

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH KOMUNIKACE MEZI POHYBUJÍCÍMI SE VOZIDLY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARIÁN KLAMPÁR

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Marian Klampar

ID: 83644

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Návrh komunikace mezi pohybujícími se vozidly

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Věnujte se problematice komunikace mezi pohybujícími se vozidly se zaměřením na možnosti zabránění srážky těchto vozidel. Analyzujte a popište komunikaci mezi vozidly, protokoly pro přenos dat a otázky zabezpečení. Minimalizujte čas přenosu informací mezi vozidly. Na podkladě získaných poznatků navrhnete v simulačním prostředí komunikaci mezi pohybujícími se vozidly.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] SAYRE, J. and COTTER, W. Complete wireless design. McGraw-Hill, New York 2001.
- [2] FRENZEL, E. L. Principles of Electronic Communication Systems. McGraw Hill, New York 2000.
- [3] HANUS, S. a FENCL, J. a STENCEL, V. Bezdrátové a mobilní komunikace. VUT, Brno 2007

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 26.5.2010

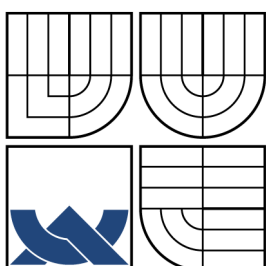
Vedoucí práce: doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

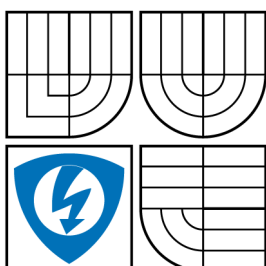
Předseda oborové rady

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.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH KOMUNIKACE MEZI POHYBUJÍCÍMI SE VOZIDLY

DESIGN OF COMMUNICATION SYSTEM AMONG MOVING VEHICLES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARIÁN KLAMPÁR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

BRNO 2010

Abstrakt

Účelem práce je přiblížení možnosti vzájemné interakce mezi vozidly v běžné dopravě a objasnění nových přístupů v komunikaci za účelem zvýšení bezpečnosti a plynulosti jízdy vozidel. Práce současně poukazuje na nedostatky v oblasti komunikace. Cílem práce je celková analýza existujících technologií a návrh protokolu pro datový přenos se zaměřením na minimalizaci času při předávání informací. Součástí návrhu je simulace komunikace na základě získaných informací.

Abstract

The purpose of this thesis is to show up possibilities of inter-vehicle communication and to introduce new approaches in communication for the purpose of enhancing the security and the fluency of vehicle transportation. This thesis also highlights vulnerabilities in communication. The main goal is the analysis of existing technology and the design of protocol for data transfer with focus on minimizing handover time of information. Part of the design is a simulation of communication based on acquired information.

Klíčové slová

GSM, UMTS, Bluetooth, 802.11p, WAVE, DSRC, WiMax, GPS, WLAN, Bezpečnost, Rychlost, Zrýchlenie, V2V, V2X, NCTUns

Keywords

GSM, UMTS, Bluetooth, 802.11p, WAVE, DSRC, WiMax, GPS, WLAN, Security, Speed, Acceleration, V2V, V2X, NCTUns

Citácia

Marián Klampár: Návrh komunikace mezi pohybujícími se vozidly, diplomová práce, Brno, FEKT VUT v Brně, 2010

Návrh komunikace mezi pohybujícími se vozidly

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Doc. Ing. Vladislava Škorpila, CSc.

.....
Marián Klampár
21. mája 2010

Podakovanie

Chcem poďakovať Doc. Ing. Vladislavovi Škorpilovi, CSc. za odbornú pomoc a vedenie tejto práce. Taktiež by som rád poďakoval Doc. Ing. Jurajovi Micekovi, PhD. a Katrin Sjöberg Bilstrup Ph.D. za technické usmernenie pri komunikácii V2V cez 802.11p.

© Marián Klampár, 2010.

Táto práca vznikla ako školské dielo na Vysokom učení technickom v Brne, Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií. Práca je chránená autorským zákonom a jej použitie bez udelenia oprávnenia autorom je nezákonné, s výnimkou zákonom definovaných prípadov.

Obsah

1	Úvod	6
1.1	Obsah a ciele práce	7
1.2	Štruktúra práce	7
2	Možnosti komunikácie	8
2.1	Rádiová	8
2.2	GSM	9
2.3	UMTS	11
2.4	ZigBee	12
2.5	WiMax	14
2.6	802.11p	15
2.6.1	WAVE	18
2.7	Záver	22
3	Analýza komunikácie medzi vozidlami	23
3.1	Aplikovateľné technológie	23
3.1.1	Vlastnosti	24
3.2	Parametre prenosu	24
3.3	Parametre zariadení	25
3.4	Záver	26
4	Dátový prenos	28
4.1	Aplikovateľné protokoly	28
4.1.1	Vlastnosti	29
4.1.2	Porovnanie existujúcich protokolov	29
4.2	Zabezpečenie	30
4.2.1	Nezabezpečený variant	30
4.2.2	Zabezpečený variant	31
4.2.3	Autorizácia	31
4.3	Čas prenosu	33
4.4	Záver	34
5	Lokalizácia vozidla	35
5.1	Možnosti lokalizácie	35
5.1.1	Rádiová lokalizácia	35
5.1.2	GPS	36
5.2	Lokalizácia pomocou bezdrôtových sietí	37
5.2.1	GSM	37
5.2.2	WLAN	38

5.3	Záver	39
6	Dôležité parametre systému	40
6.1	Stanovenie vzdialenosti	40
6.2	Rýchlosť	42
6.3	Zrýchlenie	42
6.4	Stanovenie miesta stretnutia	42
6.5	Výpočet bezpečného predbiehania	43
6.6	Záver	44
7	Budúcnosť a rozšírenie komunikácie V2V	45
7.1	Rozšírenie systému	45
7.2	Budúcnosť	46
7.3	Výskum	46
7.4	Záver	46
8	Simulácia	47
8.1	Návrh simulácie	47
8.2	Simulácia	47
8.3	Zhodnotenie simulácie	53
9	Záver	57
9.1	Zhodnotenie	57
9.2	Vlastný prínos	57
9.3	Rozšírenie projektu	58
A	Zoznam Symbolov, Velicin a Skratiek	61
B	Štúdia spoločnosti BMW	65
C	Mapa pre súradnicovú rádio lokalizáciu	67
D	CD-DVD Obsah	68

Zoznam obrázkov

2.1	Architektúra systému GSM[14]	11
2.2	Pokrytie GPRS a 3G v CR[18]	11
2.3	Závislosť prenosovej rýchlosti signálu na rýchlosti pohybu MS pre rôzne mobilné systémy [10]	12
2.4	Senzorový modul radu Waspnote[23]	13
2.5	Nová generácia štruktúry bezdrôtových sietí	14
2.6	Spojenie OBU so Sieťou vozidla. [17]	17
2.7	RSU komunikácia s OBU	19
2.8	Základná servisná zostava s RSU a OBU	19
2.9	Základná servisná zostava len s OBU	20
2.10	Spojenie OBU s Veľká Oblastná Sieť (WAN)	21
2.11	BSS pripojenie na dosku počítača prostredníctvom WAN a ITS aplikácie	21
2.12	Pripojenie k vzdialenej ITS aplikácii na palubný systém	22
4.1	Štruktúra protokolu na zabezpečenie bezpečného predbiehania	29
4.2	Protokolová sada WAVE [28]	30
4.3	Frekvenčné pásmo vyčlenené pre komunikáciu V2I [11]	31
4.4	WAVE naviazanie [17]	33
5.1	Mapa pre súradnicovú rádio lokalizáciu[8]	36
5.2	Sektorizácia siete GSM	38
6.1	Štruktúra komunikácie medzi V2V a stanovenie vzdialenosti.	41
6.2	Animácia s protismerom	43
6.3	Animácia bez protismeru	44
8.1	Pracovná plocha NCTUns po spustení programu	48
8.2	Výpis terminálov po spustení Dispatcher a Coordinator	48
8.3	Simulácia V2V prvá časť	49
8.4	Ukážka komunikácie medzi OBU a RSU až na ITS	49
8.5	Ukážka komunikácia s RSU	50
8.6	Ukážka spätnej komunikácie s tromi OBU	51
8.7	Ukážka komunikácie so sto vozidlami a možná chyba	51
8.8	Porovnanie celkovej priepustnosti s OBU	53
8.9	Celková priepustnosť so 100 OBU	54
8.10	Zahadzovanie paketov v OBU	54
8.11	Porovnanie Unicast s OBU	55
8.12	Oneskorenie v OBU pri jednom vozidle	55
8.13	Oneskorenie v OBU pri troch vozidlách	56
8.14	Oneskorenie v OBU pri stovke vozidiel	56

C.1 Mapa lokátorov [2] 67

Zoznam tabuliek

2.1	Prenosová rýchlosť štandard 802.16 v pásme od 10 – 66 GHz	15
3.1	Porovnanie protokolu 802.11p a 802.11a	24
3.2	Porovnanie protokolov	25
3.3	Základné elektrické parametre cestných komunikačných jednotiek RSU[11] . .	25
3.4	Základné elektrické parametre cestných komunikačných jednotiek RSU[11] . .	26
3.5	Základné elektrické parametre „eWAVE” cestných komunikačných jednotiek OBU a RSU [11]	27
3.6	Základné elektrické parametre cestných komunikačných jednotiek OBU[11] . .	27

Kapitola 1

Úvod

Komunikácia je pre človeka veľmi dôležitá. Nie iba ako sociálny aspekt, ale človek používa komunikáciu ako prostriedok interakcie s okolím. Ľudia sa na základe pohybov a reči tela dokážu skrytým spôsobom vzájomne dohodnúť a vyhnúť sa prípadnej zrážke. Vo veľkých davoch je dokonca možné rozpoznať vzorce chovania, ktoré zabraňujú vzniku zápchy a udržujú dav v plynulom pohybe. Tieto poznatky sa s použitím modernej technológie z rôznych oblastí snažia vedci aplikovať na komplexnejšie systémy, ktoré nie je možné viesť centralizovaným spôsobom. Jednou z aplikácií týchto poznatkov v spojení s modernými technológiami na komunikáciu je systém vzájomnej interakcie vozidiel na zlepšenie a podporu plynulosti cestnej premávky.

Samotná komunikácia medzi vozidlami by mala priniesť zlepšenie prehľadu vodiča na ceste, lepšiu interakciu vozidla s okolím a s ostatnými účastníkmi premávky a hlavne zníženie nehodovosti predikciou prípadných zrážok.[3]

Jednou z motivácií tejto práce je súčasná situácia cestnej dopravy v Európskej únii. Celkový počet registrovaných vodičov v členských štátoch Európskej únie je približne 300 miliónov a za posledných 30 rokov sa intenzita premávky strojnásobila. Pri automobilových nehodách na európskych cestách zahynie približne 40 000 a zraní sa asi 1.7 milióna ľudí ročne a poisťovacie spoločnosti vyčíslujú ročné straty, ktoré vzniknú v dôsledku dopravných nehôd na hodnotu 200 mld. € a dôsledkom vzniknutých zápch a komplikácií v doprave na 50 mld. €. Už dnes sa predpokladá, že do roku 2020 sa zvýšia požiadavky na individuálnu prepravu o 32% [4].

Na základe predchádzajúcich faktov sa Európske spoločenstvo rozhodlo zaviazat členské krajiny realizovať opatrenia, ktoré by viedli k zníženiu počtu nehôd so smrteľnými následkami do roku 2010 na polovicu oproti roku 2001. Výhľadovo sa predpokladá, že redukcia počtu smrteľných dopravných nehôd by mala pokračovať do roku 2020, s cieľom znížiť ich počet o 75%. Podľa súčasných štatistík je 93% dopravných nehôd spôsobených chybou človeka [5]. Na základe týchto tvrdení je možné konštatovať že bez radikálneho opatrenia nebude možné uvedené záväzky splniť. Preto je v siedmom rámcovom programe pre rok 2007 až 2013 vyčlenených 4,1 mld. € na výskum v oblasti dopravy. Tento výskum nakoniec vyústil do vytvorenia prvého komunikačného systému V2X¹

V tejto práci je navrhnutý systém, ktorého účelom je zvýšenie bezpečnosti a plynulosti cestnej premávky na základe vzájomnej komunikácie medzi vozidlami (V2V²).

¹Vehicle To Infrastructure communication – komunikácia vozidla s infraštruktúrou - dopravnou centrálou tiež byva označovaná V2I.

²short for Vehicle To Vehicle – komunikácie vozidla s vozidlom na krátku vzdialenosť.

1.1 Obsah a ciele práce

Cielom tejto práce je navrhnuť systém na komunikáciu vozidiel v cestnej premávke s dôrazom na minimalizáciu časového intervalu a bezpečnosť prenášaných informácií. Prvé kapitoly práce sú venované teoretickému rozboru problematiky vzájomnej komunikácie pohybujúcich sa vozidiel, existujúcim technológiám bezdrôtovej komunikácie a ich uplatneniu v navrhovanom systéme. Ďalej sa práca zameriava na analýzu sieťových protokolov so zameraním na ich bezpečnosť a minimalizáciu časového prenosu dát. Samostatná kapitola je venovaná metódam lokalizácie pohybujúcich sa vozidiel, ktorá bude v systéme uplatnená na výpočet ich jazdnej dráhy. Praktická časť práce sa venuje simulácii navrhnutého systému, popisu jednotlivých častí simulácie a jej vlastnému priebehu.

1.2 Štruktúra práce

Štruktúra práce sa člení na nasledujúcich osem kapitol.

Kapitola 2 - Stručný popis vybraných technológií na komunikáciu medzi vozidlami.

Kapitola 3 - Spracovanie technológií a zariadení, analýza jednotlivých komunikačných technológií, v závere je sumarizácia výhod s ohľadom na komunikáciu medzi pohybujúcimi sa vozidlami.

Kapitola 4 - Popis protokolov so stručnou analýzou, zabezpečenie komunikácie a popis času prenosov.

Kapitola 5 - Popis metód lokalizácie vozidla, s prioritou zabezpečenia a času, v závere s patričným zhodnotením.

Kapitola 6 - Stanovenie vzdialenosti a výpočet stretu pre určenie bezpečného predbiehania vozidiel.

Kapitola 7 - Rozbor nadstavby systému s výskumom.

Kapitola 8 - Popis simulácie v prostredí NCTUns³ a popis jednotlivých častí s priebehmi.

Kapitola 9 - Záver a popis práce so zhodnotením prínosu a s možnosťami ďalšieho rozšírenia. V závere je taktiež podaná predstava o budúcnosti práce.

³simulačný nástroj na simuláciu drôtových i bezdrôtových sietí

Kapitola 2

Možnosti komunikácie

Možnosťami komunikácie chápeme, aké technológie sme schopní využiť pri komunikácii medzi vozidlami. Samotnou komunikáciou medzi vozidlami sa začali vedci zaoberať už veľmi dávno, ale keďže technológie neboli na dostatočne vyspelej úrovni a boli finančne nedostupné, čakalo sa s návrhom na vhodnejšie a dostupnejšie technológie. V súčasnosti je škála technológií na bezdrôtovú komunikáciu veľmi široká a detailnejší opis každej technológie by bol nad rámec tejto práce. Preto je priestor v práci venovaný hlavne technológiám, ktorých výhody sú pre navrhovaný systém kľúčové. V nasledujúcich kapitolách sa venujem aj starším a už menej používaným technológiám, ale nakoľko moje prvotné návrhy vychádzali z nich, považoval som za vhodné ich v krátkosti spomenúť.

2.1 Rádiová

Jednou s možných technológií ktorú možno využiť pri komunikácii vozidiel je technológia rádiová. Princípom je komunikácia pri ktorej vozidlo V1 zašle do svojho okolia informácie o svojej rýchlosti na určitej frekvencii. Iné vozidlo, označené ako V2, spätne vyšle informáciu o svojej rýchlosti. Pomocou vzdialenosti vozidiel a ich rýchlosti budeme schopní určiť miesto stretnutia vozidiel. Avšak táto technológia nám neposkytuje možnosť presne určiť polohu vozidla na to, aby sme mohli určiť vzdialenosti medzi jednotlivými vozidlami. Tento problém sa dá jednoducho odstrániť pomocou technológie GPS¹. GPS je podrobnejšie rozobraná v kapitole 5.1.2.

Výhodou rádiovkej technológie i dôvodom jej zaradenia do práce je cena zariadení a dostupnosť pre širokú verejnosť. Každé vozidlo musí byť vybavené rádiovým transiverom (poprípade samostatným prijímačom a vysielačom), ktorý pracuje na špecifickej vlnovej dĺžke a to buď na veľmi krátkych vlnách (VKV), krátkych vlnách (KV), stredných vlnách (SV) alebo dlhých vlnách (DV). Každá z týchto vlnových dĺžok ma špecifické vlastnosti. Kratsie vlny majú väčšiu dátovú priepustnosť, avšak ich šírenie je priamočiare, takže horšie prechádzajú cez pevné materiály. Dlhšie vlny majú zase lepšiu priepustnosť cez pevné materiály, avšak ide o menší kmitočet, takže majú i malú dátovú priepustnosť, čo ale v našom prípade postačuje. Najvhodnejšie z možností sa javí použitie VKV s frekvenčne modulovaným (FM) signálom. Táto možnosť patrí medzi najrozšírenejšie a najlacnejšie na vytvorenie zariadenia, ktoré by bolo dostupné širokej verejnosti. Prvotným zámerom bolo použitie občianskeho pásma (ďalej označovaného CB z anglického Citizen Banded), ktoré je určené predovšetkým pre komunikáciu rádioamatérov. Pásmo je v okolí 27 MHz kde, sa môžu používať len homologované zariadenia, ktorých technickú kvalitu a povolené parametre ove-

¹Global Positioning System – celosvetový pozičný systém na stanovenie polohy.

ril Český alebo Slovenský telekomunikačný úrad. Vysielanie nie je obmedzené pri splnení ustanovenia tzv. “Generálnych povolaní“. Inou možnosťou je použiť jedno z kmitočtových pásiem 30, 40, 70, 150 alebo 450 MHz. Tieto pásma podliehajú ďalším nariadeniam, ktoré by bolo nutné splniť [2].

Aplikovanie tejto technológie do komunikácie medzi vozidlami sa zdalo byť z počiatku veľmi vhodné, nakoľko cena zariadení je nízka a dostupnosť signálu je takmer na celom území Českej i Slovenskej republiky. Problémy spomínané vyššie, ako je využívanie platených frekvenčných pásiem alebo frekvencií CB, sú jednou s prekážok, prečo sa treba poobhliadnuť za inou technológiou.

Inou možnosťou z rádiových technológií je použitie existujúcej GSM² siete, jej nasledovníkov (UMTS³ a WiMax⁴). Tieto technológie sú v nasledujúcich kapitolách podrobnejšie rozobraté.

2.2 GSM

GSM (Global System for Mobile communications, pôvodne Groupe Special Mobile) je globálny systém pre mobilnú komunikáciu. Tento štandard patrí medzi najrozšírenejšie štandardy pre mobilné stanice na svete. Štatistiky uvádzajú použitie GSM štandardu na 82% z celosvetového trhu mobilných staníc [10]. GSM patrí medzi systémy druhej generácie, ktoré sú už plne digitálne. V rokoch 1991 bola vydaná prvá podoba tohto štandardu „GSM – Phase 1“. Najskôr bol využívaný len na prenos hovorových signálov, avšak v súčasnej dobe sa už vo veľkej miere využíva tiež k prenosu dátových signálov (obrázokov, e-mailov a iných dát). Vďaka jeho flexibilitě boli postupne doňho vkladané nové technológie (HSCSD⁵, GPRS⁶ a ďalšie), preto sa jeho použitie rozšírilo i mimo Európu.

V súčasnej dobe sa jeho vývoj dostal do druhej fázy a počíta sa s jeho ďalším vylepšením a neskôr prechodom na systémy tretej generácie UMTS (Universal Mobile Telecommunication System – univerzálny mobilný telekomunikačný systém).

Keďže je systém GSM oproti NMT digitálny, dokáže tento systém naviazať dokonalejšie spojenie i v nepriaznivých podmienkach. Jednou z ďalších výhod v pozemnej rádiovkej komunikácii je efektívnejšie využitie pridelenia kmitočtového pásma a odpočúvanie je prakticky nemožné. Prenos v digitálnej forme značne umožnil rozšíriť ponuku poskytovaných služieb a dosiahnuť tým kompatibilitu s inými digitálnymi sieťami a to nielen v rámci krajín, ale v rámci celého sveta. Primárny systém GSM, označovaný PGSM (Primary GSM) alebo GSM 900, má pridelené kmitočtové pásmo 890 MHz až 960 MHz rozdelené na dve časti. Pre spojenie mobilnej stanice MS (Mobile Station) – základňová rádiová stanica BTS (Base Transceiver Station), tzv. uplink, je vyhradené pásmo 890 MHz až 915 MHz. Pre spojenie BTS – MS, tzv. downlink, je vyhradené pásmo 935 MHz až 960 MHz. Je teda použitý prístup FDMA a kmitočtový duplex FDD. Systém GSM je navrhnutý tak, aby nebol autonómny a uzavretý, ale aby umožňoval prístup i do iných sietí. Systém sa dá rozdeliť na tri základné subsystémy (viď obr. 2.1):

²Globálny Systém Mobilnej komunikácie – je nástupca NMT a slúži na mobilnú komunikáciu medzi osobami a je najpopulárnejší štandard pre mobilné telefóny na svete.

³Universal Mobile Telecommunication System – je 3G systém štandardu mobilných telefónov, UMTS bol koncipovaný ako nástupca systému GSM.

⁴Worldwide Interoperability for Microwave Access – je stále sa vyvíjajúca bezdrôtová technológia, WiMAX je definovaná v rade noriem IEEE 802.16.

⁵High Speed Circuit Switched Data – je technológia rýchlych dátových prenosov, vychádza s CSD, čo je základným typom dátového spojenia.

⁶General Packet Radio Services – je mobilná dátová služba paketového prenosu, odlišná od CSD, určená pre GSM.

- Subsystem základňových staníc BSS (Base Station Sub-System) alebo rádiový subsystem s ktorým prostredníctvom rádiového rozhrania Um priamo komunikuje mobilná stanica MS (Mobile Stations).
- Sieťový a prepojovací subsystem NSS (Network and Switching Subsystem) označovaný niekedy ako rádiotelefontné ústredne s rozšírenými aplikáciami a funkciami.
- Operačný subsystem OSS (Operation Support Subsystem) zaisťuje servis a koordinuje funkciu celého systému (prevádzka, údržba, opravy porúch).

Pri plnení základných funkcií kooperuje systém GSM s tromi externými zložkami:

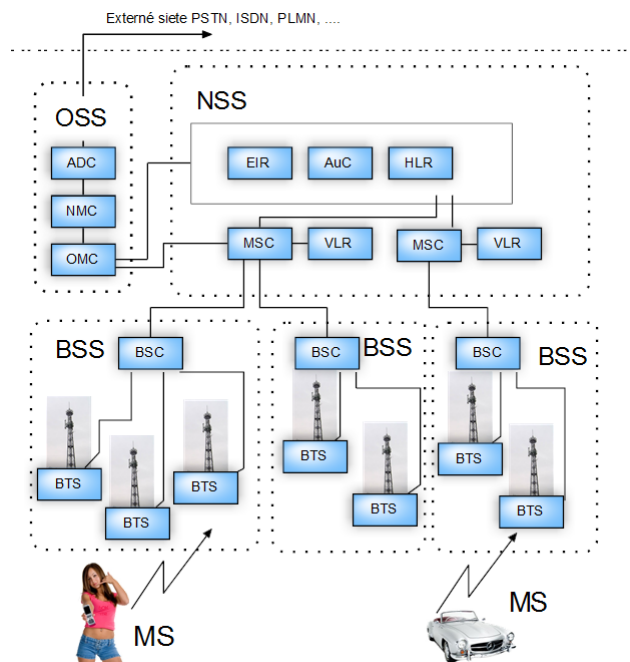
- užívatelia systému so svojimi mobilnými stanicami,
- operátori, čo sú spoločnosti angažujúce sa v oblasti telekomunikácií, ktoré riadia systém z hľadiska finančného, ekonomického a čiastočne i prevádzkového (účtujú služby, evidencie, tarifovanie, vydávajú SIM karty, atd.),
- externá telekomunikačná sieť, predovšetkým verejnú komutované telefónne siete PSTN (Public Switching Telecommunication Network), digitálne siete ISDN (Integrated Services Digital Network), verejnú dátovú sieť, atd.

