
- **Error: Missing required file '<filename>'**
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak chýba jeden alebo viac požadovaných súborov. Chýbajúci súbor je označený ako `<filename>`.
- **Error: File <input\_filename> or <ref\_filename> not found.**
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak niektorý z uvedených súborov `<input_filename>` alebo `<ref_filename>` neexistuje.
- **Error parsing CSV file: <error\_message>**
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak dôjde k chybe pri parsovaní CSV súboru. `<error_message>` obsahuje detailný popis chyby.
- **KeyError: <key> - check 'desired\_coords' setup for index <i>.**
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak nie je možné nájsť kľúč `<key>` v konfiguračných nastaveniach. Skontrolujte nastavenia `'desired_coords'` pre index `<i>`.
- **An unexpected error occurred: <error\_message>**
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak dôjde k neočakávanej chybe. `<error_message>` obsahuje detailný popis chyby.

## 6.5.2 Konzolové hlásenia

- Working in `<mode>` mode
  - Toto hlásenie informuje o tom, že program pracuje v zadanom režime `<mode>`. Režim môže byť `pt` (public transport) alebo `emerg` (emergency services).
- Successfully loaded data for `<input_filename>`.
  - Toto hlásenie informuje o úspešnom načítaní dát zo súboru `<input_filename>`.
- Adjusting `time_relative` based on coordinates...
  - Toto hlásenie informuje o začatí úpravy relatívneho času na základe súradníc.
- No start match found for given criteria in columns.
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak nie sú nájdené žiadne záznamy, ktoré by spĺňali počiatkové kritériá.
- No end match found for ending criteria in columns.
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak nie sú nájdené žiadne záznamy, ktoré by spĺňali koncové kritériá.
- Time adjustment complete.
  - Toto hlásenie informuje o úspešnom dokončení úpravy relatívneho času.
- Correctness calculation completed. Results saved to `<output_file>`.
  - Toto hlásenie informuje o úspešnom dokončení výpočtu správnosti a uložení výsledkov do súboru `<output_file>`.
- Overall success percentage: `<percentage>%`.
  - Toto hlásenie informuje o celkovej úspešnosti výpočtu správnosti v percentách (`<percentage>%`).
- The frequency of broadcasting the message is correct.
  - Toto hlásenie informuje o tom, že frekvencia vysielania správy je správna.
- The transmission frequency is outside the acceptable value(`<90%`).
  - Toto hlásenie informuje o tom, že frekvencia vysielania správy je mimo prijateľnej hodnoty (menej ako 90%).
- Tracking parameter intervals for column '`<column_name>`' in `<filename>`.
  - Toto hlásenie informuje o sledovaní intervalov parametrov pre stĺpec `<column_name>` v súbore `<filename>`.
- Comparing `<total_intervals>` intervals for '`<column_name>`'...
  - Toto hlásenie informuje o porovnávaní `<total_intervals>` intervalov pre stĺpec `<column_name>`.
- No intervals were identified.
  - Toto hlásenie sa vygeneruje, ak neboli identifikované žiadne intervaly.
- All intervals match within the given tolerance and count tolerance

for column '<column\_name>'.

– Toto hlásenie informuje o tom, že všetky intervaly zodpovedajú v rámci danej tolerancie pre stĺpec <column\_name>.

• Detailed interval matching report for column '<column\_name>':

– Toto hlásenie informuje o podrobnej správe porovnávania intervalov pre stĺpec <column\_name>.

## 6.6 Vstupné a výstupné dáta

Aplikácia pracuje s rôznymi vstupnými súbormi a vytvára výstupné súbory počas spracovania dát. Tvorba a obsah csv súborov opísaná v kapitole 4.1

Názov súboru	Popis	Umiestnenie
<b>Vstupné súbory</b>		
<filtered_prefix>_filtered_<i>.csv	Filtrované vstupné dáta pre režim <mode>.	input/
<reference_prefix>_filtered_<i>.csv	Referenčné dáta pre režim <mode>.	reference/
<b>Výstupné súbory</b>		
<reference_prefix>_freq_<i>.csv	Výsledky frekvenčnej analýzy pre referenčné dáta.	reference/
<filtered_prefix>_freq_<i>.csv	Frekvenčné analýzy filtrovaných dát.	output/
<filtered_prefix>_result_freq_<i>.csv	Výsledky správnosti frekvencie filtrovaných dát.	output/

Tab. 6.1: Tabuľka vstupných a výstupných súborov. <mode> je režim (pt, emerg alebo rsu), <i> je index súboru.