Medzi jednotlivými časťami systému sú presne definované rozhrania. Medzi MS a BTS je tzv. rádiové rozhranie označované Um, jeho popis bol uvedený v predchádzajúcom texte. Medzi základňovou stanicou BTS a riadiacou jednotkou BSC je tzv. rozhranie A – bis. Tu má signál prenosovú rýchlosť 16 kbit/s. Signál s touto rýchlosťou vznikne z hovorového signálu s rýchlosťou 13 kbit/s alebo z dátových signálov s nižšími rýchlosťami, pridaním ďalších signalizačných a synchronizačných bitov pre rozlíšenie prenosu hovoru alebo dát.

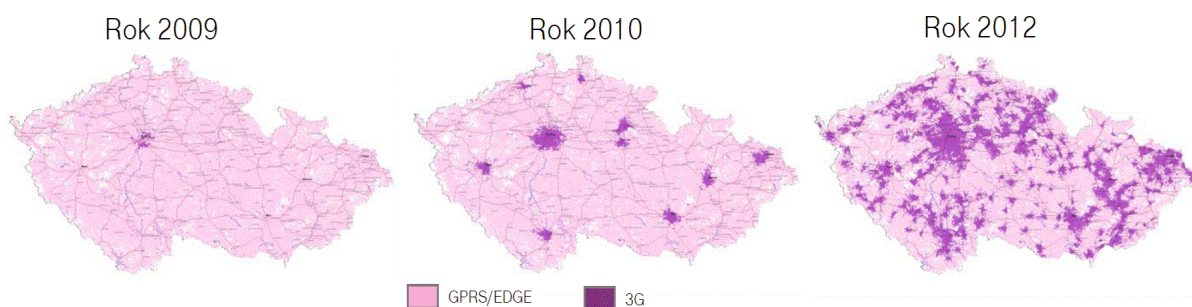
Na obrázku je možné vidieť štyri hlavné oblasti: OSS, NSS, BSS a MS. OSS obsahuje administratívne centrum – ADC (Administrative Centre), ktoré je napájané na centrum manažmentu siete – NMC (Network Management Centre) a odtiaľ na prevádzkové a servisné centrum – OMC (Operational and Maintenance Centre). NSS obsahuje veľkú oblasť, v ktorej je register mobilných staníc – EIR (Equipment Identity Register), centrum autentičnosti – AuC (Authentication Centre) a domovský lokálny register – HLR (Home Location Register). Z tejto oblasti to vedie na mobilnú rádiotelefontnú ústredňu – MSC (Mobile Switching Centre), odtiaľ na návštevnický lokálny register – VLR (Visitor Location Register) a odtiaľ do BSS, ktoré obsahuje základňovú riadiacu jednotku – BSC (Base Station Controller), odtiaľ už na základňovú rádiovú stanicu – BTS (Base Transceiver Station) a odtiaľ ide priamo na mobilnú stanicu – MS. Každá MS má medzinárodné identifikačné číslo registrované v MS – IMEI (International Mobile Equipment Identity).

Na výstupe riadiacej jednotky BSC býva zapojená jednotka prevodu kódov – TRAU (Transcoder and Rate Adaptor Unit), ktorá mení prenosovú rýchlosť signálu na hodnotu 64 kbit/s, ktorá je nutná pre komunikáciu medzi riadiacou jednotkou BSC a mobilnou ústredňou MSC na rozhraní A. Jednotka TRAU môže byť tiež použitá k zlúčeniu (multiplexovanie) štyroch signálov s rýchlosťami 16 kbit/s do výsledného signálu s rýchlosťou 64 kbit/s. Na rozhraní A sa používa signalizačný systém SS7. Ten využíva zvláštne kanály pre prenos signalizačných signálov a podporuje komunikáciu nielen medzi BSS a MSC, ale i cez sieťové informácie medzi MS a MSC.

Táto technológia má veľmi veľké pokrytie (niečo nad 90% územia ČR) a je vhodná najmä preto, že odpadajú počiatočné náklady na výstavbu infraštruktúry (viď obr.2.2). Využitie GSM na komunikáciu medzi vozidlami by bolo len malou nadstavbou už existujúcej technológie. Na prenos informačného toku by sa použila časť nazývaná GPRS, ktorá v súčasnosti slúži na prenos dát.



Obrázok 2.1: Architektúra systému GSM[14]



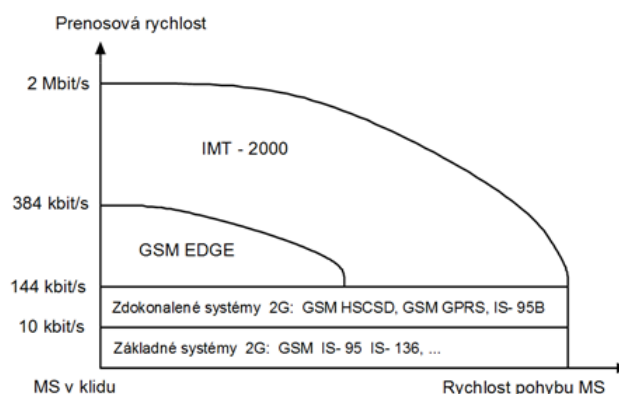
Obrázok 2.2: Pokrytie GPRS a 3G v CR[18]

2.3 UMTS

Vo vývojovej rade mobilných rádiokomunikačných systémov je univerzálny mobilný telekomunikačný systém UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Svojím zariadením patrí medzi systémy tretej generácie 3G, jej pokrytie je na obr. 2.2. Na jeho vývoji sa v Európe pracuje asi od roku 1990 a vývojové práce koordinuje Európsky telekomunikačný inštitút ETSI. Súbežne s týmto systémom je v Európe vyvíjaný i mobilný širokopásmový systém MBS (Mobile Broadband System). Na celosvetovej úrovni riadi vývojové práce na systémoch tretej generácie Medzinárodná telekomunikačná únia (ITU), pod jej dohľadom je vyvíjaný pozemný mobilný telekomunikačný systém FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System). Súhrnne sa uvedené systémy označujú skratkou IMT-2000 (International Mobile Telecommunication in the year 2000). Musia spĺňať spoločné doporučenia a v praxi budú preto kompatibilné. Systém UMTS sa často označuje tiež symbolom IMT-2000/UMTS, ktorý zdôrazňuje jeho príslušnosť k skupine IMT-2000. Systém IMT-2000 je definovaný ako otvorený „zastrešujúci“ medzinárodný štandard pre mobilné telekomunikačné systémy s vysokou kapacitou a vysokou prenosovou rýchlosťou, zahrňujú-

ci v sebe pozemné i družicové rádiové komunikačné prostriedky a spolupracujúce pozemné pevné siete.

Požiadavky na systém UMTS, podobne ako na ostatných systémoch tretej generácie, sa s postupom času vyvíjali a boli dopĺňané. Na rozdiel od systémov druhej generácie, určených predovšetkým pre prenos hovorových signálov a dátových signálov s nízkou prenosovou rýchlosťou, umožní systém UMTS prenos dát so zvýšenou rýchlosťou a bude orientovaná na multimediálne aplikácie. Prenos hovorových signálov by mal byť rovnako kvalitný ako v pevnej telefónnej sieti. Rýchlosť prenosu dátových signálov bude premenná v závislosti na rýchlosti pohybu mobilnej stanice. V nepriaznivých podmienkach rádiového prostredia, kde je rýchlosť MS niekoľko stoviek km/hod., bude prenosová rýchlosť signálu minimálne 144 kbit/s. Pri pomalom pohybe MS (chôdza) bude prenosová rýchlosť minimálne 384 kbit/s a v prípade, kedy MS bude v klude alebo v dosahu jednej pikobunky, stúpne prenosová rýchlosť až na 2 Mbit/s. Závislosť prenosovej rýchlosti signálu na rýchlosti pohybu MS je pre rôzne systémy prehľadne znázornená na (obr. 2.3). Systém bude podporovať spojovanie s rýchlym paketovým prenosom dát, napríklad bezdrôtový prístup k sieti Internet, ale i sprejovanie s prepínaním okruhov. V niektorých aplikáciách bude prenos výrazne asymetrický, tj. prenosová rýchlosť signálu v jednom smere (väčšinou downlink) bude výrazne vyššia než prenosová rýchlosť signálu v smere opačnom.



Obrázok 2.3: Závislosť prenosovej rýchlosti signálu na rýchlosti pohybu MS pre rôzne mobilné systémy [10]

S tým súvisí i princíp prídelenia šírky pásma podľa potreby (bandwidth on demand), ktorý výrazne zvýši efektivitu využitia kmitočtového pásma [10].

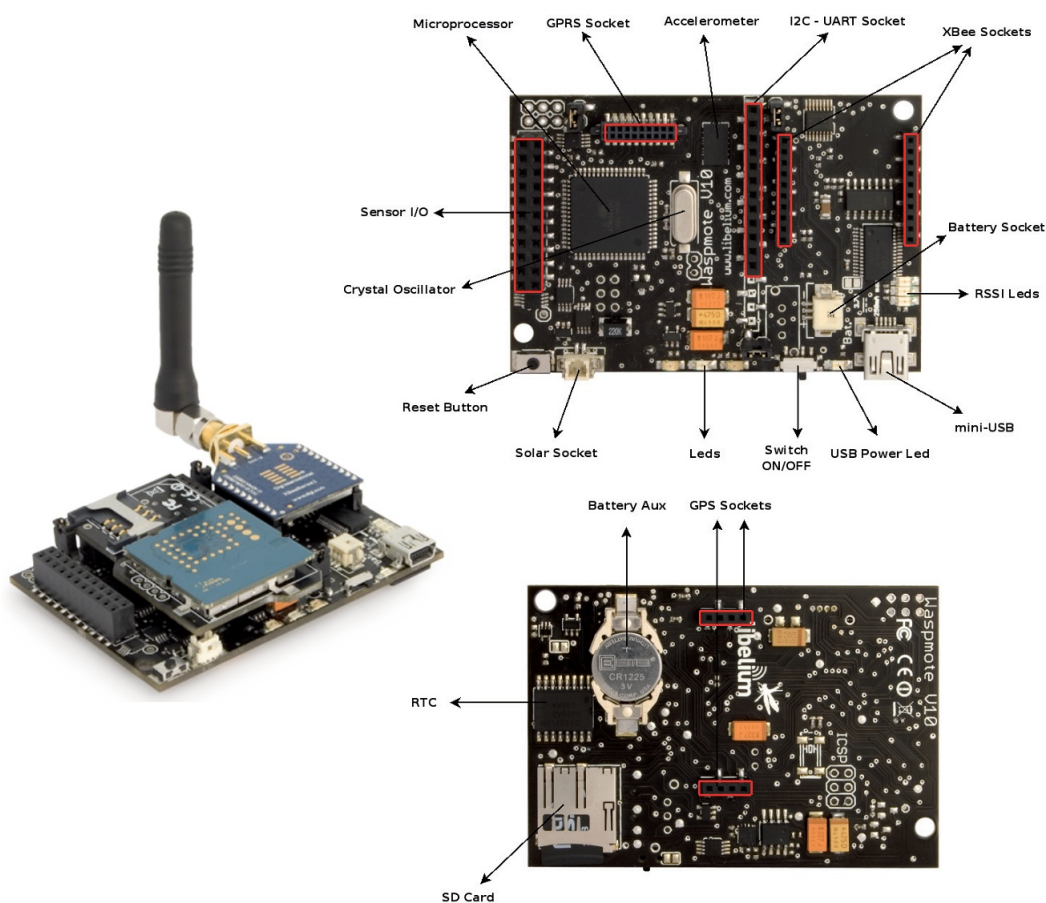
Použitie UMTS pri komunikácii medzi vozidlami je veľmi podobné ako pri princípe GSM, nakoľko táto technológia sa rozširuje a nahrádza GSM. Dá sa predpokladať, že ju nahradí, ako GSM v minulosti nahradila NMT. Hlavnou výhodou sú dosahované vyššie rýchlosti prenosu, čo sa dá využiť pri nadstavbe a presune väčšieho množstva dát. Problém, ktorý môže nastať pri vyšších rýchlostiach vozidla je Dopplerov jav⁷, ktorý popisuje zmenu frekvencie a vlnovej dĺžky prijímaného signálu oproti signálu vysielanému. Táto zmena je spôsobená rýchlosťou pohybu vysielača voči prijímaču.

2.4 ZigBee

Senzorová sieť ZigBee je pre projekt veľmi zaujímavá kvôli dosahu signálu až do vzdialenosti 40km. Waspnote je modulárna platforma pre výstavbu bezdrôtovej senzorovej siete

⁷Dopplerov jav je zmena vlnovej dĺžky alebo frekvencie, elektromagnetických alebo akustických vln vyvolaná relatívnym pohybom zdroja voči pozorovateľovi

od spoločnosti Libelium (Zaragoza, Španielsko). Technológia ZigBee je postavená na štandarde IEEE 802.15.4 a patrí medzi pomerne nové štandardy – platnosť získala koncom roku 2004. Podobne ako Bluetooth je určená pre spojenie nízkovýkonových zariadení v sieťach PAN. Pri použití multiskokového Ad-Hoc⁸ smerovania umožňuje fungovať zariadeniam i na vzdialenosť väčšiu ako je rádiová viditeľnosť jednotlivých zariadení. Pracuje v bezlicenčných pásmach (generálne povolenie) približne 868 MHz, 902–928 MHz a 2,4 GHz. Prenosová rýchlosť je od 20, 40 do 250 kbit/s. Pri prenose dát je signál modulovaný metódou O-QPSK⁹ BPSK¹⁰ a prenášaný prostredníctvom DSSS¹¹. Pre prístup k fyzickému médiu je použitá metóda CSMA/CA¹². Jednou z mnohých výhod je to, že tieto zariadenia majú nízku prúdovú náročnosť a pri napájaní batériou typu AAA sú schopne podľa úsporných opatrení dosiahnuť výdrže 6 mesiacov až 3 roky. Pri zapojení malého solárneho panelu môže byť ich doba životnosti neobmedzená. Topológia siete zigbee je Hviezda, Sieť a Strom. Na obr. 2.4. môžeme vidieť modul od spoločnosti Libelium[23].



Obrázok 2.4: Sensorový modul radu Waspote[23]

⁸Ad-Hoc – Priama komunikácia medzi dvoma rovnocennými zariadeniami, jedno sa začne chovať ako imaginárne AP (Access Point) prístupový bod.

⁹Offset quadrature phase-shift keying – je možnosť fázového posunu moduláciou používajúcou štyri rôzne hodnoty prenosu.

¹⁰Binary Phase Shift Keying – jedna nosná vlna nesie jeden bit, ktorým je zaznačená zmena fáze nosnej vlny o 180 stupňov.

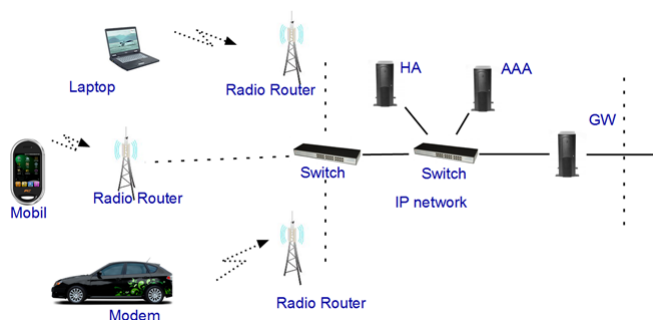
¹¹Direct Sequence Spread Spectrum – technika priameho rozprestretia spektra pri bezdrôtovom prenose dát.

¹²Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance – patrí v počítačových sieťach do triedy protokolov označovaných ako metódy s viacnásobným prístupom a naslúchaním nosnej CSMA.

Štandard bezdrôtovej komunikácie ZigBee je v neustálom vývoji. Jeho výhodami je vysoká spoľahlivosť prenosu dát vďaka vysokej redundancii, nízka energetická spotreba pri prevádzke a nízka koncová cena zariadení. Istú nevýhodu predstavuje nízka prenosová rýchlosť, táto nevýhoda je však zanedbateľná. Nakoľko ide o veľmi energeticky nenáročnú technológiu, dá sa predpokladať, že bude využívaná pri komunikácii medzi vozidlami, najmä na dopravných značeniach, o ktorých bude systém informovať vodiča vopred. Najväčšou nevýhodou je práve to, že ZigBee nie je vytvorená na presun veľkých dátových tokov na veľkú vzdialenosť. Pre tento účel sú určené skôr technológie Wifi.

2.5 WiMax

Ide o novú generáciu bezdrôtových systémov. Úspech bezdrôtových sietí štandardu IEEE 802.11 (predovšetkým štandardu 802.11b, skupina WECA – Wireless Ethernet Compatibility Alliance, štandard Wifi – Wireless Fidelity) udáva smer novým komunikačným technológiám, prevažne využívaným vo výpočtovej technike. Podľa poznatkov v literatúre je WiMax [10] (Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum) organizácia zastrešujúca širokopásmové bezdrôtové siete, tzv. BWA (Broadband Wireless Access) štandardu 802.16 a ETSI HiperMAN, ktoré definujú rádiový prístup tzv. posledná míľa (Last Mile), ako alternatívu káblového, xDSL, T1, E1 a iných pripojení. WiMax musí spĺňať požiadavky na prenos dát, hlasu VoIP (Voice over IP), videokonferencie podobných s podporou multifunkčných služieb a tzv. riadené QoS (Quality of Service). WiMax podporuje protokoly IPv4, IPv6, ATM, Ethernet, a pod. Spektrálna účinnosť dosahuje hodnoty až 5 b/s/Hz a značne preyšuje hodnoty súčasných systémov (napr. 802.11a dosahuje 2,7 b/s/Hz). Konceptia systému WiMax úplne odpovedá novej generácie štruktúry bezdrôtových sietí vid' (obr. 2.5) na princípe IP protokolov.



Obrázok 2.5: Nová generácia štruktúry bezdrôtových sietí

Na obrázku 2.5 môžeme vidieť jednotlivé prvky štruktúry bezdrôtových sietí.

- GW (Gate Way) – brána do okolitej siete, cez túto sieť to vedie na IP switch.
- Switch – IP spínač, rozbočovač prepája HA a AAA .
- HA (Home Agent) – sieťový manažér, ktorý je súčasťou pripojenia servisnej siete.
- AAA (Authentication, Authorization, Accounting server) – overenie, splnomocnenie na serveri.

Šírka pásma [MHz]	Šírka pásma [MHz]	QPSK	16QAM	64QAM
		Bitová rýchlosť [Mbit/s]	Bitová rýchlosť [Mbit/s]	Bitová rýchlosť [Mbit/s]
20	16	32	64	96
25	20	40	80	120
28	22,4	44,8	89,6	134,4

Tabuľka 2.1: Prenosová rýchlosť štandard 802.16 v pásme od 10 – 66 GHz

- Switch IP spínač, rozbočovač – rozdeľuje na Radio Router .
- Radio Router – základová stanica, ktorá je prepájaná na mobilnú IP adresu MIP (Mobile IP).

Pôvodne bol štandard 802.16 navrhnutý ako systém spojenia na priamu viditeľnosť a označoval sa LOS¹³ v pásme 10 – 66 GHz. Prehľad rýchlosti prenosu pre toto pásmo je v tabuľke 2.1.

Štandard 802.16a-2003 špecifikuje nové rádiové rozhranie metropolitných bezdrôtových sietí MAN (Metropolitan Area Networks) v pásme 2 – 11 GHz. V súčasnej dobe pre tento štandard neexistuje presne vyhradené miesto, predpokladá sa jeho využitie v licenčnom i bezlicenčnom pásme. Technológia Wifi je priamo určená pre vnútorné prostredie, pre vonkajšie je určený WiMAX. Technológia je výhodnejšia najmä v dosahu signálu, kvalite služieb a dostupných prenosových rýchlosti. Jednou z nevýhod, prečo neuvažovať o tejto technológii, je investícia do výstavby globálneho pokrytia, aké poznáme v sieti GSM. V tomto smere sa však vyvíja technológia LTE¹⁴ ktorá sa dá spoločne s WiMAX označiť za sieť 4G. Aplikácia tejto technológie je závislá na ochote finančnej investície, ale dá sa považovať za aplikovateľnú technológiu pre naše účely komunikácie medzi vozidlami.

2.6 802.11p

Doteraz sme spomínali rôzne typy a druhy komunikácii od GSM, UMTS, Bluetooth až po WiMax. Keďže tie jednotlivé technológie sú určené pre komunikáciu, vychádza z nich následný nový štandard. Tento štandard je momentálne vo vývoji IEEE a má označenie 802.11p. Pod týmto názvom sa skrýva prvá podpora mobility pre pripojovanie rádiových staníc v automobiloch k pevným bezdrôtovým prístupovým bodom.

Celý tento systém komunikácie je postavený na DSRC.[15] DSRC je vyhradenie komunikácie krátkeho dosahu, sú to jednosmerné alebo obojsmerné krátke až stredne dlhé rozsahy bezdrôtových komunikačných kanálov, špeciálne navrhnutý pre využitie v automobilovom priemysle. V roku 1999 Federálna komisia pre komunikáciu (FCC) pridela spektrum šírky 75MHz v USA v pásme 5,9GHz pre DSRC na použitie v Inteligentných dopravných systémoch (ITS). V Európe v roku 2008 Európsky ústav pre telekomunikačné normy (ETSI)

¹³Line Of Sight – priama viditeľnosť

¹⁴Long Term Evaluation - sa v praxi už testuje a dosahuje zaujímavých výsledkov až 50 Mbps download.

pridelil 30 MHz v spektre 5,9GHz pásma. Rozhodnutie o využívaní spektra v rozmedzí 5GHz je optimálne, vďaka svojim vlastnostiam šírenia v spektrálnom prostredí, ktoré sú vhodné pre automobilové prostredie. Vlny šíriace sa v tomto prostredí môžu ponúknuť vyššiu dátovú rýchlosť pri komunikácii na veľké vzdialenosti (až 1 km) s nízkou závislosťou na počasi. V súčasnosti je jeho hlavným využitím v Európe a Japonsku elektronický vyber mýtného. Avšak systém DSRC v Európe, Japonsku a USA nie je vzájomne kompatibilný. Preto sa rozhodlo o vytvorení zhodného štandardu pre celý svet a to s označením IEEE 802.11p. Ostatné bezdrôtové protokoly krátkého dosahu sú IEEE 802.11, Bluetooth a CALM. Nižšie skúsím popísať, ako by mohol vyzeráť nový štandard v praxi. Ako prvé považujem za rozumné popísať jednotlivé časti alebo jednotky, s ktorými sa pri štandarde 802.11p budeme stretávať.[13]

Palubná jednotka (OBU): palubná jednotka je vysielač s prijímačom skonštruovaný na princípe vyhradenia krátkého rozsahu komunikácie (DSRC), táto časť sa obvykle namontuje do vnútra vozidla alebo na vozidlo, nakoľko uvažuje sa i o možnosti, že tieto jednotky budú prenosné. OBU môže byť v prevádzke, zatiaľ čo vozidlo alebo osoba je buď v pohybe alebo stojí. Palubná jednotka prijíma a súperí včas na predávanie dát na jednom alebo viacerých kanáloch RF. Pokiaľ nie je priamo vylúčené funkcia OBU, je povolená všade kde je povolený prístup vozidiel a prístupná pasáž pre chodcov. Palubné jednotky montované do vozidla komunikujú s cestnými jednotkami (RSUčka) a ďalšími palubnými jednotkami. OBU pracuje v Nekoncesovanej Národnej Informačnej Infraštruktúre (U-NII). Pásmo nasieťujú pravidlá v týchto pásmach. OBU vykonáva funkciu IEEE 802.11 stanice s dodatočnými funkciami DSRC, medzi ktoré patrí schopnosť pripojenia do siete vo vozidle k sieťam popri ceste, poprípade k inému vozidlu. K dispozícii je špeciálna kategória zariadenia nazývaná aj OBU verejnej bezpečnosti (PSOBU), v ktorej je povolené, aby mohla meniť úlohu OBU, alebo RSU v závislosti na prevádzkových podmienkach. Príklady PSOBUčka sú zariadenia používané v policajných autách, záchranných alebo hasičských vozidlách. Zvláštne povolenie môže byť vyžadované pre PSOBU aby fungoval ako RSU.

Súkromná aplikácia (PA): súkromná aplikácia (PA) je implementácia služby krátkého rozsahu na komunikáciu (DSRC), pre prenos dát do a z individuálneho alebo pracovne vlastného zariadenia, ktoré umožňuje transakcie obchodných alebo užívateľských dát k zlepšeniu efektivity podnikania alebo transakcií užívateľských dát.

Tabuľka Poskytovaných Služieb(PST): Tabuľka Poskytovaných Služieb (PST) sa skladá zo súboru dát, ktoré identifikujú aplikácie, ktoré sú ponúkané poskytovaným zariadením, obslužný kanál a charakteristiky média, v ktorom majú byť použité (vrátane priority, výkonu a časovania).

Verejná Bezpečnostná Aplikácia (PSA): Verejná Bezpečnostná Aplikácia (PSA) je realizáciou špecializovaného krátkého rozsahu komunikácie (DSRC), vládou alebo vládou sponzorovanou aktivitou ako je definované v CFR 47 USC § 309 [16]

Cestnou jednotkou (RSU): Cestná jednotka (RSU) je vyhradený vysielač s prijímačom krátkého rozsahu komunikácie (DSRC), ktorý je namontovaný pozdĺž cesty alebo chodníka. RSU môže byť namontované na vozidle alebo nesené v rukách, ale môže fungovať len, keď je jednotka stacionárna. RSU je obmedzené na miesto, kde je jeho licenčné povolenie k použitiu. Prenosné alebo príručné RSUčka sú povolené prevádzkovať na riadiacom kanále a servisných kanáloch, kde nie sú v rozpore s licenčnými podmienkami frekvenčného pásma. RSU vysiela dáta do palubných jednotiek alebo vymieňa dáta s palubnými jednotkami OBU vo svojich komunikačných oblastiach. RSU poskytuje pridelenie kanálov, ktorého úlohou je napomôcť palubným jednotkám vo svojich komunikačných oblastiach v prípade potreby. RSU vykonáva funkciu IEEE 802.11 prístupového bodu s ďalšími DSRC funkciami.

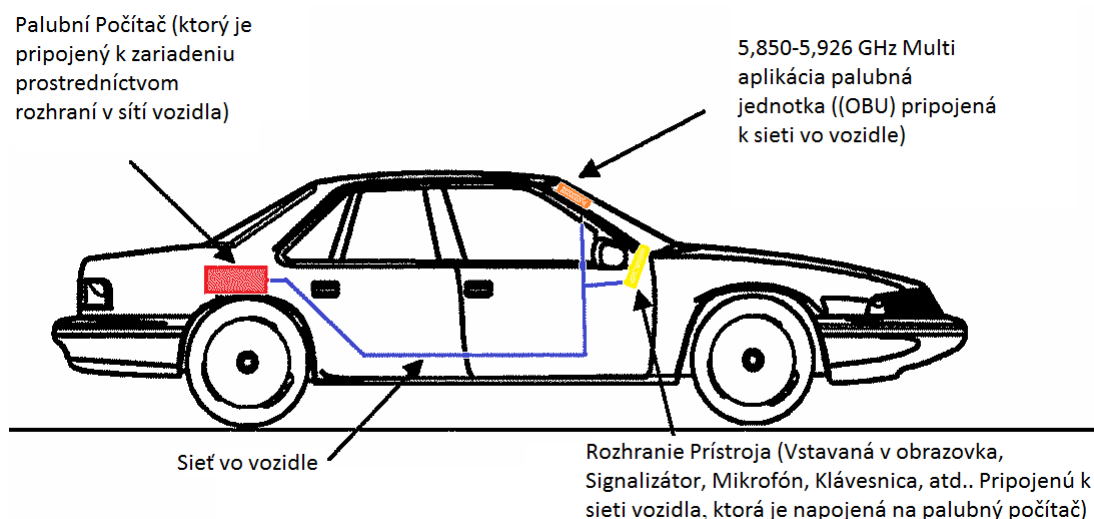
Aplikácia bezpečnosti vozidiel (VSA): Aplikácia bezpečnosť vozidiel (VSA) je realizo-

vaná vyhradenou komunikácie krátkeho rozsahu (DSRC), k podpore bezpečnosti vozidiel výrobcom vozidla alebo vlastníka v zmysle CFR 47 USC § 90.[16]

Tabuľka užívateľských služieb (UST): Tabuľka užívateľských služieb (UST) je dynamic-ky generovaná v reakcii na PST. Identifikuje aplikáciu a parametre zariadenia potrebných na založenie komunikačného spojenia.

WAVE signál: bezdrôtové pripojenie v automobilovom prostredí (WAVE) signál sa skladá z IEEE 802.11 signálu s WAVE prvkom informačnej služby.

WAVE riadiaci subjekt (WME): jednotka správ WAVE je riadiacou jednotkou, ktorá je primárne zodpovedná za spôsob WAVE operácii. Udržiava všetky MIB (Základne riadenia správ) pre zariadenie, kanály a aplikácie. Interaktívne s ostatnými riadiacimi subjektmi k inicializácii a registrácii atribútov analyzuje príchodiu tabuľku poskytovateľa služieb pre zhodu v aplikácii a oznamuje aplikáciám, ktoré majú byť prevedené. Je tiež zodpovedná za riadenie siete a konfiguráciu transportnej vrstvy pre rozhrania a aplikácie. WAVE služba informačných prvkov (WSIE): WAVE služba informačných prvkov sa skladá z jedného alebo viacerých typov: Služby Tabuliek užívateľa, WAVE zverejnenie cesty a WAVE krátke správy.



Obrázok 2.6: Spojenie OBU so Sieťou vozidla. [17]

Prevádzka IEEE 802.11 zariadení v motorových vozidlách vyžaduje, aby vybrané zmeny boli s ohľadom na automobilové základne 802.11 zariadenia. Výsledok čoho je zvláštna forma IEEE 802,11, ktorá už existuje pod názvom "Bezdrôtový prístup automobilového prostredia" (WAVE). Účelom WAVE je poskytovať bezdrôtovú komunikáciu na krátku vzdialenosť medzi zdrojmi informácií, transakčnými stanicami na krajniciach ciest a mobilnými rádiovými jednotkami, medzi mobilnými jednotkami a medzi prenosnými a mobilnými jednotkami. Ku komunikácii vo všeobecnosti dochádza pri vzdialenostiach väčších, než ktoré sú viditeľné len voľným okom, zároveň ale menej ako 1000 m medzi jednotkami pri krajniciach ciest vo veľkých rýchlostiach, sporadicky stojacich, prípadne pri pomaly sa pohybujúcich vozidlách alebo rýchlo sa pohybujúcich vozidlách. Špecifikácia ponúka regulačné body v zmysle štandardizácie prístupu k ITS frekvenčnému pásmu pre účely komunikácie medzi vozidlami vo vzdialenostiach viditeľných voľným okom. Zmeny v základoch 802.11 sú nutné, aby mohli byť podporované väčšie vzdialenosti (až do 1000 metrov) rýchlo sa pohybujúcich vozidlách, multicestné prostredie, viacnásobné prekrytie ad-hoc sietí k poskytnutiu služby s vysokou kvalitou. WAVE používa špeciálny typ signálneho rámca, používaného v ITS frekvenčnom pásme (viď kap. 2.6.1).

2.6.1 WAVE

WAVE je určený na podporu celého radu existujúcich použití pre IEEE 802.11, ale zahŕňa aj rad nových tried aplikácií, ktoré sa týkajú bezpečnosti na ceste (napr. vyhýbanie sa kolízii vozidiel) a núdzové služby (ako sú služby poskytované zo strany polície, hasičských zborov a záchranných služieb). Tieto aplikácie ovplyvňujú implementáciu WAVE na IEEE 802.11 v mnohých ohľadoch, predovšetkým v spoľahlivosti dátovej komunikácie a potrebe extrémne krátkych odoziev. IEEE 802.11 asociačný proces nemôže byť bežne použitý pri výmene, kde celá doba od prvej detekcie signálu k ukončeniu viacerých rámcov dátovej výmeny údajov musí byť dokončená do prvých 100 milisekúnd. Za účelom prispôsobenia sa dynamickejšiemu prostrediu s rovnakou rádiovou technológiou a zároveň prioritne poskytovať verejnú bezpečnú komunikáciu, WAVE režim používa inú stratégiu prístupu ku kanálom ako štandard IEEE 802.11 a zavádza ďalšie operačné pravidlá. Dodatočná entita manažmentu systému, jeho stratégia a podpora sú popísané primárne v IEEE štandarde pre bezdrôtový prístup v prostredí vozidiel (WAVE) - Sieťové služby, IEEE P1609.3, ktoré vyžadujú špeciálnu implementáciu IEEE 802.11. WAVE mód pracuje nad kontrolným kanálom a viacerými servisnými kanálmi, ktoré sú založené na regionálnych obmedzeniach frekvencií.

Jednotky pôsobiace vo WAVE BSS (základnej sade služieb) majú rôznu označenia architektúry¹⁵, ako sa používa pri IBSS a BSS operáciách. Jednotky určené na prevádzku v pohybe sa nazývajú palubné jednotky (OBUs¹⁶). Komunikačné jednotky upevnené pozdĺž cesty, cez cestu na lyžinách alebo tyčiach, alebo mimo cesty v súkromných alebo verejných priestoroch sú nazývané cestné jednotky (RSUs¹⁷). Palubné jednotky a cestné jednotky môžu fungovať ako stanice, alebo ako prístupové body (APs¹⁸). Spoločná funkcia všetkých cestných jednotiek je kontrola prístupu k rádiovýfrekvenčnému médiu, v ich komunikačných zónach alebo uvoľnenie kontroly iba na vysielané dát.

Konfigurácia WAVE

WAVE komunikácia používajúca DSRC zariadenia prebieha buď medzi RSUs a OBUs, ako je znázornené na obrázkoch 2.7 a 2.8, alebo len medzi OBUs, ako je znázornené na obr. 2.9. WAVE komunikácia môže byť presmerovaná z alebo do širokopásmových sietí cez portály z RSUs, ako je znázornené na obr. 2.10. WAVE komunikácia môže byť smerovaná medzi širokopásmovými sieťami a sieťami vo vozidle za pomoci portálov z OBUs a RSUs, ako je znázornené na obrázkoch 2.6, 2.11a a 2.12. DSRC zariadenia implementujú, inicializujú WAVE na nastavenia definované v IEEE 802.11p a pôsobia v inteligentných dopravných systémov riadiacich služieb (ITS-RS¹⁹)[17].

Na obrázku 2.8 je ukážka WAVE BSS. Nižšie je možné vidieť komunikáciu medzi RSU a OBU. Táto komunikácia vytvára viaceré typy BSS.

DSRC zariadenia pracujúce ako WAVE neimplementujú autentifikáciu alebo asociáciu pri vysielaní správ, ako je definované v kapitole 2.6.

Stratégia prístupu ku kanálom

Kontrolný kanál zvyčajne používaný na vysielanie prenosu, pokiaľ sú servisné kanály použité k vedeniu obojsmernej komunikácie medzi jednotkami pozdĺž RSU a palubnými jednotkami OBU, pre vysielanie prenosov a na vytvorenie komunikácie, kým servisné kanály slúžia

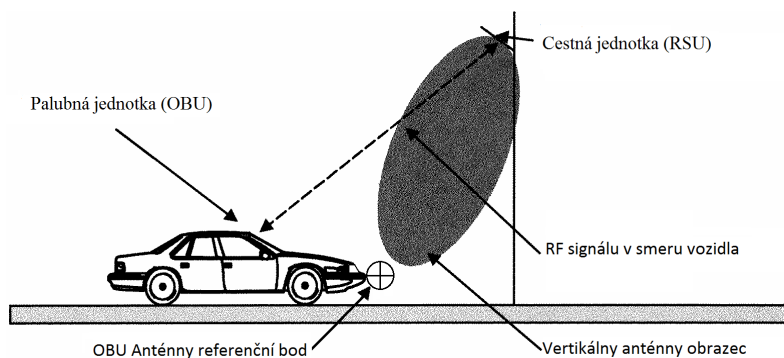
¹⁵ voľne preložené z anglického termínu „Architecture designation”

¹⁶ OBU – OnBoard Units

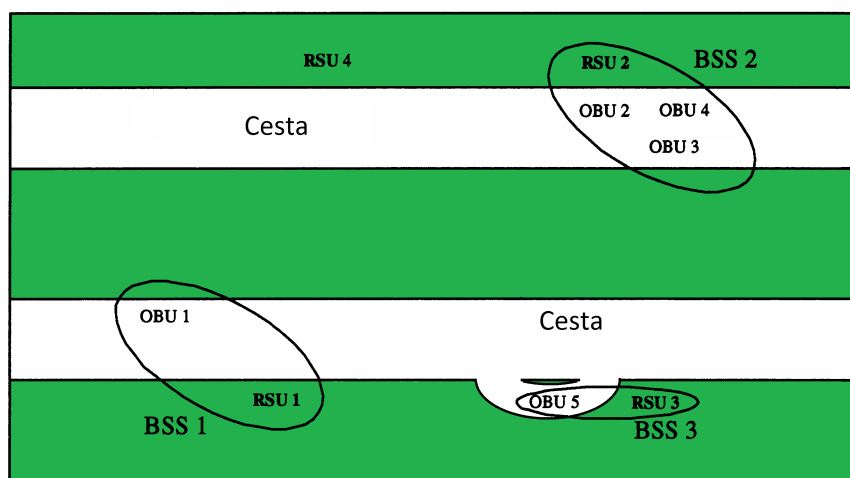
¹⁷ RSUs – RoadSide Units

¹⁸ APs – Access points

¹⁹ ITS-RS – Intelligent Transportation Systems Radio Service



Obrázok 2.7: RSU komunikácia s OBU



Obrázok 2.8: Základná servisná zostava s RSU a OBU

na vykonanie dvojsmernej komunikácie medzi cestnými jednotkami a palubnými jednotkami a medzi palubnými jednotkami sa zvyčajne používa riadiaci kanál. Pri WAVE operáciach môže akékoľvek zariadenie (či už RSU alebo OBU) vysielať na riadiacom kanáli, avšak len RSUs vysiela tzv. beacon²⁰ rámce na kontrolnom kanáli. Pod kontrolou IEEE P1609.3 aplikácie nereagujú na oznámenia o aplikačných službách z kontrolného kanálu od RSU alebo OBU. Všetky IEEE 802,11 typy a podtypy rámcov môžu byť použité na servisných kanáloch.

Operácie WAVE

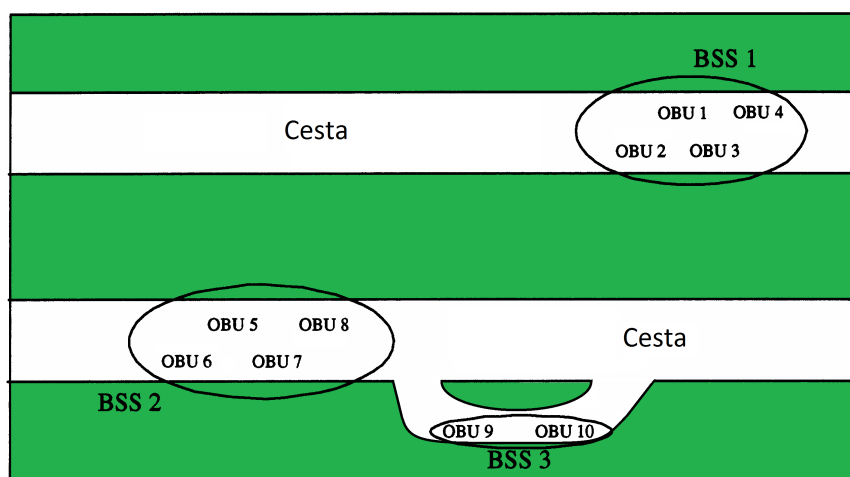
DSRC zariadenia implementujúce WAVE poskytujú dva základné typy komunikačných služieb: poskytovateľ - užívateľ a vysielač - poslucháč. Vysielané správy sú generované RSU alebo OBU bez očakávania odpovede (tv. broadcast správy). Ku komunikačným službám medzi poskytovateľom - užívateľom dochádza vtedy, keď poskytovateľ vysiela tabuľku služieb poskytovateľa (ďalej len PST) a užívateľ reaguje na túto správu a zvyčajne vytvorí komunikačné spojenie s poskytovateľom. Tento proces je definovaný v IEEE P1609.3. Užívateľ, ktorý reaguje na PST, môže odpovedať s užívateľskou tabuľkou služieb (UST) a žiadať o konkrétne služby. Poskytovateľ služieb je zodpovedný za kontrolu kanálu, na ktorom bola

²⁰Beacon frames – rámce v IEEE 802.11 obsahujúce informácie o sieti, periodicky vysielať do siete (tzv. broadcast) na informovanie o prítomnosti a sieti.

komunikácia zahájená.

Prepínanie kanálov

OBU prepína kanály na základe vysielaných rámcov, PST koordinácie alebo oboch. Ak jeden kanál OBU prepne do servisného kanálu a žiadne rámce, ktorým bol nasmerovaný nie sú prijaté do OBU do 100 ms, OBU prepne späť do riadiaceho kanálu. Tento OBU môže vykonávať transakcie na iných kanáloch, ak systém spĺňa požiadavky na monitorovanie kontrolného kanála. Na obrázku 2.9 je možné vidieť komunikáciu medzi vozidlami za pomoci palubných jednotiek OBU, taktiež vytvárajú jednotlivé BSS, ktoré následne môžu komunikovať medzi sebou alebo ITS.



Obrázok 2.9: Základná servisná zostava len s OBU

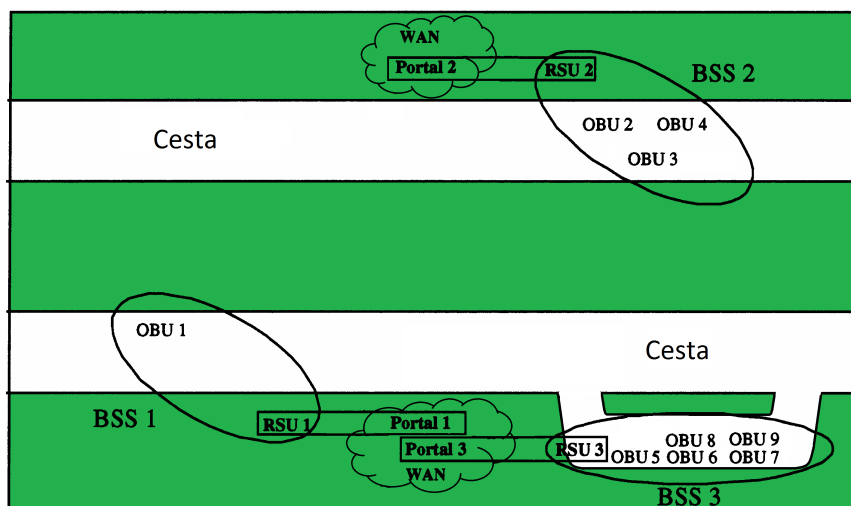
Kontrola výkonu

DSRC prenos dodržiavajú systém riadenia výkonu, v ktorom je maximálne povolenie prenášaného výkonu určené podľa účelu prenosu a to v potrebnom rozsahu. Bezpečná verejná komunikácia má povolené vyššie výkony prenosov v porovnaní so súkromnými aplikáciami, ktoré používajú WAVE komunikácie.

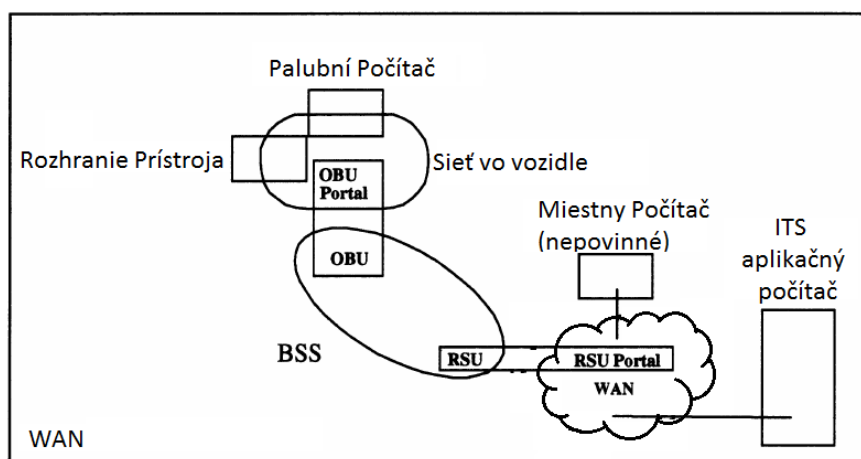
DSRC umožnil prenos správ verejnej bezpečnosti a súkromných aplikácií. Prenosy DSRC uprednostňujú prenos správ súvisiacich s bezpečnosťou. Toto uplatnenie je v súlade s IEEE Std 802.11e, IEEE P1609.3.

Informácie týkajúce sa WAVE môžu byť konkrétne zahrnuté do manažmentových rámcov v rámci WAVE servisu informačných prvkov (WSIEs). Rutinné bezpečnostné správy sú bežne posielané na riadiaci kanál, ale je možné ich poslať na niektorý zo servisných kanálov, ktorý je v prevádzke. Správy najvyššej priority, verejnej bezpečnosti a správy bezpečnosti vozidiel sú vysielané z OBU na všetkých kanáloch a cez RSUs na riadiacom kanále a servisom kanále, ktoré sú v prevádzke. Ostatné správy týkajúce sa verejnej bezpečnosti sa uskutočnia prioritným Unicast rámcem na servisné kanály. Prioritné DSRC služby používajú EDCA, ako je definované v IEEE 802.11e bod 9.1.3.1. Dátové rámce sú vysielané s parametrami so strednou prístupovou prioritou definovanými v množine EDCA parametrov.

Výkon a kalibrácia antény. Rádiofrekvenčný výkon, citlivosť a model antény majú byť umiestnené na štandardné miesto na vozidle. Toto štandardné umiestnenie je určené na prednom nárazníku osobného vozidla alebo ekvivalent na úžitkovom vozidle. V 802.11p sa opisuje výkon a faktory kalibrácie antény. Umiestnenie je možno vidieť na obr.2.7.

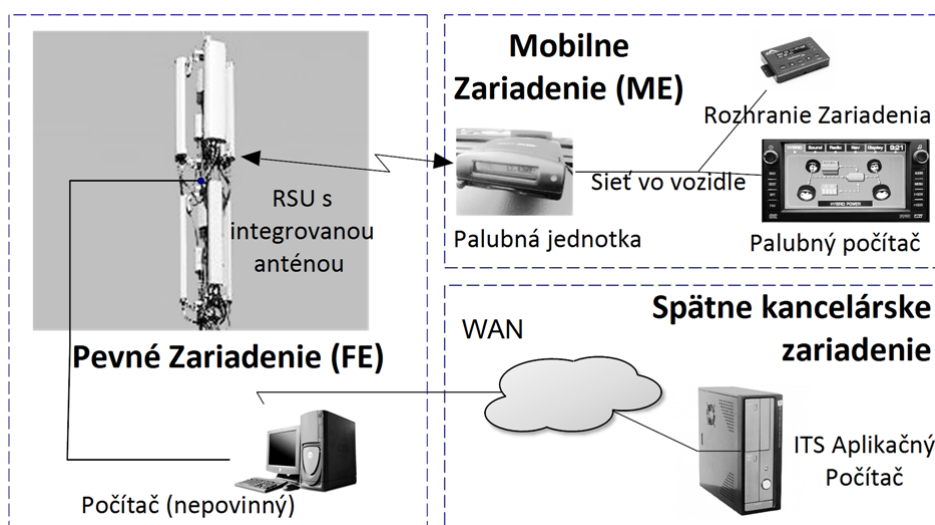


Obrázok 2.10: Spojenie OBU s Veľká Oblastná Sieť (WAN)



Obrázok 2.11: BSS pripojenie na dosku počítača prostredníctvom WAN a ITS aplikácie

Viac DSRC systémových zariadení sa môže skladať z jedného zariadenia pracujúcom na jednom kanáli a s jednou žiadosťou, alebo viacerých zariadení a každé vykonáva samostatnú funkciu alebo aplikáciu na inej frekvencii. Konfigurácia viacerých zariadení má tú výhodu, že sú schopné počúvať z bezpečnostných správ z kontrolného kanála a súčasne vykonať výmenu aplikácií na jednom zo servisných kanáloch na okraji pásma ITS alebo v U-NII pásme. Ak prístroj vykonáva službu transakcie po dlhšiu dobu, zatiaľ čo je v pohybe (nominálne 200 milisekúnd až 30 sekúnd), viackanálová konfigurácia zariadenia môže dosiahnuť viac príhlé prevádzkovanie doby v servisných kanáloch a vyššiu priepustnosť dát. Prístroj reagujúci na PST môže obsahovať informácie definujúce jeho viackanálovú konfiguráciu, aby umožnil použitie týchto dodatočných možností, ak majú obidva celky viac zariadení[19]. Na poslednom obrázku je možné vidieť rozdelenie do blokov s celkovou komunikáciou medzi vozidlami a ITS s vysvetlením, ktoré časti sú ako a kde umiestnené.