# Záver

V rámci tejto diplomovej práce boli vyvinuté (polo)automatické testovacie postupy pre jednotky C-ITS s prihliadnutím na ich rôzne role a funkcie v inteligentných dopravných systémoch. Práca zahŕňala oboznámenie sa s komunikačnými štandardmi ETSI ITS-G5, C-ROADS a Car-2-Car, ako aj s príslušnými testovacími procedúrami jazykom TTCN-3.

Na základe získaných poznatkov boli navrhnuté systematické testovacie postupy pre rôzne typy a role jednotiek, čím sa uľahčilo testovanie a identifikácia možných chýb, aby jednotky spĺňali požadované štandardy ETSI a správne sa správali podľa definovaných scenárov C-ROADS. Boli navrhnuté a implementované programy a skripty pre (polo)automatické testovanie týchto scenárov, konkrétne pre:

- RSU pripojené k riadiču križovatky,
- OBU na vozidlách verejnej dopravy,
- OBU na vozidlách integrovaného záchranného systému (IZS).

Praktická časť práce zahŕňala vývoj testovacích skriptov a programov, ktoré umožnili efektívne a opakovateľné testovanie jednotiek C-ITS. Tieto skripty boli vytvorené tak, aby boli čo najviac automatizované a umožňovali jednoduchú údržbu a rozšírenie. Výsledky testov potvrdili, že navrhnuté testovacie postupy sú účinné a jednotky splnili požadované štandardy a scenáre.

Aj keď práca priniesla požadované výsledky, identifikovali sme niekoľko oblastí, kde je možné zlepšiť:

- **Čitateľnosť parametrov v stĺpcoch:** Niektoré parametre v stĺpcoch nie sú správne čitateľné, čo môže sťažiť analýzu výsledkov. Navrhujeme zlepšiť formátovanie a prácu s rôznymi typmi premenných.
- **Ošetrenie možných chýb:** Pri testovaní sme zaznamenali niekoľko situácií, kde neboli dostatočne ošetrené možné chyby.
- **Rozšírenie testovacích scenárov:** Súčasný testovací scenár pokrýva základné situácie, avšak pre komplexnejšie a reálnejšie podmienky by bolo vhodné rozšíriť testovací scenár.
- **Automatizácia procesu analýzy výsledkov:** Automatizácia analýzy výsledkov by mohla zlepšiť efektivitu celého testovacieho procesu a umožniť rýchlejšiu identifikáciu problémov.

Táto práca prispela k vývoju spoľahlivejších a efektívnejších testov pre overovanie funkčnosti jednotiek C-ITS. Výsledky a metódy tejto práce môžu byť použité na ďalšie zlepšenie a rozšírenie testovacích postupov, čo prispeje k ešte vyššej úrovni testovania a tým prispieva k spoľahlivejšiemu rozvoju a nasadeniu týchto technológií v reálnej prevádzke.

# Literatúra

- [1] V. Mannoni, V. Berg, S. Sesia and E. Perraud A Comparison of the V2X Communication Systems: ITS-G5 and C-V2X *2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*. Kuala Lumpur, Malaysia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/VTCSpring.2019.8746562.
- [2] K. Abboud, H. A. Omar and W. Zhuang Interworking of DSRC and Cellular Network Technologies for V2X Communications: A Survey *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. vol. 65, no. 12, pp. 9457-9470, Dec. 2016, doi: 10.1109/TVT.2016.2591558.
- [3] Auto-talks DSRC vs. C-V2X for Safety Applications *DSRC vs. C-V2X for Safety Applications* Dostupné z URL:  
Dostupné z URL:  
<<https://auto-talks.com/technology/dsrc-vs-c-v2x/>>
- [4] European Telecommunications Standards Institute *EN 302 636-6-1 - V1.2.0 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications* Dostupné z URL:  
<[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/3026360601/01.02.00\\_20/en\\_3026360601v010200a.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/3026360601/01.02.00_20/en_3026360601v010200a.pdf)>
- [5] C-ROADS Platform *C-ROADS* Dostupné z URL:  
<<https://www.c-roads.eu/platform.html>>
- [6] Car-to-Car Communication (C2C), Dostupné z URL:  
<<https://www.itwissen.info/en/car-to-car-communication-C2C-118491.html#gsc.tab=0>>
- [7] ITU. (2023). *TTCN-3: Testing and Test Control Notation version 3*. Retrieved from <https://www.itu.int/en/ITU-T/ttcn/Pages/default.aspx>
- [8] Zlínský kraj, *Představení ekosystému C-ITS a Centrálních prvků C-ITS*, 2023. [Online]. Dostupné z URL:<https://zlinskykraj.cz/file/645357023b2341f23c0ce83d>. [20.04.2024].
- [9] Ředitelství silnic a dálnic ČR, *Kontrolní subjekt C-ITS systémů napojených k Centrálním prvkům C-ITS*, 2023. [Online]. Dostupné z URL:[https://www.rsd.cz/documents/38144/80552/PTK\\_Kontrolni+subjekt\\_Web\\_Priloha.pdf/5b3b09df-e62f-c092-4961-8f02c36f2800?t=1665339665966](https://www.rsd.cz/documents/38144/80552/PTK_Kontrolni+subjekt_Web_Priloha.pdf/5b3b09df-e62f-c092-4961-8f02c36f2800?t=1665339665966). [20.04.2024].

- [10] Herman elektronika, Jednotky C-ITS, Dostupné z URL:  
<<https://www.herman.cz/cs/>>
- [11] Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 2: Media-dependent functionalities for ITS-G5 Dostupné z URL:  
<[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102600\\_102699/1026360402/01.04.01\\_60/ts\\_1026360402v010401p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/1026360402/01.04.01_60/ts_1026360402v010401p.pdf)>
- [12] European Telecommunications Standards Institute *ETSI 302 637-2 BSA CA Service (CAM)*
- [13] European Telecommunications Standards Institute *ETSI EN 302 637-3 Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Messages (DENM)*
- [14] CAR 2 CAR Communication Consortium, *Automotive Requirements for the Traffic Light Manoeuvre (TLM) and Road and Lane Topology (RLT) Services*, Release 1.5.0, 2022. Dostupné z URL:  
<[https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/Basic\\_System\\_Profile/Release\\_1.5.0/C2CCC\\_RS\\_2077\\_SPATMAP\\_AutomotiveRequirements.pdf](https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/Basic_System_Profile/Release_1.5.0/C2CCC_RS_2077_SPATMAP_AutomotiveRequirements.pdf)>
- [15] Sensor based traffic signal pre-emption for emergency vehicles using efficient short-range communication network, *Measurement: Sensors*, Yarra Kavitha and Penke Satyanarayana and Shafi Shahsavar Mirza, 2665-9174 Dostupné z URL:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917423001666>>
- [16] Traffic Signal Priority Control Strategy for Connected Emergency Vehicles with Dilemma Zone Protection for Freight Vehicles, *Transportation Research Record* Dostupné z URL:  
<<https://doi.org/10.1177/03611981211039157>>
- [17] QR Code Based Signage to Support Automated Driving Systems on Rural Area Roads, *Industrial Engineering and Operations Management II*, 2019 Dostupné z URL:  
<[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14973-4\\_10#:~:text=Signal%20Request%20Message%20,be%20used%20in%20this%20study](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-14973-4_10#:~:text=Signal%20Request%20Message%20,be%20used%20in%20this%20study)>