Obrázok 2.12: Pripojenie k vzdialenej ITS aplikácii na palubný systém

Problém môže nastať v prípade, že vozilá prekročia rýchlosť 200 km/h.

Táto metóda patrí medzi najlepšie, nakoľko je vyvíjaná priamo na komunikáciu medzi pohybujúcimi sa vozidlami. Bližšie definície parametrov sú zhodnotené v tabuľke 3.1, kde je porovnávaná s Wifi 802.11 a s ktorou máa veľa spoločného. Podľa dokumentov IEEE[19] má však táto metóda problémy s oneskorením doručovania informácií. Bližšie je tejto téme venovaná kapitola 4.

2.7 Záver

V tejto kapitole sú rozobraté jednotlivé technológie, ktoré sú v súčasnosti považované za dôležité a aplikovateľné pre komunikáciu medzi vozidlami. Rádiová komunikácia spomínaná v prvej časti kapitoly bola na začiatku považovaná za jednu z najlepších možností aj z toho dôvodu, že sa v súčasnosti táto technológia používa pri komunikácii medzi vodičmi nákladných vozidiel. Dôvodmi, prečo nepoužiť túto technológiu, boli najmä problémy s kmitočtovým pásmom. Taktiež tu vzniká komplikácia s lokalizáciou, ale tá je bližšie rozobratá v kapitole 5. V súčasnosti jedny z najrozšírenejších technológií pre mobilnú komunikáciu sú GSM a UMTS. V budúcnosti sa uvažuje o ich aplikácii v komunikačnom systéme V2V. Hlavnými výhodami, prečo použiť túto technológiu, je cena zariadení, dostupnosť a najmä jej rozšírenie. ZigBee, ktorá je veľmi spoľahlivá na prenos dát, i keď využíva veľmi nízku rýchlosť. Hlavnými výhodami je nízka spotreba energie a koncová cena. Preto sa táto metóda začína zavádzať do praxe a v projekte V2X sa s ňou naďalej uvažuje najmä ako s podporným systémom na upozorňovanie na dopravné značenia. Technológia WiMAX, ktorá má podobné črty ako Wifi, je určená na vonkajšie využitie a tu dosahuje zaujímavých výsledkov i bez potreby LOS, ktorú technológia Wifi priamo vyžaduje. Problém s aplikáciou v komunikácii V2V je vo výstavbe infraštruktúry, ktorá by musela byť aspoň na takej úrovni ako GSM. WiMAX a LTE sú považované za siete 4G. Posledný a najzaujímavejší štandard, ktorý je vyvíjaný a určený na komunikáciu medzi vozidlami sa označuje 802.11p a podľa informácií, ktoré sú o ňom momentálne dostupné, je ideálny na komunikáciu V2V a V2X až na vzdialenosť 1000 metrov. I keď dochádza pri prenose k oneskoreniam, ktoré môžu znamenať komplikácie práve pri využití v systéme na zabránenie proti zrážke.

Kapitola 3

Analýza komunikácie medzi vozidlami

Pri pátraní po možnostiach komunikácie medzi vozidlami a návrhu systému zabezpečenia cestnej dopravy som narazil na štúdiu [11], z ktorej vychádza nasledujúci text.

Návrh systému na základe tejto práce spočíva na princípe komunikácie V2X (Vozidlo komunikuje s centrálou). Veľkou výhodou je zdieľanie dát medzi vozidlom a centrálou, pri ktorej je výhodou okamžitý a aktuálny prehľad o dopravných informáciách z väčšej vzdialenosti a lepšia informovanosť vodiča. Je samozrejmosťou, že tento systém poskytuje nie len informácie o stave vozovky a dopravných informáciách, ale taktiež prehľad cien a polohu čerpacích staníc, poprípade iných dôležitých destinácií v smere jazdy. Myšlienka komunikácie za pomoci systému V2X nie je novinkou, avšak nakoľko sa čakalo do doby, kedy rozvoj komunikačnej technológie a úroveň mikroelektrotechnických prvkov dospeje do štádia vyššej spoľahlivosti, nižšej energetickej a finančnej náročnosti, ktorá vyplýva z ich úspešnej aplikácie do bežného života. Ďalším dôležitým faktorom, ktorý významnou mierou ovplyvnil aplikáciu tohto systému do reálneho života, je harmonizácia štandardov. Aplikácie komunikačného systému V2X sú momentálne neoddeliteľnou súčasťou každého inteligentného dopravného systému ITS. [11] V roku 1999 sa Americká federálna komisia pre komunikáciu FCC (v Európe je to CEPT) uzniesla na vyhradení frekvenčného pásma v šírke 75 MHz v oblasti 5,9 GHz pre zariadenia s krátkym dosahom a DSRC na vzájomnú komunikáciu medzi vozidlami a jednotkami dopravnej infraštruktúry. Hlavným cieľom bola bezpečnosť a plynulosť cestnej dopravy. Počiatočné snahy o štandardizáciu boli vyvíjané v rámci organizácie ASTM a v roku 2004 boli dosiahnuté výsledky využitia v rámci pracovnej skupiny IEEE 802.11p, ktorá má za úlohu pripraviť komunikačný štandard pre bezdrôtový prístup v automobilovom prostredí (Wireless Access in Vehicular Environments, WAVE). Tento štandard má byť navrhnutý tak, aby bol akceptovaný na celom svete. V nasledujúcom texte sú popísané a porovnané vybrané technológie z pohľadu využiteľnosti v projekte.

3.1 Aplikovateľné technológie

Medzi aplikovateľné technológie s vyššie spomínaných patria:

- 802.11p – Wireless technológia vychádzajúca s 802.11a,
- ZigBee – senzorová sieť s veľmi zaujímavými parametrami,
- WiMax – Wireless technológia vychádzajúca s Wifi určená na vytváranie bezdrôtových spojení

- GSM – v súčasnosti najrozšírenejšia sieť pre mobilnú komunikáciu vychádza s NMT a ma nástupcu UMTS.

Tieto technológie sú bližšie rozpísané v kapitole 2.

3.1.1 Vlastnosti

V tejto podkapitole sú zhrnuté zaujímavosti uvedených technológií, ktoré sú vybrané z kapitoly 2, poprípade doplnené z iných zdrojov. Tieto informácie sú zahrnuté do tabuliek 3.1 a 3.2. Podľa tabuliek môžeme porovnať technológie z hľadiska aplikovateľnosti. Nároky kladené na výstavbu nie sú až tak veľké, nakoľko nám neide o veľké dátové prenosy, keďže správa s informáciou o polohe a rýchlosti vozidla zaberá približne 128 bitov. Najväčšie nároky sú kladené na čas doručenia správ, keďže každá správa musí byť doručená do 100 ms. V opačnom prípade sa jednotka OBU prepne do tzv. „listening” módu, v ktorom očakáva správu od iných jednotiek, či už OBU alebo RSU. Z tabulky 3.1 je možné vybrať za najvhodnejšiu technológiu pre komunikáciu medzi vozidlami práve už toľko spomínaný štandard 802.11p a venovať sa len jeho parametrom. Ostatné technológie sú však v moduloch podporované, takže je zabezpečená kompatibilita v prípade vytvorenia spoločných zariadení. V tabulke 3.1 si môžeme všimnúť, že kvôli zabezpečeniu doručenia znakov je oproti 802.11a dĺžka trvania symbolu zdvojnásobená hodnota. Ďalšie mierne odlišnosti sú v šírke pásma, ktoré je u 802.11p polovičné ako pri 802.11a.[1]

Parameter	IEEE 802.11p	IEEE 802.11a
Rýchlosť prenosu [Mbps]	3, 4.5, 6, 9,12, 18,24,27	6,9,12,18,24, 36,48,54
Modulácia	BPSK OFDM QPSK OFDM 16-QAM OFDM 64-QAM OFDM	BPSK OFDM QPSK OFDM 16-QAM OFDM 64-QAM OFDM
Dĺžka trvania symbolu [μ s]	8	4
Šírka pásma [MHz]	10	20
Počet subnosných vln	52	44,8
Kódovací pomer	1/2, 2/3,4/3	1/2, 2/3,4/3
Kódovanie s opravou chýb	K=7, 64 stavové konvolučné kódovanie	K=7, 64 stavové konvolučné kódovanie
Frekvencia [GHz]	5.855 - 5.925	5.15-5.35, 5.725-5.850 (ISM)

Tabuľka 3.1: Porovnanie protokolu 802.11p a 802.11a

3.2 Parametre prenosu

Požiadavky na prenos sú kladené najmä na schopnosť doručenia správy v čo najkratšom časovom intervale, za ideálnych podmienok, v reálnom čase. Ako je spomínané vyššie, neide

Parameter	Wifi 802.11	EDGE	ZigBee 802.15.4	WiMAX 802.16a
Rýchlosť prenosu	54 Mb/s	100-150 kb/s	0.25 kb/s	az 134Mb/s
Modulácia	BPSK OFMD QPSK OFMD 16-QAM OFDM 64-QAM OFDM	8-PSK	BPSK O-QPSK	BPSK OFMD QPSK OFMD 16-QAM OFDM 64-QAM OFDM
Pamätové požiadavky	100 + KB	100 + KB	32-60 KB	100 + KB
Dosah	až 1000 m	zaleží od pokrytia	10 m až 40km	40-70 km
Spotreba energie v pohotovostnom režime	20 mA	25 mA	3 μ A	10 mA
Spotreba energie	400 + mA	300 mA	35 mA	330 mA

Tabuľka 3.2: Porovnanie protokolov

o veľké dátové objemy, preto nie je potrebné prenášať dáta v rádoch Mb^1 , na zabezpečenie presunu informácií medzi vozidlami postačí i 0,25 kb/s. Návrh dát, ktoré budú prenášané medzi jednotlivými jednotkami, je v kapitole 4. Z toho vyplývajú podmienky pre zaťaženie siete, ktoré by mali byť čo najnižšie, nakoľko v husto obývaných oblastiach, kde je väčší pohyb motorových vozidiel, by mohlo dochádzať k zahľteniam komunikačných kanálov. Preto sa posielajú malé objemy dát, aby nevznikali problémy so zasielaním a prijímaním správ.

Parameter	Hodnota
Frekvenčný rozsah	5.850 - 5.925 GHz (kanál 172 až 184, 178 je riadiaci kanál)
Šírka kanála	10 MHz
Rýchlosť prenosu	6 Mbps
Citlivosť priramača	-82 dBm@6Mbps
Maximálny výkon vysielaača	20 dBm
Procesor	MPC520@396MHz

Tabuľka 3.3: Základné elektrické parametre cestných komunikačných jednotiek RSU[11]

3.3 Parametre zariadení

Zariadenia od spoločnosti *OTTO on BoardTM* sú podľa výrobcu [26] prvým komunikačným modulom v pásme 5.9 GHz určeným na zabudovanie do novovyrábaných motorových vozidiel a dopravných informačných systémov. Cestné jednotky (RSU) infraštruktúry a palubné jednotky (OBU) majú rovnaké riešenie a zhodné základné elektrické charakteristiky, ako

¹Mb – Mega bit, vid <http://en.wikipedia.org/wiki/Megabit>

môžeme vidieť v tabuľkách 3.3, 3.4, 3.5 a 3.6. Napriek skutočnosti, že systém je určený predovšetkým na komunikáciu medzi vozidlami a jednotkami infraštruktúry, nie je technicky obmedzený len na uvedenú aplikáciu. Zariadenia ako *MobilWAVE* predstavujú palubnú jednotku s bezdrôtovou komunikáciou, ktorá využíva otvorenú platformu Linuxu. Obsahuje dva rádiové moduly – WiFi a DSRC, prijímač GPS, 3G a Bluetooth rádio. Je potrebné uviesť, že DSRC rádio pracuje v pásme ISM 5 GHz podľa štandardu 802.11a.

Parameter	Hodnota
Frekvenčný rozsah DSRC	5.150 - 5.850 GHz , IEEE 802.11a
Šírka kanála	5, 10, 20, 40, MHz
Rýchlosť prenosu	do 54 Mbps
Citlivosť prijímača	-94 dBm@6Mbps
Maximálny výkon vysielača	28 dBm
Procesor	AMD Geode LX800@500MHz

Tabuľka 3.4: Základné elektrické parametre cestných komunikačných jednotiek RSU[11]

Súčasťou zariadení je aj vývojové prostredie s bohatou knižnicou podporujúcou WAVE, IP, Web, GPS, Bluetooth a podobné. Toto vývojové prostredie umožňuje vývoj nových aplikácií.

Medzi najzaujímavejšie zariadenia na komunikáciu medzi vozidlami je možné zaradiť modul *eWAVE*, ktorý je vhodný na zabudovanie do palubných jednotiek OBU a cestných jednotiek RSU. Podporujú prenos dát až do 54 Mb za sekundu a režim činnosti podľa štandardu 802.11 a/b/g/j/p.

Na základe parametrov v tabuľkách 3.3 až 3.6 bolo vyvinuté zariadenie na podporu ITS aplikácií. Jeho úlohou je rozšíriť použitie komunikačných modulov – označuje sa MCNU² [27]. Táto jednotka obsahuje procesor Pentium grade, 1.5 GHz, 512MB RAM, 2GB Flash, OS Linux. Súčasťou je 16 kanálový prijímač GPS, senzory teploty a vlhkosti. Modifikovaný MCNU modul R1500S so zabezpečením obsahuje akceleračný modul 1609.2.

V tabuľke 3.6 je možné vidieť Európsky model systému na komunikáciu s označením LinkBird-MX, obsahujúci programový balík NEC C2X-SDK, ktorý má za účel rýchly vývoj aplikácií z oblasti ITS. Toto zariadenie pozostáva zo 64-bitového procesora MIPS@266MHz, 512 MB NAND Flash, 16 MB NOR Flash a 128 MB SDRAM pamäte. Pritom príkon zariadenia nie je vyšší než 5W a súčasťou zariadenia sú 2 USB porty, PCMCIA, MOST, sériové rozhranie RS-232 a GPS. Obsahuje sieťové rozhrania 10/100 Base-T a mini 802.11 a/b/g/p.

3.4 Záver

Táto kapitola priblížila komunikáciu z pohľadu analýzy a vhodnosti aplikovania. Z tabuliek uvádzaných v tejto kapitole je možné zistiť parametre požadované od zariadení na komunikáciu V2V a V2I. Pre komunikáciu sme vybrali štandard 802.11p a ďalej sme sa venovali len

²Multiband Configurable Networking Unit – Viacpásmová konfigurovateľná sieťová jednotka

Parameter	Hodnota
Frekvenčný rozsah	2.400 - 2.484 GHz 4.940 - 4.990 GHz 5.250 - 5.350 GHz 5.470 - 5.725 GHz 5.725 - 5.825 GHz 5.825 - 5.850 GHz 5.850 - 5.925 GHz (kanál 172 až 184, 178 je riadiaci kanál)
Šírka kanála	5, 10, 20, 40, MHz
Rýchlosť prenosu	1 až 54 Mbps
Citlivosť prijímača	-88, -91, -97 dBm (p, a/g, b)@6Mbps
Maximálny výkon vysielajúca	14 dBm
Procesor	MPIS24k@300MHz

Tabuľka 3.5: Základné elektrické parametre „eWAVE” cestných komunikačných jednotiek OBU a RSU [11]

Parameter	Hodnota
Frekvenčný rozsah	5.725 - 5.925 GHz
Šírka kanála	10, 20 MHz
Rýchlosť prenosu	6, 9, 12, 24, 34, 48, 54, Mbps pri šírke pásma 20 MHz 3, 4.5, 6, 12, 18, 24, 27, Mbps pri šírke pásma 10 MHz
Maximálny výkon vysielajúca	22 dBm
Procesor	MPIS@266MHz

Tabuľka 3.6: Základné elektrické parametre cestných komunikačných jednotiek OBU[11]

jemu. Uviedli sme prvých výrobcov a parametre týchto výrobkov. V ďalšej kapitole bude priblížený dátový prenos z pohľadu protokolov, autentizácie a času prenosu.

Kapitola 4

Dátový prenos

Pre dátový prenos je dôležité si stanoviť, aký bude využitý protokol a čo to vlastne protokol je. Protokol je súhrn preddefinovaných pravidiel, ktoré určujú, ako budú dva alebo viaceré procesy vzájomne komunikovať (v našom prípade motorové vozidlá) a vymieňať dáta [7]. Tieto procesy môžu bežať na jednom alebo viacerých počítačoch. Program transportnej vrstvy na jednom počítači používa protokol, ktorý mu umožňuje „dohovoriť sa“ so svojou druhou stranou na druhom počítači. Protokoly sú väčšinou zviazané s určitými úlohami alebo službami, ako je spracovanie dát a smerovanie paketov. Protokol špecifikuje pravidlá pre vytvorenie, prevedenie a ukončenie komunikačnej relácie. Určuje tiež formát paketov prenášaných sieťou vo vzájomnej komunikácii. Niektoré protokoly vyžadujú potvrdenie, či akcia bola úspešne vykonaná. Za niektorých okolností, ako v prípade smerovania uskutočňovaných cez modemové linky, môže dochádzať k podstatnému spomaleniu prenosu a časové požiadavky pre niektoré protokoly prestávajú hrať podstatnú úlohu.

Protokoly sa dajú rozdeliť do niekoľkých typov:

- Podľa úrovne alebo vrstvy, v ktorej protokol pôsobí.
- Podľa sieťovej architektúry, pre ktorú je protokol určený. Zbernicové protokoly sa budú chovať inak (vo svojich detailoch), než protokoly spojené s kruhovými sieťami.
- Podľa toho, či je protokol synchronný alebo asynchronný.
- Podľa toho, či je protokol určený na prenos so spojením alebo bez spojenia.
- Podľa toho, či je protokol znakovito orientovaný alebo bitovo orientovaný.

4.1 Aplikovateľné protokoly

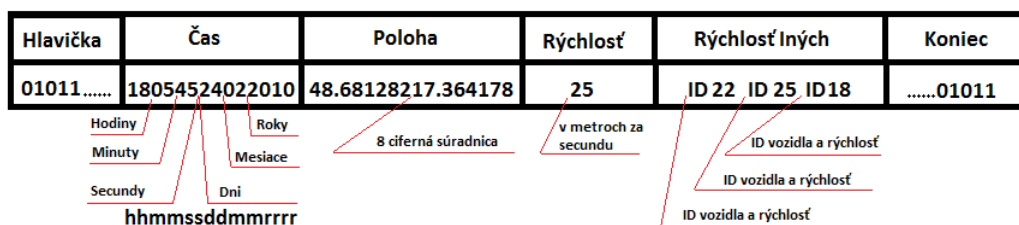
Úlohou tejto práce je i návrh a správa komunikačného protokolu, pomocou ktorého bude naviazaná komunikácia medzi vozidlami. Celý komunikačný proces by sa dal rozdeliť do troch hlavných častí a to:

- Naviazanie komunikácie s autorizáciou a autentizáciou,
- vlastná komunikácia a
- ukončenie komunikácie.

Pri naviazaní komunikácie by mal prebehnúť následný proces autorizácie, po autorizácii komunikácia, pri ktorej budú zasielané dáta, ktorých štruktúra je vidieť na obr.4.1. Štruktúra protokolu sa skladá z nasledujúcich položiek:

- Hlavička – dáta protokolu (identifikátor paketu, značenie začiatku paketu, atď.).
- Čas – časová pečiatka, kedy bola správa odoslaná.
- Poloha – GPS záznam o polohe vozidla.
- Rýchlosť – momentálna rýchlosť vozidla.
- Rýchlosť iných – rýchlosť vozidiel v danej oblasti.
- Koniec – ukončenie rámcu paketu.

Podľa typu použitej metódy na stanovenie vzájomnej vzdialenosti vozidiel prebehne výmena informácií postupne alebo jednorázovo. Vďaka flexibilitě systému spomínanej v kapitole 3, nebude problém zabudovať túto časť protokolu do už stávajúceho systému ako doplnkovú aplikáciu. Ide o čo najjednoduchšiu štruktúru protokolu na zabezpečenie predbiehania. Časový prenos a rýchlosť prenosu je do 100ms a tým je splnená podmienka, ktorá je kladená v predchádzajúcich kapitolách.



Obrázok 4.1: Štruktúra protokolu na zabezpečenie bezpečného predbiehania

4.1.1 Vlastnosti

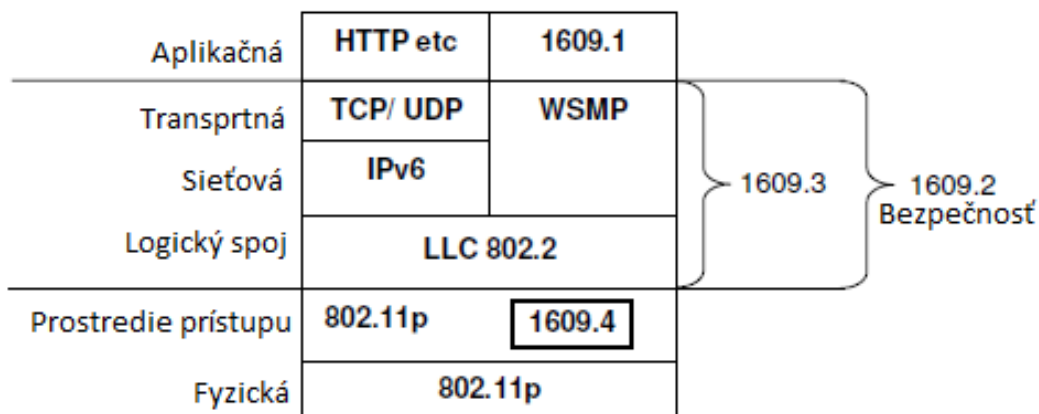
Pri navrhovaní protokolu na prenos medzi vozidlami bol kladený dôraz na spoľahlivosť, bezpečnosť a rýchlosť doručenia protokolu. Prvý a hlavný problém je čas medzi dorúčením a odoslaním správy, za ktorý vozidlo prejde určitú vzdialenosť. Počas tohto intervalu môže dôjsť k odchýlkam v rýchlosti a vzdialenosti. Vozidlo po obdržaní prvej série dát od druhého vozidla by mohlo stanoviť očakávanú rýchlosť a vzdialenosť, akú vozidlo medzi časom prešlo a porovnať ju s prijatou informáciou o skutočnej vzdialenosti (a rýchlosti). Druhý závažný problém je možnosť oneskorenia sa až na čas 100ms, pri ktorom sa palubná jednotka OBU prepne do naslúchajúceho módu, čím by dochádzalo k neustálemu prepínaniu a mohlo viesť k problémom straty paketov.

4.1.2 Porovnanie existujúcich protokolov

Táto kapitola čerpá informácie z existujúcich prác zameraných na protokoly bezdrôtovej komunikácie, určených na komunikáciu vo vozidlách.

Väčšina prác je zameraná na komunikáciu, avšak neriešia priamo zabezpečenie proti kolízii pri predbiehaní. Preto je zložitejšie porovnanie týchto protokolov.

Výhody tohto protokolu sú:



Obrázok 4.2: Protokolová sada WAVE [28]

- jednoduchosť vo variante metódy zasielania troch informácií,
- archivovanie cestných plánov,
- možnosť platenia pokút a prejdéných km na nespoplatnených úsekoch.

Nevýhody tohoto protokolu sú:

- priehľadnosť protokolu v prípade narušenia integrity systému, ľahko je možné napodobňovať,
- možnosť vydávania sa za iné vozidlo zmenou adresy MAC alebo priamo ID vozidla.

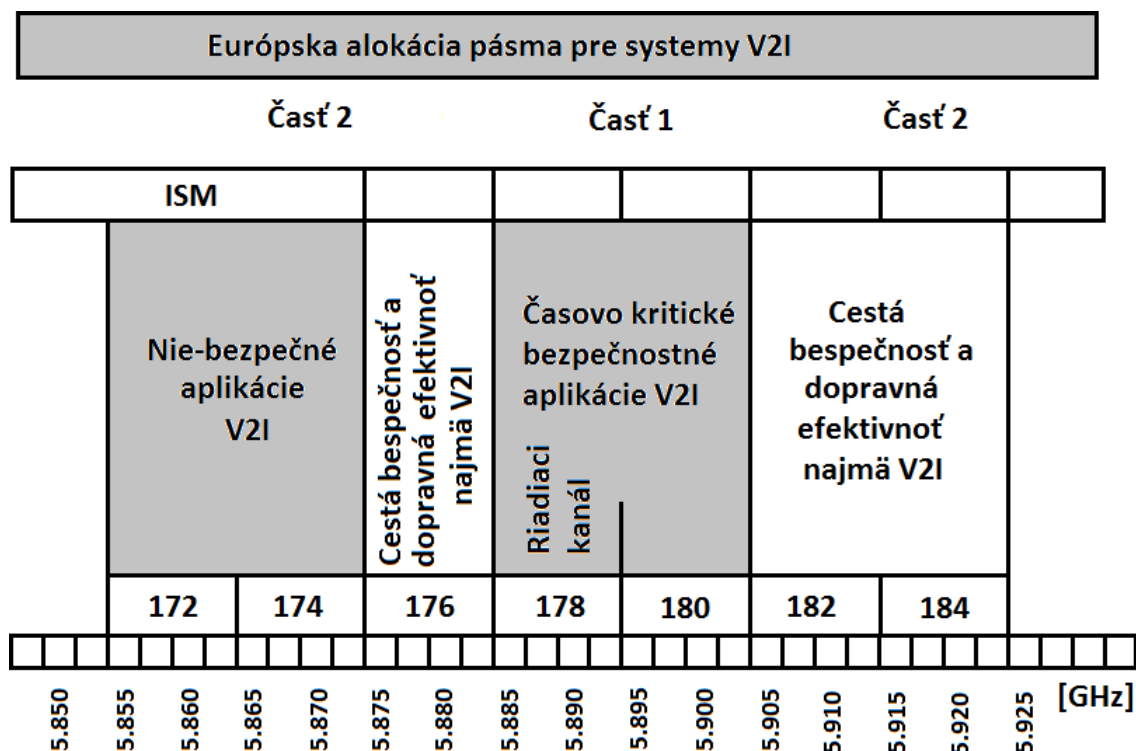
Až prax ukáže všetky výhody a nevýhody protokolu, ktorý je tu navrhovaný.

4.2 Zabezpečenie

Dôležité je určiť, či je potrebné zabezpečiť systém autorizáciou. Nakoľko ide o čo najrýchlejšie stanovenie polohy a kvalitné zabezpečenie by mohlo spôsobiť značné oneskorenie pri doručovaní správ. Čo môže viesť až k takému oneskoreniu že informácia nebude už aktuálna a tým bude zničená zavádzajúca. Avšak nezabezpečenie takýchto informácií môže spôsobiť, že niekto sa môže pokúsiť preniknúť do systému a tváriť sa ako vozidlo na ceste a tým môže vyvolávať milné informácie o dopravnej nehode a prípadne odkláňať vozidlá na iné cesty alebo dokonca úmyselne spôsobiť dopravnú nehodu. Na obrázku 4.3 je možné vidieť rozdelenie frekvenčného pásma na dve časti, ktoré sa ďalej rozdeľujú podľa bezpečnosti komunikácie. Dôležité je si povšimnúť, že na bezpečnosť v doprave a zabezpečenie komunikácie V2V a V2I sú vyhradené tri kanály.

4.2.1 Nezabezpečený variant

Pokiaľ sa bude predpokladať, že tento systém bude len za účelom informačným a nepôjde o systém, ktorý priamo ovplyvňuje cestnú premávku, považujem zabezpečovanie systému za zbytočné, nakoľko zdatný útočník dokáže slabé zabezpečenie prelomiť. I pri nezabezpečenom systéme sú prípady použitia široké, už od hlásenia problémov na ceste, po monitorovanie premávky, cestnej kontroly a prípadne zautomatizovanie pokút a informovanie vodiča o problémových úsekoch.



Obrázok 4.3: Frekvenčné pásmo vyčlenené pre komunikáciu V2I [11]

4.2.2 Zabezpečený variant

V prípade, že tento systém začne pracovať s osobnými údajmi, ako je napríklad identifikácia vozidla (ID), môže systém slúžiť na identifikáciu účastníka na ceste, automatické spoplatnenie úsekov ciest, ktoré vodič využíva, monitoring vozidiel firiem, bezpečnostné varianty systémov na hľadanie odcudzených áut a ďalšie. Bezpečný variant so sebou prináša väčšie riziká, väčšie technologické nároky ako aj časové a technické komplikácie v navrhnutom protokole.

4.2.3 Autorizácia

Autorizácia je nutná z hľadiska integrity komunikácie. Autorizácia a celkový priebeh komunikácie v protokole sú zobrazené na obrázku 4.4. WAVESTART pre rýchle naviazanie komunikácie, neumožňuje WAVE skenovanie a spájanie. WAVE beacon obsahuje všetky informácie o BSS, parametre služby a aplikácie. Keď OBU dostane WAVE beacon na WME, bude táto správa obsahovať všetky potrebné informácie odpovedajúce skenovaniu a spájaniu. WAVEANNOUNCEMENT iba na RSUs vysiela Beacon rámec na kontrolu kanálu. Beacon rámec obsahuje PST, ktoré informujú RSU o použitých službách. OBU musí použiť iba WAVE oznamovací rámec, ktorý obsahuje PST pre oznámenie OBU o aplikovaných službách v kontrolnom kanále. WAVE oznamovacia správa môže byť vysielaná na jedno alebo viaceré zariadenia naraz. Určité RSSIREQUEST WAVE aplikácie vyžadujú schopnosť ťahať údaje s vysokým rozlíšením RSSI hodnôt z WAVE zariadení. Napríklad RSU pošle žiadosť RSSI v akčnom rámci pre OBU, OBU prijme opatrenia RSSI hodnôt na požiadavku zo správy a zašle späť správu RSSI akčného rámca.

Pri komunikácii sa používajú nasledujúce príkazy, rozdelené do troch skupín:

- *WAVESTART*

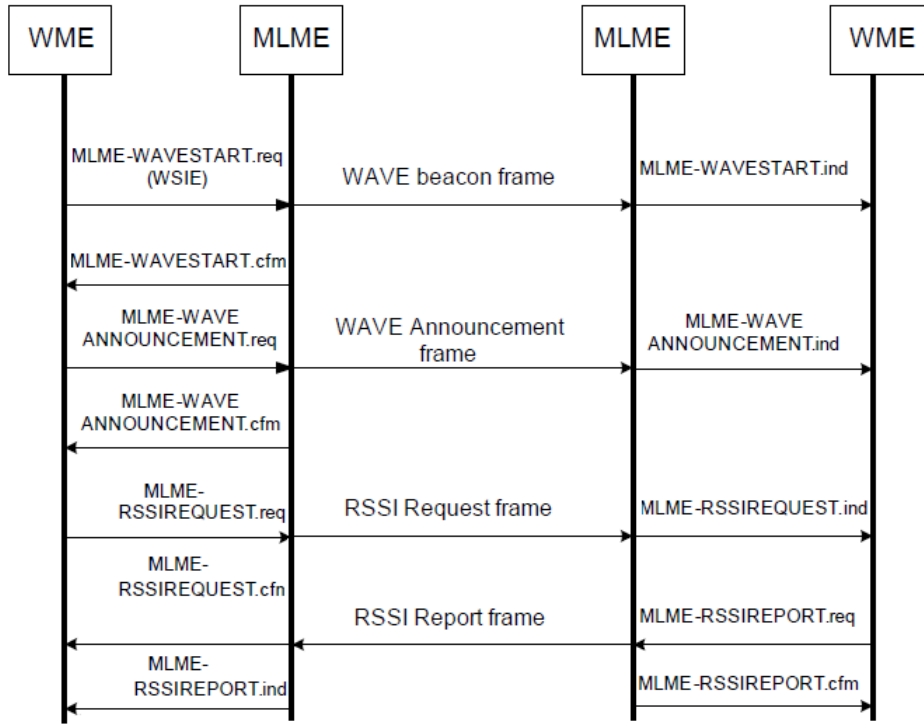
- *MLME-WAVESTART.request* (SSID, BeaconPeriod, ProbeDelay, CapabilityInformation, BSSBasicRateSet, OperationalRateSet, EDCA parameter set, Channel switch announcement, WSIE¹) je požiadavok na nadviazanie spojenia.
 - *MLME-WAVESTART.confirm* (Result Code) je spätná odpoveď s potvrdením spojenia.
 - *MLME-WAVESTART.indication* (SSID, BeaconPeriod, CapabilityInformation, BSSBasicRateSet, OperationalRateSet, EDCA parameter set, Channel switch announcement, WSIE, RSSI² , Peer MAC address) zaslaný WAVE monitorovacím rámcom medzi akciami „request” a „confirm”.
- *WAVEANNOUNCEMENT*
 - *MLME-WAVEANNOUNCEMENT.request* (SSID, BeaconPeriod, ProbeDelay, CapabilityInformation, BSSBasicRateSet, OperationalRateSet, EDCA parameter set, Channel switch announcement, WSIE Peer MAC address) je požiadavok na kontrolu kanálu pomocou PST.
 - *MLME-WAVEANNOUNCEMENT.confirm* (Result Code) je vyhodnotenie preposlaných informácií.
 - *MLME-WAVEANNOUNCEMENT.indication* (SSID, BeaconPeriod, CapabilityInformation, BSSBasicRateSet, OperationalRateSet, EDCA parameter set, Channel switch announcement, WSIE, RSSI, Peer MAC address) je PST zasielané späť s informáciou o službách a spôsobe komunikácie.
- *RSSIREQUEST*
 - *MLME-RSSIREQUEST.request* (Peer MAC address, Dialog Token, RSSI Request) je požiadavok na zistenie rýchlosti sťahovania z WAVE.
 - *MLME-RSSIREQUEST.confirm* (ResultCode) je vyhodnotenie možnosti.
 - *MLME-RSSIREQUEST.indication* (Peer MAC address, Dialog Token, RSSI Request) je požiadavok na zistenie hodnoty RSSI.
 - *MLME-RSSIREPORT.request* (Peer MAC address, Dialog Token, RSSI Request) je požiadavok na zistenie portu.
 - *MLME-RSSIREPORT.confirm* (ResultCode) je stanovenie portu.
 - *MLME-RSSIREPORT.indication* (Peer MAC address, Dialog Token, RSSI Report) je zisťovaný port pre komunikáciu.

Na obrázku je znázornená autorizácia, komunikácia a ukončenie komunikácie. Vďaka tomu je zabezpečená komunikácia na základnej úrovni a netreba pridávať vlastné návrhy.

¹WAVE Service Information element – WAVE servisný informačný prvok

²Received Signal Strength Indication – je označenie pre jednotku určujúcu kvalitu signálu pre bezdrôtové zariadenia (najčastejšie postavené na technológii WiFi).

Vzorec pro výpočet RSSI je nasledujúci: $RSSI = \text{absolutní hodnota z kvality signálu v dB} - 96\text{dB}$



Obrázok 4.4: WAVE naviazanie [17]

4.3 Čas prenosu

Čas je dôležitým faktorom, ktorý vplýva na prenos informácií medzi pohybujúcimi sa vozidlami. Prekážky, ktoré vznikajú pri prenose dát sú časové oneskorenia. Podobný problém je riešený v práci [25] pri prenose upozorňujúcich správ. Tento problém sa rieši stanovením presného oneskorenia pomocou vzťahu 4.3. Tomu však predchádzajú vzťahy 4.1 a 4.2. Vo vzťahu 4.1 je výpočet $Oneskorenie_c$ pre stanovenie oneskorenia, ktoré vzniká čakaním medzi odosielaním správy a čakaním na príjem správy, μ symbolizuje počet prenášaných paketov v servisnom kanáli a λ znázorňuje počet obsadených paketov. Zo vzťahu 4.2 je p pravdepodobnosť správne prijatých upozorňujúcich správ, λ_0 je začiatočná prenosová rýchlosť upozorňujúcich správ a $f(\lambda_0, j)$ je najvyššia prenášaná rýchlosť signálu, kde j a i je počet prijatých paketov. Takto sa stanoví presné $Oneskorenie_{op}$. Celkové oneskorenie je potom sčítaním $Oneskorenie_c$ a $Oneskorenie_{op}$ (viď vzťah 4.3).

$$Oneskorenie_c = \frac{1}{\mu - \lambda} + \frac{1}{\mu} \quad (4.1)$$

$$Oneskorenie_{op} = \sum_{i=2}^{\infty} (1 - p)^{i-1} * p * \left(\sum_{j=1}^{i-1} \frac{1}{f(\lambda_0, j)} \right) \quad (4.2)$$

$$Oneskorenie = Oneskorenie_c + Oneskorenie_{op} \quad (4.3)$$

Z predchádzajúcich vzťahov vyplýva, že jednoduchosť protokolu môže zaručiť včasné doručenie signálu k cieľovej stanici a súčasne tak nezaťažovať sieť. Vplyv času na tento systém je spomínaný vyššie. Čas, ktorý potrebujeme na doručenie správy a spätného prijatia, je čas prenosu. Tento čas by mal byť v rádoch milisekúnd a nemal by prekročiť hranicu 200 ms,

nakoľko tento čas je čas, ktorý vozidlo prejde medzi zaslaním ďalšej správy. Pre presnosť je dôležitá minimalizácia týchto časových prenosov.

4.4 Záver

Táto oblasť patrí medzi najdôležitejšie z pohľadu dátových prenosov, pretože je tu opísané a presne znázornené, ako by mal protokol na prenos dát a teda komunikáciu medzi vozidlami vyzeráť. Taktiež sú tu spomínané vlastnosti, výhody a nevýhody nami navrhovaného protokolu, ako aj stručný pohľad na bezpečnosť systému. V závere kapitoly je rozobratý čas prenosu a jeho vplyv na komunikáciu.

Kapitola 5

Lokalizácia vozidla

Lokalizácia je potrebná pre stanovenie polohy vozidla a ideálne presná lokalizácia je do 100 cm, nakoľko presnosť stanovenia polohy je dôležitá neskôr, keď sa s polohou vozidla pracuje.

5.1 Možnosti lokalizácie

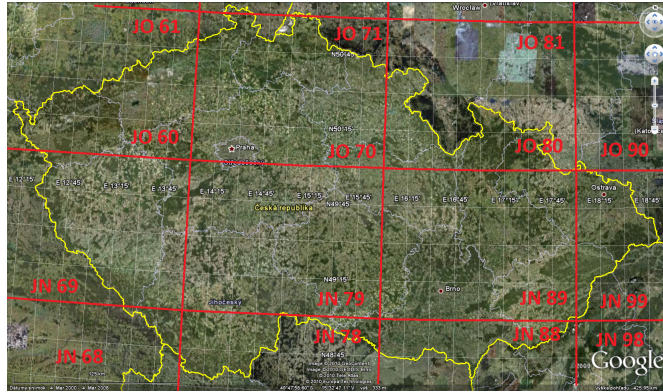
V súčasnosti je veľa možností ako lokalizovať vozidlo. Pre nasledujúcom texte sú uvedené najdôležitejšie z nich:

- Rádio lokalizácia – lokalizácia pomocou rádiových súradníc.
- GPS – lokalizácia pomocou družíc.
- Lokalizácia pomocou bezdrôtových sietí.
 - WLAN – rôzne spôsoby lokalizácie v sieti WLAN.
 - GSM – lokalizácia pomocou buniek (viď. obr. 5.2).

5.1.1 Rádiová lokalizácia

Jednou z možností rádiovkej lokalizácie je rádio lokalizácia s pomocou rádio „locatora“, ide o šesťmiestnu kombináciu znakov, skladajúcich sa z dvoch písmen, dvoch čísel a opäť z dvoch písmen. Celý zemský povrch je rozdelený na 18 x 18, tj. 324 polí o rozmeroch 20 stupňov zemskej dĺžky a 10 stupňov zemskej šírky. Ide o presné učenie polohy na zemskom povrchu. Pole AA začína na 90° južnej šírky a 180° západnej dĺžky. Keď sa prechádza z jedného pola do druhého od západu na východ, mení sa postupne prvé písmeno na B, C atď. Ak postupujeme z juhu na sever, mení sa druhé písmeno. Česká republika patrí vo svojej južnej časti do pola JN, a v severnej časti do pola JO. Na území Slovenska je to v západnej časti JN a vo východnej časti pole KN. Nasledujúca dvojica čísel je rozdelená na 100 štvorcov, tzv. „squares“ s rozmermi 2° dĺžkové a 1° šírkové a označené sú inkrementálne zľava zdola hore doprava od 00 po 99. Ďalej platí, že od západu na východ sa mení postupne prvé číslo a od juhu na sever druhé číslo. Posledné delenie je u každého štvorca na 24 x 24 malých štvorcov o rozmeroch 2,5' x 5', ktoré sú rozlíšené poslednou dvojicou písmen AA až XX. Na mapách, ktoré sú s týmito štvorcami vydávané, je určenie vlastného malého štvorca zložitejšie a niekedy až nemožné. Preto svoje vlastné stanovisko zistíme najlepšie podľa špeciálnej možnosti, kam si vo svojom okolí zakreslíme aj sieť malých štvorcov. Tento spôsob rozdelenia a lokalizácie sa na VKV ujal okamžite a postupne prenikol do KV, pretože sa začal vydávať diplom „Lokátory ČR“ za spojenie s najmenej 300 lokátormi v ČR

a tak už i na krátkovlnných pásmach sa často stretávame s otázkou „povedz mi ešte, aký je tvoj lokátor“ a nesmie prekvapiť veta „môj lokátor je JN79DG“. Všetko je jasné podľa vysvetlenia uvedeného vyššie. Pre upresnenie sa dá použiť mapa na obrázku C. Po prepočítaní možností rozšírenia vychádza, že pokiaľ by sme pridali ešte jednu sadu dvojíc čísel, tak priestor v ktorom by sme lokalizovali vozidlo, je približne 600 m, z čoho vyplýva, že rádio lokalizácia je maximálne neefektívna a nedá sa pre naše účely využiť.



Obrázok 5.1: Mapa pre súradnicovú rádio lokalizáciu[8]

5.1.2 GPS

GPS (Global Positioning System - svetový pozičný systém) je satelitný navigačný systém a používa sa na stanovenie presnej polohy na zemskom povrchu, prípadne na zemskom orbite. Na stanovenie polohy používa zostavu aspoň 24 satelitov. Údaje o polohe dokáže nezávisle na počasi stanoviť 24 hodín denne. Jedná sa o pasívny družicový dialkomerný systém. Objednávateľom tohto systému bolo Ministerstvo obrany USA a účelom bolo rýchle stanovenie presnej polohy, rýchlosti a času pre pozemné a vzdušné jednotky v jednotnom referenčnom systéme. Nakoľko systém bol vyvíjaný pre vojenský sektor, musel Americký kongres uvoľniť túto technológiu s istými obmedzeniami pre civilný sektor[12]. Pokiaľ by sme chceli stanoviť, čo sa približne deje v každom GPS prijímači a opísať tento dej, povedali by sme, že sa jedná o určenie polohy meraného bodu z priesečníkov guľových plôch, ktorých polomer je daný meranými vzdialenosťami. Takýto systém má tiež názov „dialkomerný systém“. Veličinou ktorú sa meria je doba šírenia rádiového signálu od antény z družice až k anténe GPS prijímaču. Rýchlosť šírenia signálu je rovná rýchlosti svetla. Družica v navigačnej správe okrem iných údajov posiela i údaje o svojej dráhe (efemeridy), vďaka ktorým dokáže vypočítať aktuálnu polohu družice (X,S,Y,S,Z,S). Keď už budeme poznať súradnice družíc, vieme polohu užívateľa (X,Y,Z) určiť výpočtami sústav troch rovníc o troch neznámych. Problematika stanovenia polohy by bola oveľa jednoduchšia, keby časové (základné) hodiny užívateľa a družice boli synchronné. Takže najväčším problémom v tomto prípade je doba, ktorá uplynie medzi dialkomerným signálom z družice GPS a následne jeho prijatím na užívateľský GPS prijímač. Preto sa rieši tento problém na strane užívateľa posunutím časového intervalu o neznámu Dt , ktorý môžeme prepočítať na vzdialenosť $b = cDt$ (kde c je rýchlosť svetla). Takže k neznámych súradniciam užívateľa pridávame neznámu b a pre výpočet polohy potrebujeme celkovo štyri rovnice $(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = D_i + bD_i = ctm_{ii} = 1, 2, 3, 4$. Užívateľské GPS zariadenie generuje kópiu signálu vysielaného zvolenou družicou, túto kópiu zosynchronizuje s prijímaným signálom a meria posun tmi počiatku tejto kópie vzhľadom

k počiatku svojej časovej základni[12]. Meraný čas tmi môžeme prepočítať na vzdialenosť D_i , ktorá sa nazýva „pseudovzdialenosť” (pseudorange). Ak sa meranie uskutočňuje minimálne k štyrom družiciam, máme k dispozícii všetky veličiny potrebné pre riešenie sústavy rovníc, ktorých neznámymi sú súradnice (X,Y,Z) a posun D_t užívateľovej časovej základne vzhľadom k časovej základni družice. Podľa poznatkov, čo sa mi podarilo nájsť o GPS ide o lokalizáciu na zemskom povrchu s presnosťou 10-15m. Presnosť výpočtu GPS po vypnutí SA (Selective Availability – Selektívna dostupnosť) je závislá na najväčšej chybe a to na nepredvídateľnom oneskorení prechodom ionosférou. SA je zámerné pridanie 100m chyby pre výpočty. Táto chyba je pridaná do výpočtu zámerne zo strategických dôvodov znemožniť priamu navigáciu striel civilným GPS systémom. Ionosférické oneskorenie je pre každú frekvenciu iné a TEC je celkový elektrónový obsah a to je prvok, ktorý určuje frekvenciu. Ďalšou možnosťou je vylepšené GPS, ktoré sa nazýva CPGPS a pracuje s presnosťou 1% prechodu a tým znižuje chybu o 3 cm nepresnosti. Spojením CPGPS a DGPS sa pohybuje presnosť v okolí 20 a 30 cm s absolútnou presnosťou. Ak by sme chceli GPS ešte viac spresniť, museli by sme použiť RTK (relatívne kinematické umiestnenie). Vďaka tomu sa dá spresniť výpočet s chybou menšou ako 10 cm. To je dosiahnuté cyklom, akým sú vysielané a prijímané signály. Bližšie informácie o GPS sú pre túto prácu nepodstatné a pre naše účely je nutné stanoviť čo najpresnejšiu polohu. Z dostupných zistení je jasné, že bude vhodne využiť GPS. Najideálnejšie by bolo využiť GPS s čo najväčšou presnosťou.

5.2 Lokalizácia pomocou bezdrôtových sietí

Nakoľko lokalizácia v bezdrôtových sieťach GSM už je používaná pri lokalizácii MS¹, či už na záchranu osôb alebo len pre zábavu, nižšie ju popíšeme a zmienime sa aj o lokalizácii v sieti WLAN².

5.2.1 GSM

V súčasnosti sú MS veľmi rozšírené u užívateľov a tým súvisí i možnosť čo najpresnejšej lokalizácie týchto mobilných bezdrôtových zariadení v bezdrôtovej sieti. Stanovenie pozície môže byť použité na rôzne účely, ako je prispôsobenie aplikácie konkrétnemu užívateľovi a jeho polohy, navigácia, atd. Nezanedbateľné je využitie v oblasti verejnej bezpečnosti a to rôznymi spôsobmi, ako napríklad zaslanie informácií o nebezpečenstve len MS v danej lokalite pomocou GSM siete. Zaisťovanie lokalizácie MS je obecné najčastejšie realizované dvoma spôsobmi.

Sú to nasledujúce metódy[6]:

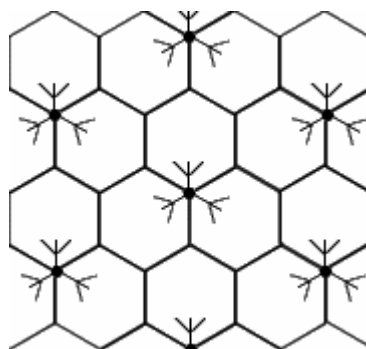
- Hrubá metóda – Všetky systémy mobilných sietí vrátane GSM rozdeľujú územie na bunky (viď. obr.5.2) obsluhované jednotlivými základnými stanicami BTS. Táto metóda určenia polohy MS je založená na princípe stanovenia, ku ktorej základnej stanici BTS je MS pripojená.
- Jemná metóda – na rozdiel od hrubých metód, stanovujú jemné metódy MS pomocou faktorov riadených v bunke BTS. Pozname nasledujúce typy metód.
 - CGI+TA (cell global identity + timing advance) – využíva fakt, že BTS vysielajú v sektoroch kruhových výsekov. Pokiaľ vieme z ktorého sektoru MS komunikuje,

¹Mobile station – Mobilná stanica

²Wireless LAN – alebo tiež (Wi-fi, WiFi, Wifi,wi-fi, wifi) je štandard pre lokálnu bezdrôtovú sieť a vychádza so špecifikáciou IEEE 802.11

poznáme smer v ktorom sa MS od BTS nachádza. MS vysielajú s istým predstihom, aby ich vysielanie neprichádzalo na BTS s oneskorením a tak nekolidovalo s ostatnými MS v poradí. Preto sa priebežne v sieti GSM pre každú MS kalibruje hodnota TA³. Vďaka rýchlosti šírenia a hodnoty TA vieme s presnosťou na približne 550m stanoviť vzdialenosť od BTS. Keďže budeme poznať polohu BTS, smer osi sektoru a vzdialenosť MS od BTS, pomocou metódy CGI+TA vieme stanoviť polohu.