- [18] SRM Profile v1.2 - subWG NL profile, Dostupné z URL:  
<[https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/59/talking-traffic-partnership/files/21805/-49\\_170629-srm-profile-v1-2-subwg-nl-profiel-docx](https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/59/talking-traffic-partnership/files/21805/-49_170629-srm-profile-v1-2-subwg-nl-profiel-docx)>
- [19] SSM PROFILE, Talking Traffic, Dostupné z URL:  
<[https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/59/talking-traffic-partnership/files/21806/-49\\_170629-ssm-profile-v1-2-subwg-nl-profiel-docx](https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/59/talking-traffic-partnership/files/21806/-49_170629-ssm-profile-v1-2-subwg-nl-profiel-docx)>
- [20] "ETSI", Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services, Dostupné z URL:  
<[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/103300\\_103399/103301/01.01.01\\_60/ts\\_103301v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.01.01_60/ts_103301v010101p.pdf)>
- [21] SPAT Implementation Guide, National Operations Center of Excellence, Dostupné z URL:  
<<https://transportationops.org/spatchallenge/resources/Implementation-Guide>>
- [22] SPAT PROFILE, Talking Traffic, Dostupné z URL:  
<[https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/59/talking-traffic-partnership/files/21810/-49\\_171116-spat-profile-v2-0-subwg-dutch-profile-pdf](https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/59/talking-traffic-partnership/files/21810/-49_171116-spat-profile-v2-0-subwg-dutch-profile-pdf)>
- [23] Sekil, H., "Överview of In-Vehicle Infotainment (IVI)", Dostupné z URL:  
<[https://www.researchgate.net/publication/332988800\\_Overview\\_of\\_In-Vehicle\\_Infotainment\\_IVI](https://www.researchgate.net/publication/332988800_Overview_of_In-Vehicle_Infotainment_IVI)>
- [24] In-Vehicle Infotainment (IVI) System Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026), Dostupné z URL:  
<<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/in-vehicle-infotainment-ivi-system-market>>
- [25] Car2Car communication, Dostupné z URL:  
<<https://sensorlocalization.wordpress.com/2014/03/23/car2car-communication/>>
- [26] Petr Kadlec, *Public Key Infrastructure*, 2020. Dostupné z URL:<https://www.karlin.mff.cuni.cz/~kadlcak/lessons/pozn/PKI.pdf>. [20.04.2024].

- [27] Car 2 Car Communication Consortium, Presentation Meeting #28 - EIC - 6 May 2020 - C-ITS, 2020. Dostupné z URL:[https://www.car-2-car.org/fileadmin/press/pdf/4.2\\_Presentation\\_Meeting\\_n28\\_-\\_EIC\\_-\\_6\\_May\\_2020\\_-\\_C-ITS.pdf](https://www.car-2-car.org/fileadmin/press/pdf/4.2_Presentation_Meeting_n28_-_EIC_-_6_May_2020_-_C-ITS.pdf). [20.04.2024].
- [28] CAR 2 CAR Communication Consortium, *Automotive Requirements for the Traffic Light Manoeuvre (TLM) and Road and Lane Topology (RLT) Services*, Release 1.5.0, 2022. Dostupné z URL:[https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/Basic\\_System\\_Profile/Release\\_1.5.0/C2CCC\\_RS\\_2077\\_SPATMAP\\_AutomotiveRequirements.pdf](https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/Basic_System_Profile/Release_1.5.0/C2CCC_RS_2077_SPATMAP_AutomotiveRequirements.pdf)

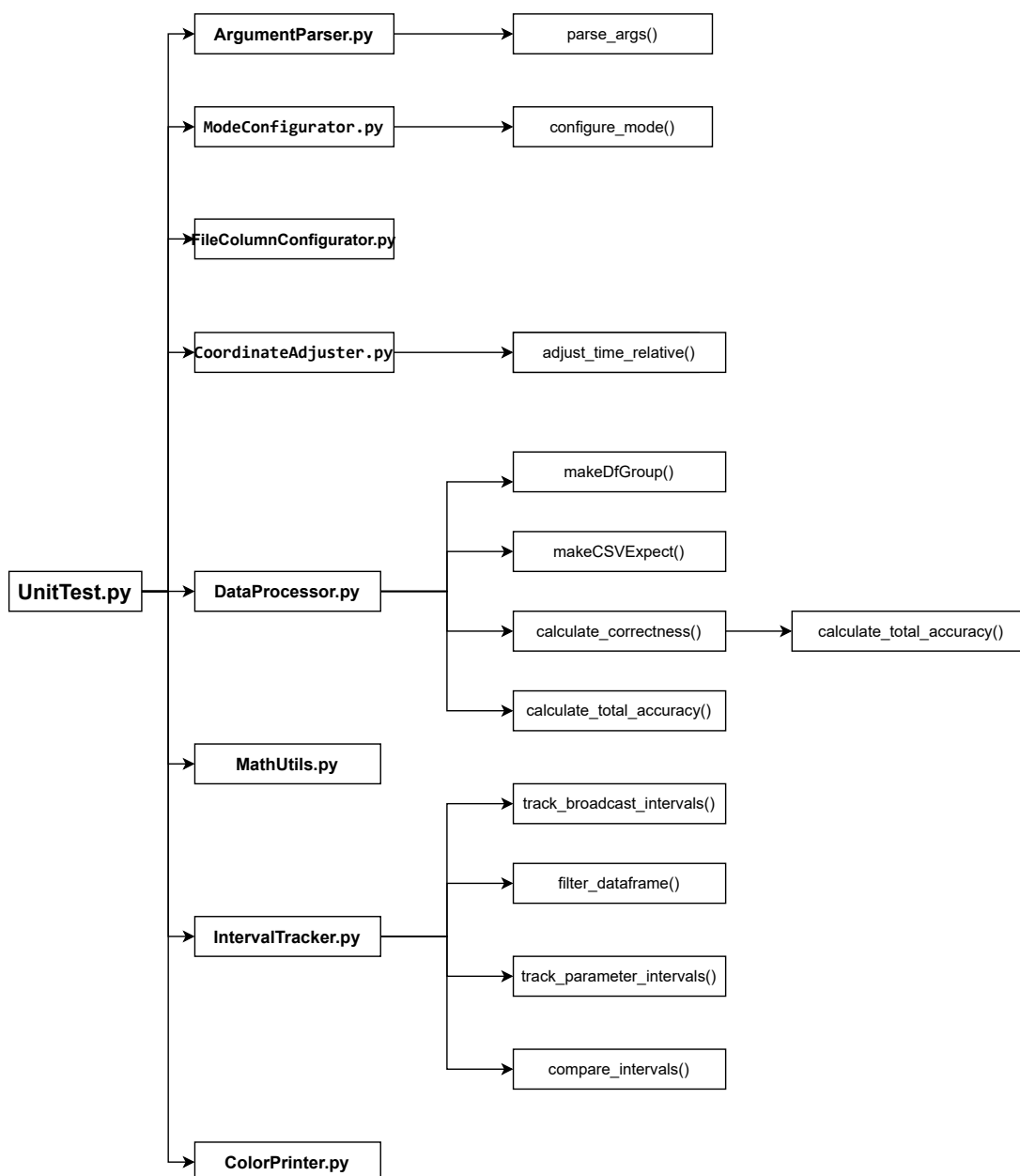
# Zoznam symbolov a skratiek

<b>CAM</b>	Cooperative Awareness Message
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>C-ITS</b>	Cooperative Intelligent Transportation System
<b>DENM</b>	Decentralized Environmental Notification Message
<b>DSRC</b>	Dedicated Short-Range Communications
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>GNSS</b>	Global navigation satellite system
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>ITS</b>	Intelligent Transportation System
<b>IVI</b>	In-Vehicle Information
<b>IZS</b>	Integrovaný záchranný systém
<b>LTE</b>	Long-Term Evolution
<b>MAP</b>	MapData
<b>MHD</b>	Mestská hromadná doprava
<b>OBU</b>	On-Board Unit
<b>PKI</b>	Public Key Infrastructure
<b>RSU</b>	Road side Unit
<b>SPAT</b>	Signal Phase And Timing
<b>SRM</b>	Signal Request Message
<b>SSM</b>	Synchronization status messages
<b>TTCN-3</b>	Testing and Test Control Notation version 3
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>V2I</b>	vehicle-to-infrastructure
<b>V2V</b>	Vehicle-to-vehicle
<b>V2X</b>	vehicle-to-everything