- UL-TOA a E-OTD – menej sa používajú metódy, ktoré vyžadujú špeciálnu SIM kartu Toolkit a jej podporu zo strany MS. Aplikácia v SIM sa neustále pýta BTS v okolí na ich polohu a vzdialenosť MS od nich. Tieto informácie zasiela do vyhodnocovacieho centra, ktorá mu obratom poskytne informáciu o výpočte polohy MS. Presnosť tejto metódy UL-TOA a E-OTD je niečo medzi 60 až 220m podľa hustoty výstavby. Metódu najjednoduchšie pochopíme, ak si predstavíme, že sa nachádzame v strede prekrývajúcich sa dvoch a viacerých pasiem, kde podľa informácii s BTS určíme, kde sa presne nachádzame.



Obrázok 5.2: Sektorizácia siete GSM

Dá sa vybudovať špeciálna infraštruktúra, ako je systém družicovej navigácie GPS, Galileo alebo Glonnas. Popríklad pre lokalizáciu môžeme využiť už existujúcu štruktúru. Nakoľko je v súčasnosti najrozšírenejším spôsobom rádiovkej komunikácie s MS systém druhej generácie GSM, bližšie je táto možnosť opísaná v časti 2.2.

5.2.2 WLAN

V súčasnosti je pre bezdrôtovú komunikáciu v budovách používaná Wifi (WLAN) sieť a na lokalizáciu v sieti WLAN sa používajú tri základne metódy, ako určiť pozíciu užívateľa v bezdrôtovej sieti:

- Metóda triangulácie, ktorá vyžaduje najmenej tri jednoznačné odhady vzdialeností mobilnej stanice od známych pevných bodov. Tieto odhady môžu byť získané z času alebo z časových rozdielov prichádzajúceho signálu alebo zo sily prijatého signálu, pokiaľ predpokladáme, že výkonová úroveň prijatého signálu (ďalej len RSS - Received signal strength) klesá úmerne vzdialenosti.
- Použitie smeru alebo uhlov prichádzajúceho signálu (ďalej len AOA – Angle of arrival) najmenej dvoch rôznych signálov zo známych bodov.

³Timing Advance – časový predstih

- Metóda odtlačku signálu (location fingerprint). Spočíva vo vytvorení databázy odtlačkov určitej charakteristiky signálov, ktorá je závislá na polohe zariadenia. Touto charakteristikou býva najčastejšie RSS. Ďalšou možnou charakteristikou poskytovanou sieťami WLAN je pomer SNR (Signal to Noise Ratio – odstup signálu od šumu). Tá má však nižšiu mieru korelácie so vzdialenosťou od AP (Access Point – prístupový bod siete WLAN). Databáza je potom porovnávaná s konkrétnym odtlačkom zariadenia, ktorého polohu chceme získať. Dá sa stretnúť aj s inými charakteristikami signálu, napríklad oneskorenie spôsobené viaccestným šírením[20]. Takáto technika však vyžaduje špecializovaný hardware na každej základňovej stanici (BS – Base station) alebo na prístupovom bode (AP – Access point). Naproti tomu RSS je v sieťach WLAN ľahko získateľnou veličinou, ktorú AP už meria. Táto metóda je najpoužívanejšou preto, že sa dá ľahko implementovať. Základnou problematikou tejto metódy je vytvorenie databáz odtlačku. Možnosti, ako vytvoriť túto databázu, sú v zásade dve:
 - Meraním – tento druh je považovaný za spoľahlivejší a má väčšiu presnosť[21]. Jeho nevýhodou je náročnosť tohto merania a nutnosť opakovania pri zmenách sledovaného priestoru.
 - Empirickým modelom šírenia – táto metóda má nižšiu presnosť ako metóda merania, i keď vyžaduje pomerne presné vstupné dáta. Je to spôsobené veľmi komplikovaným viaccestným šírením.

5.3 Záver

V tejto kapitole sú spomenuté rôzne druhy lokalizácie vozidla. Pri prvej by sa pre presnejšie výsledky dalo rozšíriť lokátor na osem cifernú hodnotu a dokázali by sme stanoviť presnú polohu vozidla napr. na pol metra. Avšak pre stanovenie polohy vozidla by bolo vhodné umiestniť zariadenie, ktoré by sledovalo smer pohybu v rámci svetových strán a tým pádom by dokázalo určiť nasledujúcu súradnicu nášho vozidla. Preto je oveľa jednoduchšie využiť na tento účel už existujúcu a modernú satelitnú technológiu GPS, ktorá je zo spomínaných technológií najideálnejšia.

Kapitola 6

Dôležité parametre systému

Nižšie je popísaná komunikácia medzi dvomi vozidlami a postupne opísané získanie rýchlosti dvoch vozidiel a s pomocou GPS stanovená poloha a ich vzájomné vzdialenosti. Pomocou jednoduchého vzorca na stanovenie rýchlosti, ktorý je vysvetlený nižšie, bolo odvodené miesto stretnutia týchto dvoch vozidiel, nakoľko úlohou je zabrániť zrážke týchto vozidiel. Podľa štatistiky sa najčastejšie stáva zrážka pri manévri predbiehania. Pod rýchlosťou je ešte spomenuté zrýchlenie, pretože v pôvodnom návrhu má systém za úlohu upozorniť vodiča pri manévri predbiehania, aby zrýchlil vozidlo a tým zabránil zrážke. Zároveň by mal upozorniť oproti idúce vozidlo na to, že proti nemu ide vozidlo, ktoré sa pokúša predbiehať a že musí spomaliť, ak sa chce vyhnúť zrážke, ktorá by podľa výpočtov mohla nastať. Z poznatkov, ktoré sú nižšie uvedené vychádza, že systém by mal slúžiť ako nápomocný informačný systém.

6.1 Stanovenie vzdialenosti

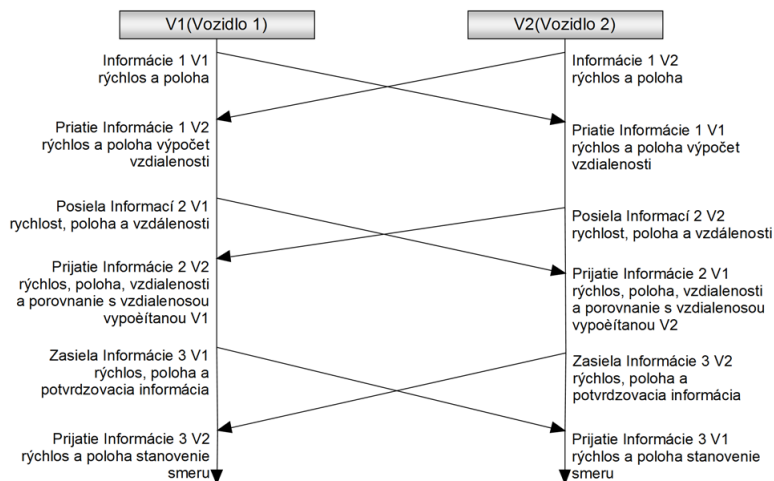
Pôvodná myšlienka bola strohé vysielanie rádiosignálom všetkým vozidlám v okolí a informovať ich o vozidle s určitou rýchlosťou. Pre zasielanie svojej rýchlosti bolo stanovené použiť prevodník z tachometra. Postupne boli zistené a vykonané isté vylepšenia. Aby bol tento systém celosvetovo jednotný sa docielilo vydaním štandardu 802.11p - štandard pre komunikáciu V2V. Počiatočné plány boli obmenené vďaka zisteniam o možnostiach využitia nových technológií. V princípe šlo o technológiu, ktorá dokáže komunikovať na vzdialenosti v rádoch 1000 m, je veľmi rýchla a nemá kladenú podmienku na nutnú viditeľnosť, keďže cesty na území ČR a SR nie sú väčšinou priame cesty. Preto je dôležité vedieť stanoviť vzdialenosť vozidla aj v klukatom a hlavne neprehľadnom teréne, nakoľko nie je moc vhodné stanoviť vzdialenosť pomocou vzdušnej čiary. V návrhu bola vybraná moderná metóda na stanovenie polohy GPS s pomocou modulov, ktoré túto funkciu v sebe majú.

Pre stanovenie vzdialenosti sa dajú použiť nasledujúce dve metódy:

- Prvá je založená na vzájomnej výmene troch za sebou idúcich informácií a týmto spôsobom dokáže stanoviť vzájomnú vzdialenosť a určiť aj smer vozidla.
- Druhá metóda je aplikovateľnejšia a predpokladá s budúcnosťou komunikácie medzi vozidlami. Je postavená na princípe, kde vozidlo zašle svoju rýchlosť, polohu a smer jazdy do svojho okolia a čaká na odpoveď.

Metóda troch informácií

Ide o jednoduché určenie vzdialenosti, pokiaľ poznáme svoje súradnice V1 a súradnice bližšieho sa vozidla V2, ktoré nám budú zaslané rovnako. Overovací proces je stanovený v troch krokoch. V1 zašle V2 informácie o svojej rýchlosti, súradnice s polohou a počká na príjem rovnakých informácií od V2. Následne po prijatí a stanovení pozičných súradníc určí vzdialenosť vozidiel. V tomto okamžiku zasiela druhú radu informácií opäť o rýchlosti a pozičných súradniciach a pridáva informáciu o vzdialenosti V2. V2 vykoná rovnaký proces s prijatými informáciami a zasiela informáciu o rýchlosti a pozičných súradniciach a pridáva svoj výpočet vzdialenosti. Nakoľko obe strany zaslali svoje súradnice v rovnakom čase, je porovnávaný ich výpočet, dané dáta by mali byť zhodné. V poslednom kroku je zasielaná informácia o rýchlosti, pozičné súradnice overovanie môžu byť pri konci a pomocou troch informácií o polohe je schopný stanoviť i smer jazdy. Táto problematika bude ešte spomínaná pri stanovovaní smeru na diaľniciach. V prípade, že nedôjde k zhode alebo nebude doručený jeden z overovacích signálov, bude vyžiadaná nová synchronizácia a tým sa celý proces zopakuje od kroku jedna (zaslania informácií o polohe a rýchlosti). Komunikácia je znázornená na nasledujúcom obrázku (obr. 6.1).



Obrázok 6.1: Štruktúra komunikácie medzi V2V a stanovenie vzdialenosti.

Metóda úplných informácií

Táto metóda je založená na princípe zasielania správ s úplnou informáciou v intervale jednej sekundy. Formát správy ma tvar: čas, rýchlosť, súradnice pozície a cieľ cesty, kam vozidlo smeruje (s presne vypísanými bodmi, cez ktoré má vozidlo v pláne prechádzať). Dôležité je, aby bol čas synchronizovaný, pretože jedna sekunda je veľmi dlhý časový úsek, za ktorý je vozidlo schopné prejsť niekoľko desiatok metrov. Metóda vyžaduje väčšie pamäťové nároky na strane užívateľa, ktorý vysiela informačnú správu. Po zaslaní správy očakáva spätnú komunikáciu od iného vozidla, ktoré vojde do okruhu 1 km. V okamihu prijatia správy je porovnaná s časom v databáze vozidla, na tomto základe vypočíta vzdialenosť a miesto stretnutia. Cyklus sa opakuje a tým sa znižuje odchýlka, ktorá vzniká medzi časovými intervalmi a výpočtami stanovujúcimi vzdialenosť medzi vozidlami. Následne sa používajú už nižšie spomínané metódy stanovenia bezpečného predbiehania (viď vzťah 6.14 až 6.16) .

6.2 Rýchlosť

Rýchlosť (značka $v(t)$) telesa je vektorová veličina, definovaná ako zmena polohy telesa (teda úsek dráhy, ds) podelená časom, za ktorý zmena nastala (dt). Vyjadruje mieru, akou sa mení poloha telesa v čase. Jednotkou rýchlosti v sústave SI je meter za sekundu (m/s). Bežnou jednotkou je aj kilometer za hodinu (km/h). Ak sa teleso pohybuje rovnomerným pohybom a za čas $t(s)$ prejde dráhu $s(m)$, jeho rýchlosť vypočítame podľa vzťahu (6.1) a (6.2). Pri pohybe po trase sa hmotný bod nachádza v bode A trasy v čase t_A , v bode B v čase t_B . Dĺžka dráhy medzi bodmi A a B označíme Δs . Veľkosť priemernej rýchlosti hmotného bodu na časti trasy medzi bodmi A a B potom definujeme ako podiel veľkosti dráhy Δs medzi body A, B a času $\Delta t = t_B - t_A$, ktorý potreboval k prejdeniu danej dráhy:

$$\bar{v} = \frac{\text{celková dráha}}{\text{celkový čas pohybu}} \left[\frac{km}{h} \right] \quad (6.1)$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left[\frac{km}{h} \right] \quad (6.2)$$

6.3 Zrýchlenie

Zrýchlenie je fyzikálna veličina udávajúca zmenu rýchlosti za jednotku času. V sústave SI je jednotkou zrýchlenia m/s^2 (meter za sekundu na druhú). Pri výpočte je treba v podeliť 3,6, aby sme previedli rýchlosť z km/h na m/s. Charakteristikou zmeny rýchlosti $v(t)$ je vektorová veličina zrýchlenia $a(m.s^{-2})$. Vo vzťahu (6.3) je definovaná derivácia vektoru rýchlosti podľa času.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta v_2 - \Delta v_1}{\Delta t_2 - \Delta t_1} \left[m.s^{-2} \right] \quad (6.3)$$

6.4 Stanovenie miesta stretnutia

Pomocou vzťahu (6.2) uvedeného vyššie a poznatkov je odvodený vzťah (6.4) na určenie miesta stretnutia.

Výpočet vzdialenosti, ktorú prejde vozidlo rýchlosťou za čas.

$$S = \Delta v * \Delta t [km] \quad (6.4)$$

Výpočet vzdialenosti, ktorú prejde vozidlo V1 rýchlosťou $v_1(t)$ za čas $t_1(s)$ môžeme vidieť vo vzťahu (6.5).

$$S_1 = \Delta v_1 * \Delta t_1 [km] \quad (6.5)$$

Výpočet vzdialenosti, ktorú prejde vozidlo V2 rýchlosťou $v_2(t)$ za čas $t_2(s)$ môžeme vidieť vo vzťahu (6.6).

$$S_2 = \Delta v_2 * \Delta t_2 [km] \quad (6.6)$$

Výpočet celkovej vzdialenosti vo vzťahu (6.7) a času vo vzťahu (6.8), pokiaľ poznáme vzdialenosť, ktorú prešlo vozidlo V1 a V2 a čas.

$$S_{12} = S_1 + S_2 [km] \quad (6.7)$$

$$\Delta t_{12} = \Delta t_1 + \Delta t_2 [h] \quad (6.8)$$

Výpočet celkového času, za ktorý prejdú vozidla V1 a V2 celkovú vzdialenosť vo vzťahu (6.9), po sčítaní vzájomnej rýchlosti vozidiel sa podelí vzdialenosťou, ktorú musia vozidlá prejsť.

$$\Delta t = s_{12} \div (\Delta v_1 + \Delta v_2) [h] \quad (6.9)$$

Výpočet dráhy, ktorú prejde vozidlo V1, pokiaľ pôjde stále tou istou rýchlosťou, môžeme vidieť vo vzťahu (6.10).

$$S_1 = \Delta v_1 * \Delta t [km] \quad (6.10)$$

Výpočet dráhy, ktorú prejde vozidlo V2, pokiaľ pôjde stále tou istou rýchlosťou, môžeme vidieť vo vzťahu (6.11).

$$S_2 = \Delta v_2 * \Delta t [km] \quad (6.11)$$

Zo vzťahu (6.9) a dosadením do (6.10) a (6.11), získame zjednodušený zápis výpočtu vzdialenosti vozidiel, ktorú prejdú, kým sa stretnú.

$$S_1 = \Delta v_1 * (s_{12} \div (\Delta v_1 + \Delta v_2)) [km] \quad (6.12)$$

$$S_2 = \Delta v_2 * (s_{12} \div (\Delta v_1 + \Delta v_2)) [km] \quad (6.13)$$

6.5 Výpočet bezpečného predbiehania



Obrázok 6.2: Animácia s protismerom

Výpočet bezpečného predbiehania je súčasťou zadania, aj keď v systéme má len informatívny charakter. Nakoľko z fyziky je známi vzťah pre rýchlosť a zrýchlenie, ktoré sme uviedli vyššie, dokážeme pomocou parametrov získaných z GPS určiť, či je vozidlo schopné bezpečne predísť druhému vozidlu (viď. vzťahy 6.14 a 6.15). Bezpečnou vzdialenosťou pre predbiehanie je vzdialenosť aspoň 20m a je to minimálna vzdialenosť, ktorá musí byť medzi predbiehajúcim a protiídúcim vozidlom. Zákon hovorí, že vozidlo protiídúce nesmie byť obmedzené ani ohrozené. Vodič protiídúceho vozidla môže mať pocit ohrozenia a musí pribrzdiť, čím dochádza k jeho obmedzeniu.

$$S_{23} = \Delta v_3 * (s_{12} \div (\Delta v_2 + \Delta v_3)) [km] \quad (6.14)$$

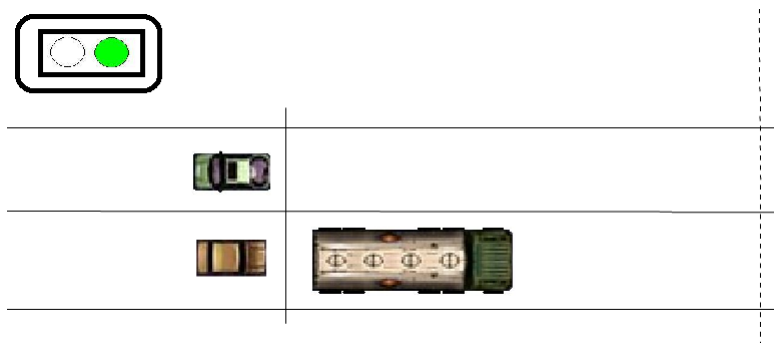
$$S_{13} = \Delta v_3 * (s_{12} \div (\Delta v_1 + \Delta v_3)) [km] \quad (6.15)$$

Za bezpečné považujeme predbiehanie, ak platí táto podmienka zo vzťahu (6.16), pokiaľ dráha, ktorú prejde vozidlo v protismere k predbiehanému vozidlu, je väčšia ako dráha, ktorú prejde protiidúce k predbiehajúcemu, o nami určenú vzdialenosť.

$$S_{23} - S_{13} < 0,02 [km] \quad (6.16)$$

Dôležité je uvedomiť si, že sme sa pohybovali v teoretickej rovine, počítali sme len s rovnomerne zrýchleným pohybom a konštantnými rýchlosťami. V reálnom svete je bežný nerovnomerne zrýchlený pohyb vozidiel a premenlivá rýchlosť. Systém funguje len informačne a závisí na viacerých parametroch, výsledné hodnoty nemusia byť extrémne presné, dôležitý je aj odhad.

Systém by bolo možné jednoducho realizovať, aby nerozptyľoval vodiča, ale jasne signalizoval (svetelne zelenou, prípadne červenou signalizáciou) možnosť predbehnutia. Výpočty by ho nemuseli zaujímať. Príklad je možné vidieť na animácii, ktorá je priložená k práci.



Obrázok 6.3: Animácia bez protismeru

V animácii je možné taktiež vidieť, ako vozidlá vstupujú do okruhu 1 km a ako vozidlo nemôže predbehnúť kamión skôr, ako tieto vozidlá neopustia jeho predný polkruh. Až potom začne proces predbiehania, na ktorý je vodič upozornený displejom a zelenou signalizáciou „voľno“.

6.6 Záver

V tejto kapitole boli popísané spôsoby, akými môže byť naviazaná komunikácia medzi dvomi vozidlami a zároveň, ako môžu tieto vozidlá stanoviť miesto vzájomného stretnutia pomocou GPS. Ďalej bolo v kapitole rozobraté zasielanie informácií o rýchlosti a polohe jednotlivých vozidiel. Na základe týchto poznatkov vieme určiť, či vozidlo bude schopné predbehnúť včas alebo bude musieť pribrzdiť.

Kapitola 7

Budúcnosť a rozšírenie komunikácie V2V

Oblasť poukazuje na následné možnosti nadstavby a budúcnosť komunikačného systému.

7.1 Rozšírenie systému

Ďalšie možnosti tohto systému sú:

- Núdzové varovanie systému pre vozidlá
- Kooperatívny adaptívny tempomat
- Blížiac sa vozidlo záchranného systému (Modrá vlna)
- Vozidlá bezpečnostnej kontroly
- Elektronické parkovacie platby
- Kontrolu odbavenia a bezpečnosti úžitkových vozidiel
- Štatistické zbieranie dát
- Upozorňovanie na zápchy na rýchlostných komunikáciách
- Elektronické mýtna

Keďže sa jedná o projekt v duchu čo najlepšej bezpečnosti, bolo by vhodné, aby sme túto časť začali práve službou tiesňového volania v prípade kolízie. Nové moderné vozidlá túto službu poskytujú a nejedna sa o novinku. V podstate ide o spôsob detekcie poškodenia vozidla a následné vyhodnotenie kolízie. Po tomto procese môže vozidlo automaticky alebo manuálne po zadaní posádkou zavolať bezpečnostné zložky (sanitka, hasiči alebo polícia).

Ďalšou možnosťou je detekcia posádky, v súčasnosti je rozbehnuté veľké množstvo projektov zameraných na udržanie vodiča v čulom stave, nakoľko v poslednej dobe dosť často na cestách zabíjal mikrosprávok.

V súčasnosti prebehla Európou vlna zameraná na výber mýtného na cestách, navrhovaný systém tento problém dokáže hravo riešiť, nakoľko je neustále sledovaný pohyb vozidla. Taktiež sa tým uľahčí monitoring cestných komunikácií, keďže centrála bude presne vedieť o pohybe vozidiel v danej oblasti.

7.2 Budúcnosť

Ďalšou možnosťou a budúcnosťou tohto systému by mohlo byť využitie a zapojenie mediálnych spoločností, ktoré produkujú zábavný priemysel, napr. film a hudba. Dalo by sa zasielať a sledovať rôzne filmy, poprípade zapojením internetu na modeli zasielať alebo nakupovať priamo z vozidla. Týmto systémom sa budú riadiť vodiči a taktiež centrá na spracovanie informácií.

Ďalším krokom by mohlo byť zautomatizovanie cestnej komunikácie na plne automatickú, vozidlá by mohli byť riadené počítačmi. V tom okamžiku sa stanú vozidlá len kabínkami zábavného, poprípade relaxačného prostredia, keďže vodič nebude nútený riadiť, môže sa venovať posádke, poprípadne sám sebe. Vodič zadá miesto, kam chce cestovať. Stanoví si, akou cestou by chcel ísť a riešenie nechá na výpočetnej jednotke. Pokiaľ by boli prekážky alebo zdržania, môže upozorniť o lepších riešeniach cestovania. Keďže tieto vozidlá budú riadené jedným systémom, bude možné dosiahnuť, že vozidlá budú schopné mať medzi sebou menšie odstupy. V prípade poruchy bude systém schopný zabrzdiť všetky vozidlá tak, aby sa im nič nestalo. Poprípade sa tieto odstupy dajú zariadiť elektromagnetickým poľom.