# Zoznam príloh

A	Stromová štruktúra testovacieho programu	64
B	Vývojový diagram testovacieho programu	65
C	Tabuľka hľadaných hodnôt pre konkrétny parameter	66
D	Tabuľka vypočítaných intervalov pre referenčný súbor	68
E	Obsah elektronickej prílohy	69

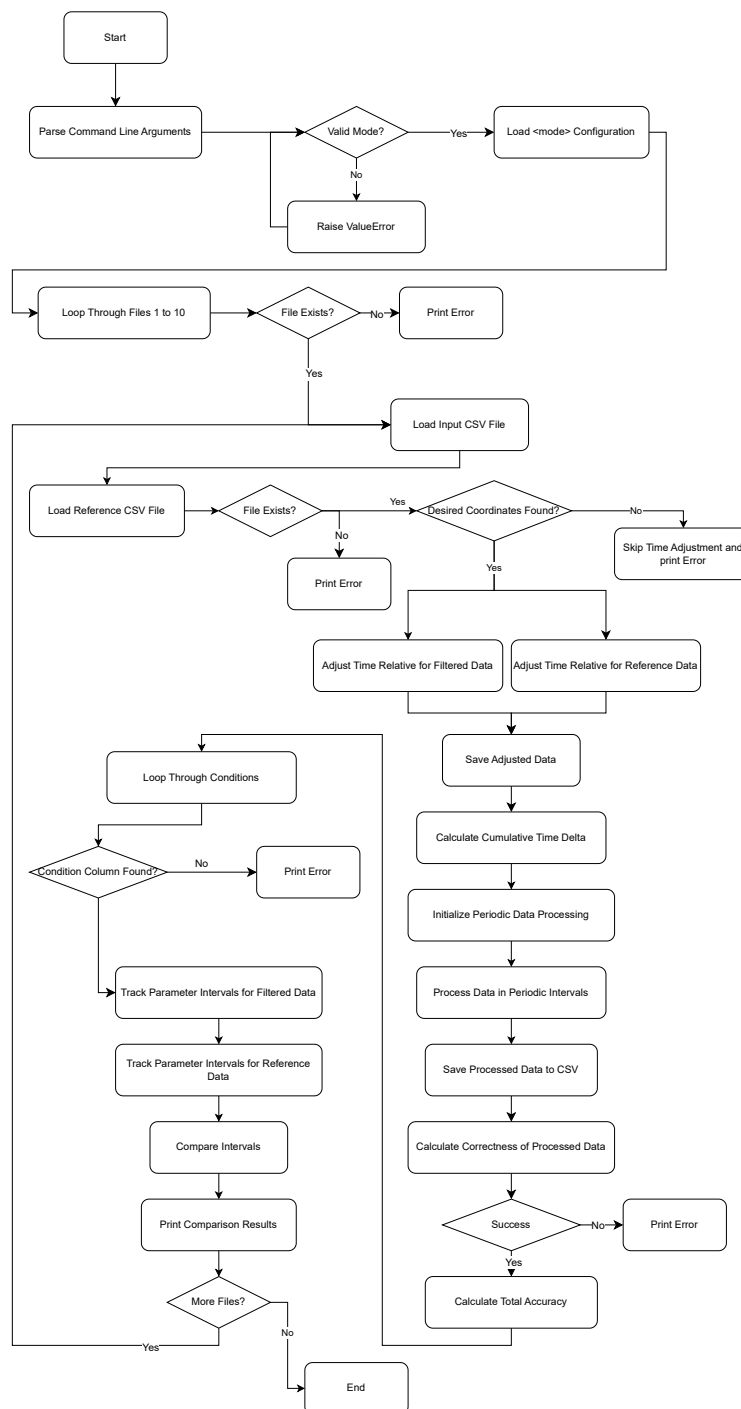
## A Stromová štruktúra testovacieho programu



Obr. A.1: Stromový diagram zobrazujúci hierarchiu hlavných komponentov programu, vrátane modulov pre analýzu dát, spracovanie argumentov, konfiguráciu režimu a tlač farbeného textu.



## B Vývojový diagram testovacieho programu



Obr. B.1: Vývojový diagram znázorňuje tok programu na analýzu správania vozidiel, vrátane spracovania vstupných argumentov, CSV súborov, výpočtu správnosti údajov a porovnávania intervalov s referenčnými údajmi.

## C Tabulka hľadaných hodnôt pre konkrétny parameter

### PT - Public Transport

Stĺpec	Hodnoty	Maximálna medzera
cam.embarkationStatus	1	10
cam.vehicleRole	1, 0	10
cam.stationType	11	10
its.vehicleLengthValue	125	10
cam.vehicleWidth	20	10
its.speedValue	0	5
its.causeCode	94, 97	10
denm.termination	0	10
denm.relevanceDistance	3	10
denm.relevanceTrafficDirection	0	10
denm.validityDuration	20	10
denm.stationType	11	10
its.subCauseCode	4	10
denm.traces	7	10
denm.stationarySince	0	10
dsrc.approach	13, 11	10
dsrc.requestID	0, 1, 4, 16, 128	10
dsrc.role	1	10
dsrc.requestType	3	10
dsrc.subrole	2	10
dsrc.signalStatusPackage.status	1	10
dsrc.request	0, 1, 4, 16, 128	10

Tab. C.1: Prehľad hodnôt stĺpcov a ich maximálnych medzier pre verejnú dopravu (PT). Maximálna medzera značí koľko času v sekundách môže byť hodnota prázdna alebo iná aby sme ukončili interval

## EMERG - Emergency Vehicles

Stĺpec	Hodnoty	Maximálna medzera
its.LightBarSirenInUse.lightBarActivated	1	10
its.LightBarSirenInUse.sirenActivated	1	10
its.causeCode	95	10
its.subCauseCode	1	10
its.EmergencyPriority.requestForRightOfWay	1	10
its.EmergencyPriority.requestForFreeCrossingAtATrafficLight	1	10
cam.pathHistory	23	10
cam.vehicleRole	6	10

Tab. C.2: Prehľad hodnôt stĺpcov a ich maximálnych medzier pre núdzové vozidlá (EMERG). Maximálna medzera značí kolko času v sekundách môže byť hodnota prázdna alebo iná aby sme ukončili interval

## D Tabuľka vypočítaných intervalov pre referenčný súbor

Tab. D.1: Počet intervalov pre každý stĺpec podľa ID správy

ID správy	Názov stĺpca	Počet intervalov
1	its.causeCode	26
1	denm.termination	27
1	denm.relevanceDistance	15
1	denm.relevanceTrafficDirection	26
1	denm.validityDuration	26
1	denm.stationType	26
1	its.subCauseCode	25
1	denm.traces	14
1	denm.stationarySince	26
2	cam.embarkationStatus	25
2	its.vehicleLengthValue	1
2	cam.vehicleWidth	1
2	its.speedValue	27
2	cam.vehicleRole	3
2	cam.stationType	1
9	dsrc.approach	1
9	dsrc.requestID	30
9	dsrc.role	0
9	dsrc.requestType	7
9	dsrc.subrole	0
10	dsrc.approach	2
10	dsrc.subrole	5
10	dsrc.signalStatusPackage.status	5
10	dsrc.request	13

## E Obsah elektronickej prílohy

```
/.....koreňový adresár priloženého archívu
├── Modules.....moduly používané v hlavnom programe
│   ├── __init__.py
│   ├── ArgumentParser.py
│   ├── ColorPrinter.py
│   ├── CoordinateAdjuster.py
│   ├── DataProcessor.py
│   ├── FileColumnConfigurator.py
│   ├── IntervalTracker.py
│   └── ModeConfigurator.py
├── CITStest.py.....hlavný program spracovania dat z testovanej jednotky
├── skript_tshark.py.....skript pre vytvorenie csv z testovaného súboru pcap
├── reference.....Obsahuje referenčné csv súbory
├── input.....Obsahuje súbory vytvorené skriptom z pcapu
└── output.....Obsahuje súbory vytvorené hlavným programom
```