7.3 Výskum

V oblasti výskumu robia mnohé automobilky napr. BMW, Daimler AG, Honda, Mercedes a Volvo, ktoré vypracovali rôzne štúdie vid'. Bv prílohe. Je zbytočné tu rozpisovať, o aké rôzne štúdie ide a na čo slúžia, sú uvedené len v skratke. ESP - autá, ktoré vidia a "pre-mýšľajú", Koniec mŕtveho uhla, Lepšie vidieť znamená jazdiť bezpečnejšie, Kamery vidia i potme a dokážu zvýrazniť rôzne objekty, Hrá sa hlavne o čas na reakciu, Radar kontroluje vzdialenosť a pomáha varovať vodiča pred kolíziou, CAPS - pasívna bezpečnosť komplexne a Inteligentný airbag.[22]

7.4 Záver

Ako je tu spomenuté, systém komunikácie medzi vozidlami má mnohé možnosti využiteľné tak v súčasnosti, ako aj v budúcnosti. Predpokladá sa zavedenie nových technológií do bežného života. Pre budúcnosť sa javí najzaujímavejším systém V2V komunikácie vozidla s okolím. Predovšetkým je to možnosť komunikácie medzi V2V a V2X s možnosťou automatického šoférovania vozidiel. Ďalej je to detekcia okolia vozidlom s možnosťou predvídania situácie v mestách a v obytných zónach, pri ktorej sa môže stať, že spoza vozidla vyskočí dieťa. Systém dokáže taktiež rozpoznávanie značiek a stanovenie maximálnej rýchlosti vozidla v daných oblastiach a mnoho ďalších vecí, ktoré tu boli spomenuté.

Kapitola 8

Simulácia

V programe NCTUns 6.0 je vytvorená simulácia bezdrôtovej komunikácie medzi vozidlami podľa vyššie uvedených informácií. NCTUns je simulačné prostredie určené na simuláciu sietí, ktoré podporujú rôzne typy bezdrôtových ale i drôtových technológií. Ďalej podporuje zobrazovanie získaných dát zo simulácie do grafov. Na výber je tu široká škála technológii 802.11(a,b,e,p), GPRS, Optical, DVB-RCST Satellite, 802,16 (d,e,j), ITS, QoS, Heterogeneous Network. Ďalšie možnosti daného simulačného prostredia a všetky informácie sa dajú nájsť na internetových stránkach.[24]

8.1 Návrh simulácie

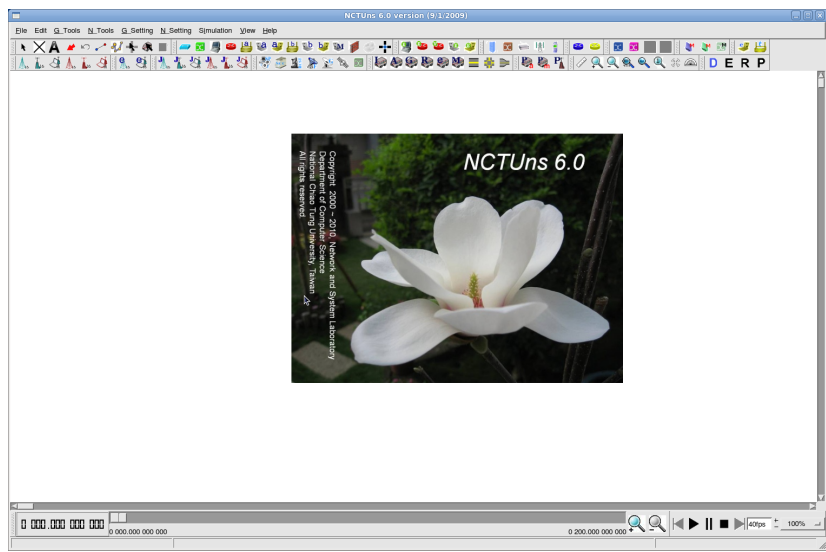
Pre simuláciu bol vybraný štandard 802.11p. Na prvej simulácii je naznačená komunikácia medzi vozidlom označovaným (OBU) a jednotkami umiestnenými popri ceste, označovanými (RSU). Komunikácia je vedená až k cestnému informačnému centru (ITS), označovanému ako host. Ďalej sú pridávané vozidlá až do počtu sto. Bola pridaná ukážka s ostatnými technológia, ako je GPRS, DVB a iné, Wireless do výsledkov nebolo uvedené. Ďalej je tu ukážka WiMax komunikácie. Väčšina z navrhovaných simulácii je priložená k práci na prenosnom médiu.

8.2 Simulácia

Po spustení NCTUns client je zobrazená plocha obr.8.1, súčasne sa vypíše v spúšťanom terminály inicializácia programu v spúšťaných adresároch. Následne je nutné ešte spustiť dva dôležité programy obr.8.2 Dispatcher a Coordinator. Coordinator vypíše, že ServerSocket počúva na portoch 9830, 9840, 9880. Zároveň tam popisuje, že bola upravená UnixDomainSocket a registruje 127.0.0.1 |98030|9840|IDLE. Dispatcher vypíše svoje porty 9810, 9800, na ktorých počúva a informuje o tom, že sú aktivované.

Coordinator presunie informácie o registrácii 127.0.0.1 |98030|9840|IDLE a následne vypíše, že uvoľnil ServerList.

Po načítaní simulátora NCTUns vid' obr.8.1 je vytvorený nový projekt. Na pracovnej lište si zvolíme File > New, vytvorí sa nový projekt, ďalej teba ísť na G_Setting > Simulation. Tu v záložke Simulation treba nastaviť čas Simulation time, je v sekundách. Štandardne



Obrázok 8.1: Pracovná plocha NCTUns po spustení programu

```
root@localhost:~# su -
nctuns@localhost:~# cd /root/.nctuns
mkdir /root/.nctuns/etc
mkdir /root/.nctuns/top

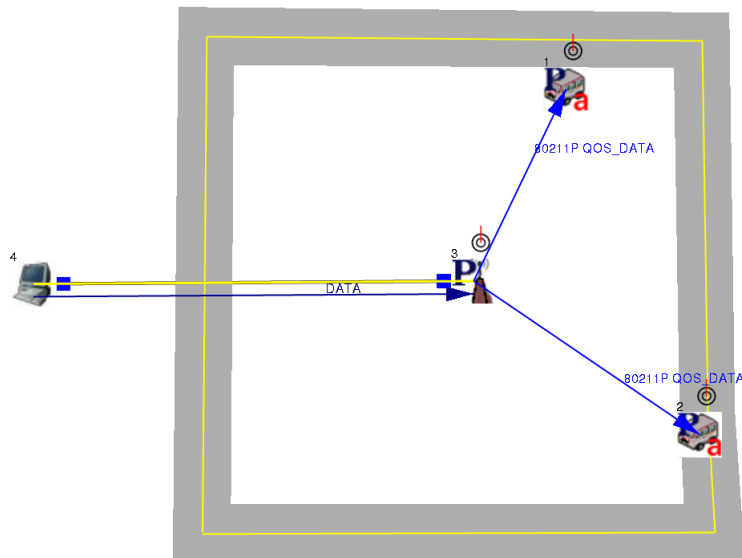
root@localhost:~# su -
nctuns@localhost:~# nctunscoordinator
[root@localhost ~]# coordinator
/usr/local/nctuns/bin/
ServerSocket listen to port:9830   FD:4
ServerSocket listen to port:9840   FD:5
ServerSocket listen to port:9890   FD:6
UnjammedSocket Bind path:/usr/nctuns
[To Dispatcher...] register[127.0.0.1|9830|9840]IDLE
[From Dispatcher...] OK

root@localhost:~# su -
nctuns@localhost:~# service iptables stop
iptables: Zabraňujú pravidlá firewallu:          [ OK ]
iptables: Nastavujú chybný na strategii ACCEPT: filter [ OK ]
iptables: Uvoľňujú moduly                          [ OK ]
[root@localhost ~]# dispatcher
ServerSocket listen to port:9810
ServerSocket listen to port:9890
[Active:0] fd:3 [Active:1] fd:4
-->New Server
Server accepted: 5
(Active:0] fd:3) (Active:1] fd:4) (Active:2] fd:5)
[From Server...] register[127.0.0.1|9830|9840]IDLE
[Register Completed]
<ServerList:-127.0.0.1:FREE
(Active:0] fd:3) (Active:1] fd:4) (Active:2] fd:5)
```

Obrázok 8.2: Výpis terminálov po spustení Dispatcher a Coordinator

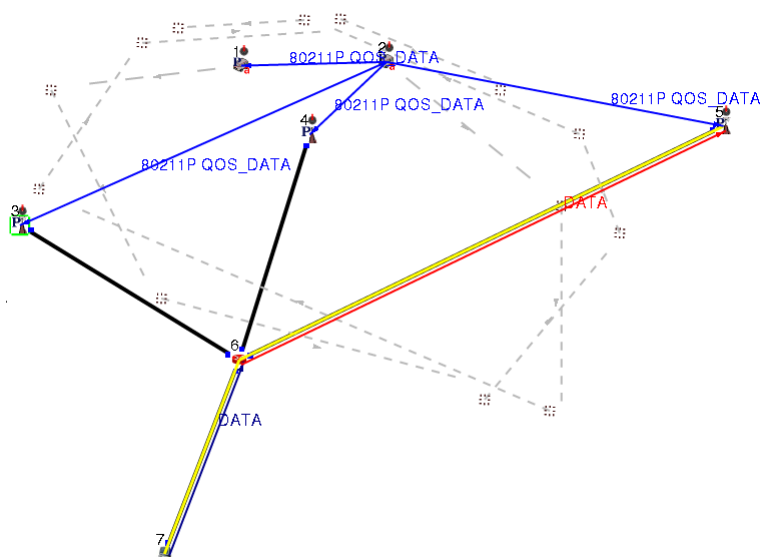
je nastavený na 400 sekúnd. Rozmery pracovnej plochy simuláčného prostredia sú 11000m x 9000m x 3000m. Následne v záložke Real Time, pokiaľ využijeme cesty, môžeme nastaviť, aby sa vozidlá samé pohybovali po ceste. Moving Path treba prepnúť na Dynamic moving path generation during simulation, čo rozhybe vozidlá umiestnené na ceste. Po týchto nastaveniach môžeme začať vkladať jednotlivé prvky na pracovnú plochu. Dôležité je mať už stanovený presný počet vozidiel. Pre jednoduchosť pochopenia, ako vozidlá spolu komunikujú, postačia dve vozidlá. Prvá simulácia obsahuje dve vozidlá, cestu dvojprúdovú a smer jazdy majú vozidlá proti sebe. Súčasne sú tam umiestnené dve jednotky RSU, ktoré vedú k routeru a z routera k hostovi, ktorý ma predstavovať ITS. Simulačné prostredie funguje v štyroch módoch "Draw Topology, Edit Property, Run Simulation, Play Back".

Draw Topology je režim, v ktorom sa stanovuje typ, akým bude komunikácia prebiehať. V simuláciách pracujeme s 802.11p a ITS, ale pokusne je uvedená ukážka s pripojením



Obrázok 8.3: Simulácia V2V prvá časť

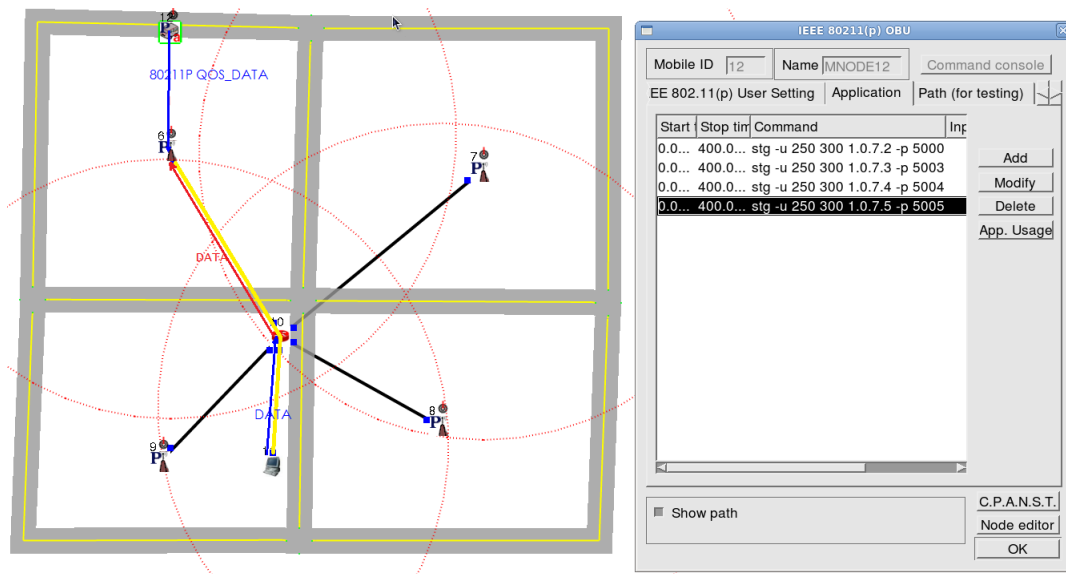
aj ostatných technológií. Tlačítko vozidla s veľkým písmenom P indexom „a” predstavuje OBU jednotku ITS z 802.11p riadenú agentom v tomto rozhraní. Na pracovnej ploche sú umiestnené dve vozidlá, k nim je pridaná RSU, čiže ide o cestnú jednotku, ktorá má za úlohu prijímať informácie z OBU, spracovať a preposielať ich do ITS. Po umiestnení vozidiel a cestných jednotiek zvolíme cestu, po ktorej sa budú vozidlá pohybovať. Ďalej bol pridaný host, ktorý predstavuje centrum ITS, kde sú dáta z vozidiel spracovávané a dočasne archivované pre spätnú kontrolu a spracovanie štatistík. Pomocou tlačidla na vytvorenie spojenia bod s bodom bolo vytvorené spojenie s hostom a RSU jednotkou. Posledným krokom v tomto móde je vytvorenie bezdrôtovej podsiete.



Obrázok 8.4: Ukážka komunikácie medzi OBU a RSU až na ITS

To sa vykonáva kliknutím na ikonku označujúcu výber bezdrôtových uzlov a následne klikanie na jednotlivé jednotky OBU a RSU. Po dokončení označovania a pre vytvorenie

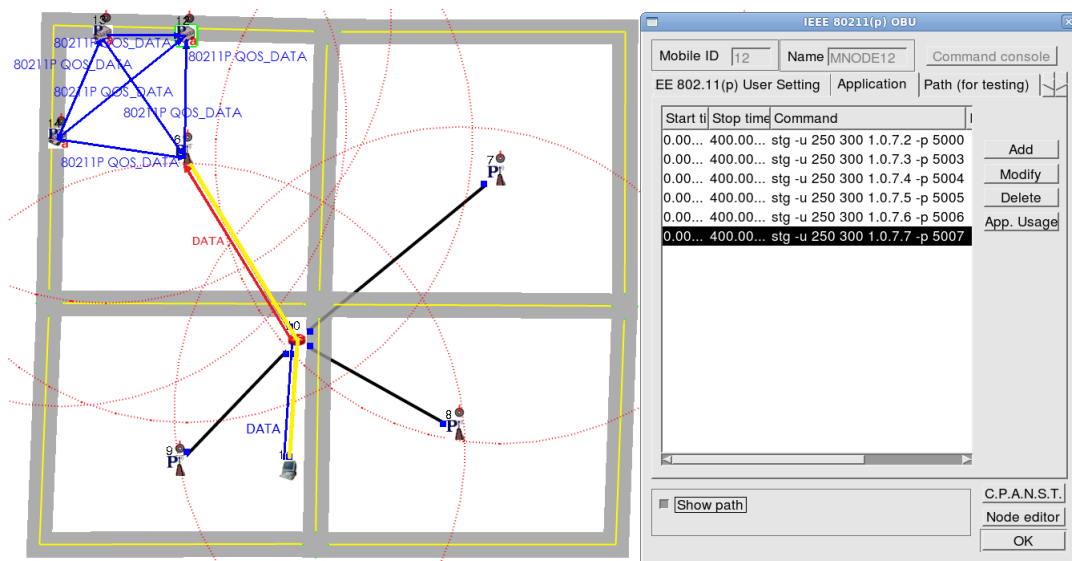
skupiny treba kliknúť práve tlačidlo v rámci pracovnej plochy a vytvoria sa jednotlivé pod-siete. Následne môžeme prejsť na druhý mód. To sa dá kliknutím na ikonu E alebo cez File > Operating Mode > Edit Property, následne program vyzve na prvé uloženie projektu, pokiaľ nebolo tak doposiaľ vykonané. Po uložení program informuje o uložení a zároveň upozorní, že boli pridelené IP adresy pre daný typ topológie. Keďže sa nachádzame v editovacom móde, najprv bude nastavená RSU jednotka. Jej rozkliknutím sa prejde na záložku application, tu zaklikneme pridať príkaz „Add”. Otvorí sa nové okno, kde sa dá nastaviť, od akého času má príkaz fungovať, do riadku Command pridáme WSM_Forwarding, čo má za úlohu zasielať správu pre vozidlá. Potvrdením jednotlivých okien sa dostaneme na simulačnú plochu, kde si pozrieme prejdením kurzoru na RSU jednotku IP adresu, cez ktorú budú spájané vozidlá s ITS centrárou.



Obrázok 8.5: Ukážka komunikácia s RSU

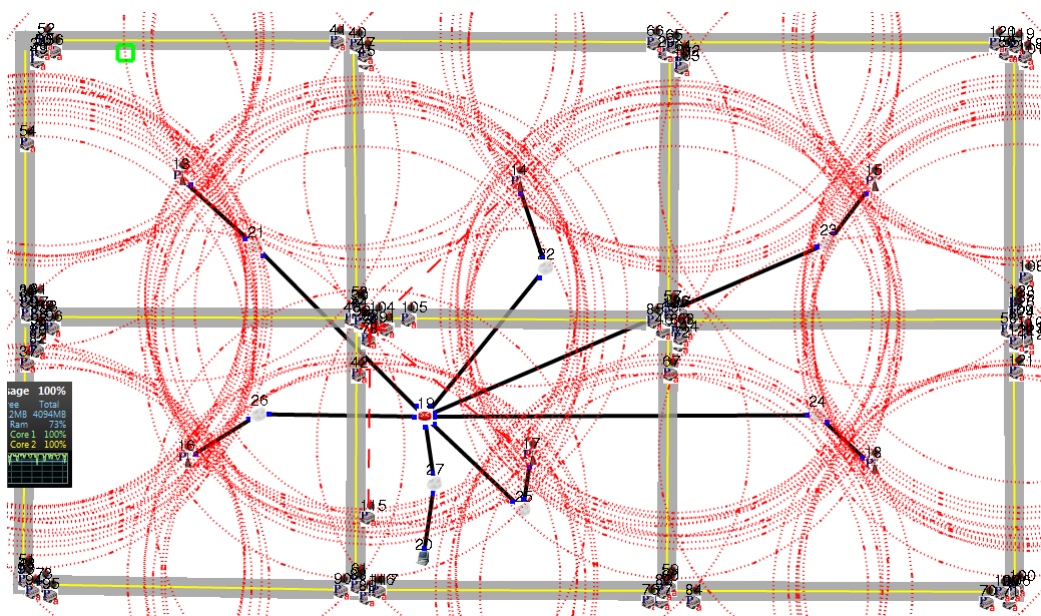
V našom prípade ide o IP 1.0.3.3, prejdeme na host predstavujúci ITS centráru, pridáme v menu „Add” nový príkaz. Opäť máme možnosť nastaviť čas štartu a jeho koniec, tentokrát napíšeme „stg -u 1200 80 1.0.3.3 -p 6000”. Tento príkaz znamená zaslania pomocou UDP 1200 bitovú správu v čase 80 sekúnd na IP adrese nášho RSU s vyhradením portu 6000. Ďalším krokom je nastavenie OBU jednotiek umiestnených na simulačnej ploche. Opäť vojdeme dnu a prepne sa na lište na „Application”, tu sa nachádza príkaz „Car Agent”, tento odstránime a nahradíme príkazom „WSM”. Po dokončení nastavení potvrdíme a prejdeme do ďalšieho módu R alebo cez File > Operating Mode > Run simulation. Pri prekliknutí na ďalší mód nás program opäť upozorní na vykonanie zmien, nutnosť vykonania zálohy a vypíše informácie o konfigurácii simulácie. Simulácia sa spúšťa cez Simulation > Run, trvanie simulácie sa dá pozorovať v ľavom dolnom rohu, kde sa začne načítavať časový priebeh. Simulácia sa dá pozastaviť, zastaviť a zrušiť.

Keď sa simulácia skončí, program informuje o presune súboru alebo simuláciu môže ukončiť užívateľ. Po potvrdení skončenia simulácie prebehne transfer dát a následne sa



Obrázok 8.6: Ukážka spätnej komunikácie s tromi OBU

presunú do súboru. Program sa automaticky prepne do posledného módu P alebo sa nastaví manuálne cez File > Operating Mode > Play Back. V poslednom móde sa dá prezerat simulácia a spomaľovať jednotlivé kroky vid. obr.8.3.V tomto momente sa dajú vyniesť výsledky simulácie do grafu, G_Tools > Plot Graph zobrazí nové okno s grafom. Nový graf sa dá zobrazit pomocou File > Graph 0-5. Načítavanie grafov sa robí cez Open a načítavaf sa dajú len súbory s koncovkou *.log.



Obrázok 8.7: Ukážka komunikácie so sto vozidlami a možná chyba

Simulácia je rozdelená na tri modely.

Na prvom je znázornená komunikácia medzi vozidlom a štyrmi cestnými jednotkami, môžeme vidieť na obr.8.5. Pri simulácii bol výkon antén nastavený na všetkých bodoch a vozidle na rovnaký výkon $-73dBm$. Pri tomto výkone je dosahovaná rýchlosť prenosu dát $18(Mbit/s)$, v prípade odmietnutia susedného kanála je zmena zosilnenia o $11(dB)$. Alternatívou na odmietnutie susedného kanálu je zmena zosilnenia až o $27(dB)$. Komunikačné jednotky sú nastavené na servisnom kanále 174, čo presne podľa tabuliek štandardu pre limitný výkon vysielača verejnej bezpečnosti znamená, že frekvencia je nastavená na $5,870(GHz)$. Ďalej to má za následok nastavenie maximálneho vstupného výkonu antény $28,8(dBm)$ cestnej jednotky RSU a maximálne EIRP¹ $33,0(dBm)$. Rovnaké nastavenie platí pre palubnú jednotku OBU maximálneho vstupného výkonu antény $28,8(dBm)$ a maximálneho EIRP $33,0(dBm)$. Pomocou príkazov bolo nastavené UDP na zasielanie dát do ITS a späť do OBU. Príkaz pre vozidlá má tvar „stg -u 250 300 1.0.7.2 -p 5000”, tento príkaz má za úlohu zasielať na IP 1.0.7.2 dáta, program si na to rezervuje port 500. Na komunikáciu s RSU sú tam príkazy v tvare „stg -u 250 300 1.0.7.3 -p 5003”, „stg -u 250 300 1.0.7.4 -p 5004” a „stg -u 250 300 1.0.7.5 -p 5005”. Účelom je, aby vozidlo prišlo do dosahu niektorého z RSU. Na obrázku 8.5 je možné vidieť bod 6. Cez bod 6 sú zasielané správy do ITS a späť do OBU. IP adresy zvolené v príkazoch sú IP adresy jednotlivých bodov v simulácii. Výsledky z týchto simulácii sú uvádzané v nasledujúcej kapitole v obrázkoch 8.8 , 8.11 v ľavo a 8.10.

Na druhej je znázornená komunikácia medzi tromi vozidlom a štyrmi cestnými jednotkami, môžeme vidieť na obr.8.6. Pri simulácii bol výkon antén nastavený na všetkých bodoch a vozidlách na rovnaký výkon $-73dBm$. Pri tomto výkone je dosahovaná rýchlosť prenosu dát $18(Mbit/s)$ v prípade odmietnutia susedného kanála je zmena zosilnenia o $11(dB)$ alternatívou na odmietnutie susedného kanálu je zmena zosilnenia až o $27(dB)$. Komunikačné jednotky sú nastavené na servisnom kanále 174 čo presne podľa tabuliek štandardu pre limitný výkon vysielača verejnej bezpečnosti znamená že frekvencia na ktorej sa používaná je nastavená na $5,870(GHz)$. Ďalej to má za následok nastavenie maximálneho vstupného výkonu antény $28,8(dBm)$ cestným jednotkám RSU a maximálne EIRP $33,0(dBm)$. Rovnaké nastavenie platí pre palubné jednotky OBU maximálneho vstupného výkonu antény $28,8(dBm)$ a maximálneho EIRP $33,0(dBm)$. Pomocou príkazov bolo nastavené UDP na zasielanie dát do ITS a späť k OBU. Príkazy pre komunikáciu medzi vozidlami mali tvar „stg -u 250 300 1.0.7.6 -p 5006” a „stg -u 250 300 1.0.7.7 -p 5007” tieto príkazy majú za úlohu zasielať na IP adresy 1.0.7.6 a 1.0.7.7 dáta, program si na to rezervuje porty 5006 a 5007. A na komunikáciu s RSU sú tam príkazy v tvare „stg -u 250 300 1.0.7.2 -p 5000”, „stg -u 250 300 1.0.7.3 -p 5003”, „stg -u 250 300 1.0.7.4 -p 5004” a „stg -u 250 300 1.0.7.5 -p 5005”. Účelom je v prípade že vozidlo príde do dosahu niektorého s RSU na obrázku 8.6 je možné vidieť bod 6 sú cezeň zasielané správy do ITS a späť k OBU. IP adresy zvolené v príkazoch sú IP adresy jednotlivých bodov v simulácii. Výsledky z týchto simulácii sú uvádzané v nasledujúcej kapitole v obrázkoch 8.8 , 8.11 vľavo a 8.10.

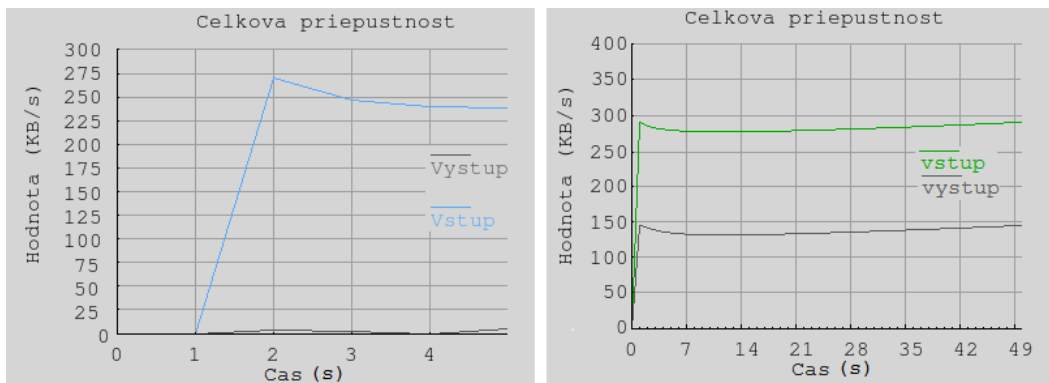
Na tretej a poslednej simulácii je možné vidieť komunikáciu medzi šiestimi cestnými jednotkami RSU a stovkou palubnými jednotkami OBU, viď obr.8.7. Pri simulácii bol výkon antén nastavený na všetkých bodoch a vozidlách na rovnaký výkon $-73dBm$. Pri tomto výkone je dosahovaná rýchlosť prenosu dát $18(Mbit/s)$. V prípade odmietnutia susedného kanála je zmena zosilnenia o $11(dB)$. Alternatívou na odmietnutie susedného kanálu je zmena zosilnenia až o $27(dB)$. Komunikačné jednotky sú nastavené na servisnom kanále 174, čo presne podľa tabuliek štandardu pre limitný výkon vysielača verejnej bezpečnosti

¹equivalent isotropically radiated power – ekvivalentní izotropný vyžiarený výkon je celkový výkon, ktorý by bolo nutné vyžiariť izotropnou anténou (vyžaruje do všetkých smerov priestoru rovnako), aby bolo v danom smere dosiahnutá istá intenzita žiarenia.

znamená, že frekvencia, na ktorej sa používaná, je nastavená na $5,870(GHz)$. Ďalej to má za následok nastavenie maximálneho vstupného výkonu antény $28,8(dBm)$ cestným jednotkám RSU a maximálne EIRP $33,0(dBm)$. Rovnaké nastavenie platí pre palubné jednotky OBU maximálneho vstupného výkonu antény $28,8(dBm)$ a maximálneho EIRP $33,0(dBm)$. Pomocou príkazov bolo nastavené UDP na zasielanie dát do ITS a späť do OBU. Príkazy pre komunikáciu medzi vozidlami majú tvar „stg -u 250 300 1.0.7.26 -p 5026” a „stg -u 250 300 1.0.7.27 -p 5027”. Tento príkaz má za úlohu zasielať na IP adresy 1.0.7.26 a 1.0.7.27 dáta, program si na to rezervuje porty 5026 a 5027. Na komunikáciu s RSU sú tam príkazy v tvare „stg -u 250 300 1.0.7.22 -p 5022”, „stg -u 250 300 1.0.7.23 -p 5023”, „stg -u 250 300 1.0.7.24 -p 5024” a „stg -u 250 300 1.0.7.25 -p 5025”. Tvar týchto príkazov je síce na pohľad rovnaký, ale keďže ide o sto vozidiel, nie sú tu všetky vypísané, nakoľko ide len o rozdiel v IP adrese a porte, na ktorý bola komunikácia zasielaná. Najväčší rozdiel je možné vidieť na sade IP adres pre vozidlá, ktoré začínajú až pri čísle 26, nakoľko pre nižšie čísla sú rezervované adresy pre cestné jednotky RSU. Všetky vyššie spomínané simulácie sú priložené na dátovom disku a simulačné prostredie je voľne šíriteľné.

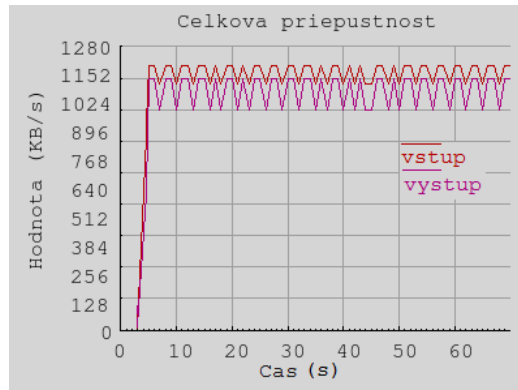
8.3 Zhodnotenie simulácie

V simulačnom prostredí NCTUns bola simulovaná komunikácia medzi motorovými vozidlami a výsledky sú vynesené do grafu. Grafy sú porovnávané s inou štúdiou [25], ktorá sa venovala zasielaniu kolíznych správ medzi vozidlami a hodnotami spravujúcimi v štandarde. Porovnanie bolo zamerané najmä na časové oneskorenie pri doručovaní správ, vid obrázky 8.12, 8.13 a 8.14. V tomto prípade môže oneskorené doručenie správy spôsobiť posun pri výpočtoch stanovujúcich vzájomnú vzdialenosť vozidiel. Výsledky zo simulácií sú zobrazené v grafoch nižšie.



Obrázok 8.8: Porovnanie celkovej priepustnosti s OBU

V prvom grafe označenom 8.8 je možné vidieť celkovú priepustnosť z pohľadu OBU, pri tomto grafe mala OBU nastavenú veľkosť zasielanej správy na hodnotu $250(Bit)$, nakoľko veľkosť prenášaných dát nepresiahla túto hodnotu. V obrázku sa nachádzajú dva grafy, vľavo je graf pri komunikácii jedného vozidla so štyrmi cestnými jednotkami. Vpravo je možné vidieť graf z komunikácie medzi tromi vozidlami a štyrmi cestnými jednotkami. Na grafe vpravo môžeme jasne vidieť maximálnu vysielanú hodnotu $148(KB/s)$ a primárna hodnota



Obrázok 8.9: Celková priepustnosť so 100 OBU

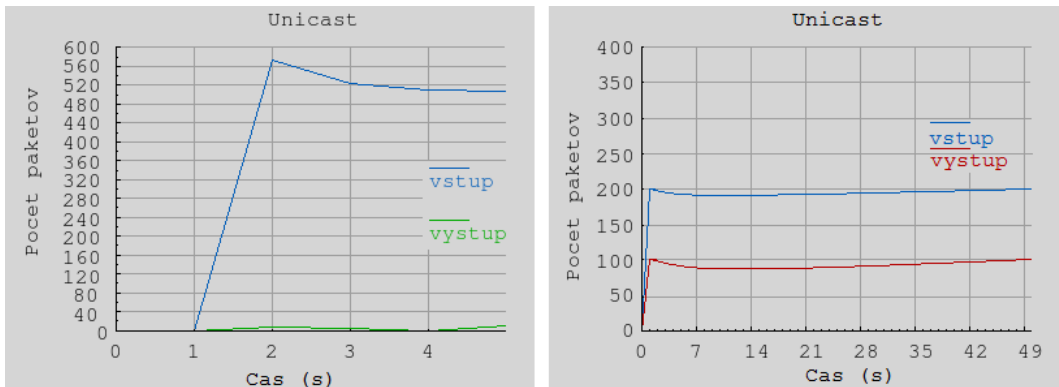
je $295(KB/s)$. Prenos dát výstupu je zvýšený oproti grafu vľavo, kde je maximálna vstupná hodnota $270(KB/s)$ a výstupná len niečo okolo $5,5(KB/s)$, čo môže byť spôsobené tým, že vozidlo vľavo vysiela len potvrdzovacie správy cestným jednotkám a vozidlo v druhom grafe musí komunikovať aj s ostatnými účastníkmi. Preto je komunikácia výstupu tak výrazne vyššia. Z grafu 8.8 a 8.9čo je celková priepustnosť pri komunikácii so sto vozidlami, som došiel k záveru, že komunikácia s RSU jednotkami je menej zatažujúca na komunikačný kanál ako komunikácia s ostatnými vozidlami. Z toho vyplýva, že čím je väčší počet účastníkov v danom okruhu, tým väčšie nároky sú kladené na sieť. V grafe8.9 je možné vidieť kolísanie, čo môže byť spôsobované zmenou počtu účastníkov v danom okruhu. Maximálna hodnota vstupu je až $1200(KB/s)$ a výstupu až $1152(KB/s)$. Nie je tu vynesovaný graf zahadzovania paketov pri komunikácii s tromi vozidlami a ani so stovkou vozidiel, nakoľko vyšiel rovnako, ako s kolíznymi paketmi na hodnote 0. Je to dosť zvláštne, keďže v prípade grafu o zahadzovaní paketov s jedným vozidlom vyšiel tak, ako môžeme vidieť na obrázku 8.10.



Obrázok 8.10: Zahadzovanie paketov v OBU

Ďalej na obr.8.11 Unicast môžeme vidieť na grafe vľavo komunikáciu medzi jedným vozidlom a na grafe vpravo medzi viacerými vozidlami. Maximálna hodnota na vstupe pri komunikácii s jedným vozidlom má hodnotu až 570 paketov, čo oproti komunikácii s viacerými vozidlami je viac ako dvojnásobné, keďže tam je maximálna hodnota len 200 paketov. Výstupná hodnota pri komunikácii s jedným vozidlom má hodnotu len niečo okolo 14 paketov, čo je oproti komunikácii s viacerými vozidlami mnohonásobne menej, keďže je tu dosiahnutá maximálna hodnota až 100 paketov. Veľmi veľký skokový rozdiel naznačuje chybu pri meraní. No pri opakovanej simulácii vychádzali rovnaké výsledky aj pri pokusoch

zmeniť servisný kanál a tým zmeniť vlastnosti antén. Možná chyba mohla byť spôsobená zaťažením počítača.

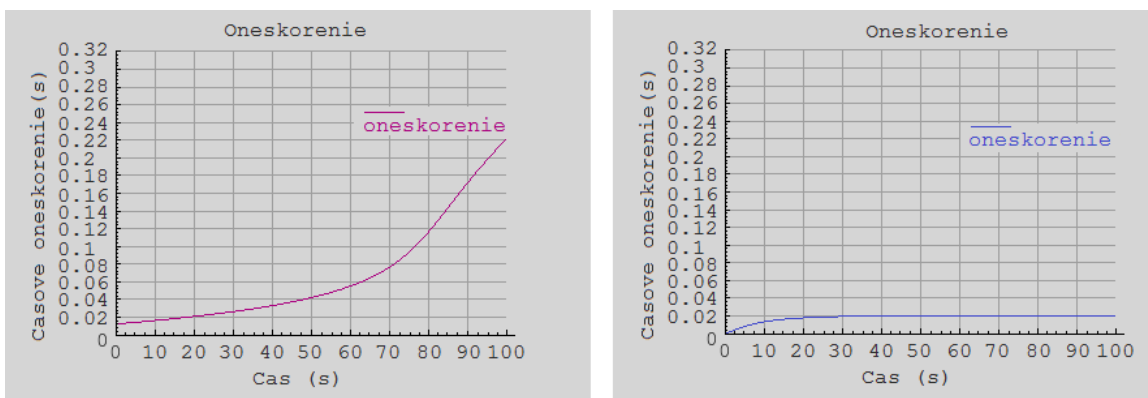


Obrázok 8.11: Porovnanie Unicast s OBU

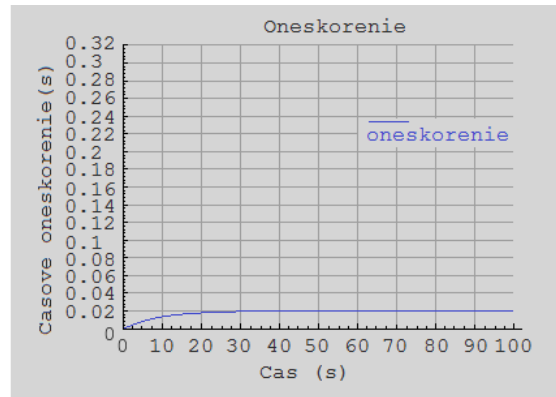
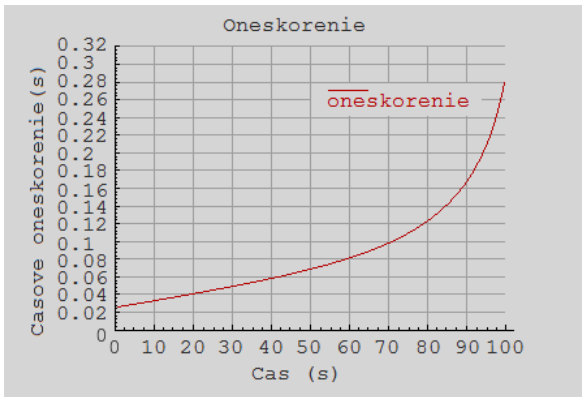
Poslednú sadov grafov zo simulácie tvoria grafy oneskorenia, môžeme ich sledovať na obrázkoch vľavo, viď obr. 8.12. Na obr. môžeme vidieť, ako postupne narastá hodnota oneskorenia s časom až na hodnotu 0,22(s), čo je z pohľadu užívateľa dosť závažné. Pri zmene servisného kanálu boli dosahované hodnoty viac ako uspokojujúce, čo môžeme vidieť na grafe vpravo. Táto zmena vychádzala z tabuliek štandardu, kde je uvedené, že pri prudkom náraste hodnoty oneskorenia treba zmeniť servisný kanál na alternatívny.

V nasledujúcich grafoch je uvedený podobný problém. Hodnota oneskorenia je hneď od začiatku vyššia. Môže to byť spôsobené počtom komunikačných prvkov. Ide o komunikáciu s tromi vozidlami a nárast oneskorenia sa vyšplhal až na hodnotu 0,28(s). Opäť sa ako riešenie ponúkla zmena servisného kanálu, čo malo za následok držanie oneskorenia na hodnote do 0,02(s).

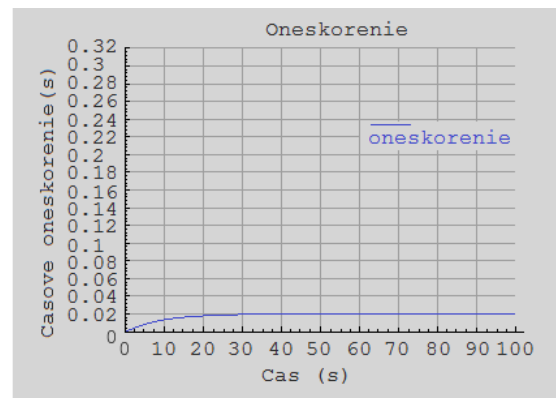
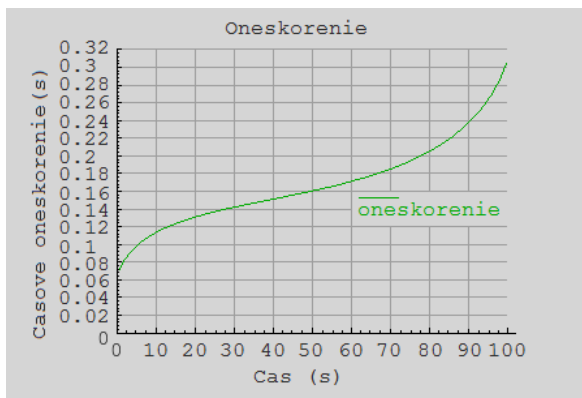
Posledný graf je oneskorenie pri komunikácii so sto vozidlami, ktorý hneď od počiatku stúpne až na hodnotu 0,12(s) a až tu následne začne voľne stúpať až nad hodnotu 0,3(s). Je to z hľadiska aplikovania na náš komunikačný systém veľmi nevhodné.



Obrázok 8.12: Oneskorenie v OBU pri jednom vozidle



Obrázok 8.13: Oneskorenie v OBU pri troch vozidlách



Obrázok 8.14: Oneskorenie v OBU pri stovke vozidiel

Pri simulácii som prišiel k poznatku, že signál medzi vozidlami je vysielaný každú sekundu, čo je dostatočne dlhý časový úsek na to, aby vozidlo prešlo vzdialenosť rádov metrov. Keďže je táto komunikácia navrhnutá pre zabezpečenie proti zrážke vozidiel, treba s touto, až sekundovou odchýlkou, pri výpočtoch počítať a postupne stanovovať, kde je vozidlo schopné sa za danú sekundu nachádzať.

Kapitola 9

Záver

Účelom tejto práce bolo preskúmať rôzne typy bezdrôtových technológií pre komunikáciu a vybrať z nich tú správnu pre navrhnutie komunikácie V2V a V2X. Daná komunikácia sa má využiť pre zabránenie zrážke vozidiel výmenou dôležitých informácií na stanovenie bezpečnosti predbiehania vozidiel. Kladený dôraz je na minimalizáciu časových prenosov informácií medzi vozidlami. Následne sa mal pomocou získaných faktov navrhnuť komunikačný systém tak, aby dokázal spĺňať všetky požiadavky, ktoré sú naň kladené. Ďalšou úlohou po dokončení návrhu bolo využitie vhodného simulačného prostredia a otestovanie tejto komunikácie.

9.1 Zhodnotenie

Výsledky simulácie sú vynesené do grafov, z ktorých vyplýva, že pri komunikácii môže dôjsť k oneskoreniam. Tieto oneskoria môžu mať za následok problémy pri výpočte a stanovení bezpečného predbiehania. Ako možné riešenie je zmena servisného kanálu, čo zmení parametre vysielania, frekvenciu a citlivosť jednotiek.

9.2 Vlastný prínos

Tuto prácu som si rozdelil na dve hlavne časti teoretickú a praktickú.

V teoretickej za vlastný prínos považujem navrhnutie systému na určenie bezpečného predbiehania. Predchádzala tomu analýza komunikácie medzi vozidlami v kapitole 3 a výber vhodného komunikačného prostriedku, presnejšie štandardu 802.11p. V práci som navrhol datový protokol na prenos informácií medzi vozidlami, ktoré sa ďalej používajú pri určení vzdialenosti a stanovení bezpečného predbiehania. Ešte je tu spomínaná minimalizácia času pri dátovom prenose.

Praktickej časti som navrhol a simuloval získané informácie a svoje poznatky, ktoré som zhrnul v poslednej kapitole 8. Tu sa venujem simulácii, kde je do jednotlivých navrhovaných simulácií zhrnutá celá práca. Výsledky jednotlivých simulácií sú zobrazené v priložených grafoch, na ktorých je možné pozorovať časové oneskorenia s celkovým priebehom komunikácie. Keďže nám išlo o tieto časové úseky ako dlho trvá naviazanie a priebeh komunikácie medzi vozidlami, sú sledované oneskorenia, straty a chybovosť paketov. Záverom je spomenutý postreh zo simulácie o vysielaní signálu každú sekundu a o možnosti riešenia tejto časovej odchýlky pri určení vzdialenosti vozidiel.

9.3 Rozšírenie projektu

Tento projekt sa dá do budúcnosti rozšíriť o rôzne doplnky, ktoré môžu zaistiť bezpečnosť na cestách. Verím, že škola má na to možnosti, aby sa spojila s automobilkou, napr. ŠKODA AUTO a.s. a navrhli a vyrobili spolu prvé palubné jednotky, ktoré by sa dali montovať do vozidiel. Viem že týmto návrhom moja práca nekončí a ďalej budem môcť v tejto oblasti pokračovať či už na škole alebo mimo nej a povedie to až do úspešného zavedenia tohto systému do bežného života.

Budúcnosť tohto projektu je už opísaná v kapitole 7 a vyplývajú z nej zaujímavé novinky v cestnej doprave. Najmä je to bezpečnosť a následne rôzne typy doplnkov, ako je diaľnica bez riadenia, automatické brzdenie podľa predchádzajúceho vozidla, varovanie pred kolíziou, sledovanie vzdialenosti medzi vozidlami a podobne.

Literatúra

- [1] ETSI TR102-492-2-V1.1.1_0.0.16T, Electromagnetic Compaibility and Radio spectrum Matters (ERM);2006
- [2] J.Peček: Radioamatersiky provoz a predpisy OK2QX BEN Praha 2001
- [3] ERTRAC, Reserch Framework, April 2006
- [4] ERTRAC, Strategic Reserch Agenda, December 2004
- [5] R.Meitzner: Kick of Meeting SeVeCom, Lausanne, Swees, 2006
- [6] Použití GSM lokalizace v logistice, Dostupný na URL:http://www.systemonline.cz/site/bez/04_09tieto.htm
- [7] THE ENCYCLOPEDIA OF NETWORKING SECOND EDITION, Sybex 1995
- [8] Lokalizácia, Mapa,Dostupný na URL: <http://www.standik.chytrak.cz/>
- [9] Štúdia automobilky BMW ,Dostupný na URL: <http://www.bmw.de/de/de/index.html/>
- [10] HANUS,S. a FENCL,J. a STENCEL,V. Bezdrátové a mobilní komunikace. VUT, Brno 2007
- [11] MICEK,J. a KOVAR,O., Komunikácia medzi automobilmi ZU, Zilina 2009
- [12] GPS,Dostupný na URL: http://wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
- [13] Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)IEEE P802.11p™/D1.1,January 2005
- [14] Obrázky do schémat ,Dostupný na URL: <http://www.google.com>
- [15] DSRC,Dostupný na URL: http://wikipedia.org/wiki/Dedicated_short-range_communications
- [16] DSRC domovská stránka,Dostupný na URL: <http://www.learmstrong.com/DSRC/DSRCHomeset.htm>
- [17] “IEEE P802.11p/D1.0, Part 3, Part 5,: Definitions , General Description of the Architecture (WAVE),” Draft 1.0, Januar 2005.
- [18] GSM a 3G pokrytie, Dostupné z URL: <http://i.iinfo.cz/urs/b1214102-preview-126071894866748.png>

- [19] “IEEE P802.11p/D10.0, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications (WAVE),” Draft 10.0, Januar 2010.
- [20] P. Prasithsangaree, P. Krishnamurthy, and P. K. Chrysanthis; „On Indoor Position Location With Wireless LANs“; The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC 2002), Lisbon, Portugal, September 2002
- [21] Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan; „RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System“; IEEE Infocom 2000, volume 2, pages 775-784, March 2000.
- [22] budúcnosť automobilizmu, Dostupný na URL:http://www.tipcar.cz/tema_asistencni_systemy_ridice_budoucnost_automobilismu-2736.html
- [23] Senzorová síť ZigBee, Dostupný na URL:http://pandatron.cz/?1226&senzorova_sit_zigbee_s_dosahem_40_km
- [24] Simreal Technology NCTU, Dostupný na URL:<http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/>
- [25] X. Yang, J. Liu, F. Zhao, N. H. Vaidya; „A Vehicle-to-Vehicle Communication Protocol for Cooperative Collision Warning“, Dostupný na URL:<http://ieeexplore.ieee.org>
- [26] The Otto on board, Technické parametre, Dostupný na URL:<http://www.ivhs.com/otto>
- [27] Technické parametre MCNU R1500/R1500S, Dostupný na URL:<http://www.technocom-wirless.com>
- [28] K. Bilstrup: „A Survey Regarding Wireless Communication Standards Intended for a High-Speed Vehicle Environment“, Sweden, Halmstad 2007

Dodatok A

Zoznam Symbolov, Velicin a Skratiek

AAA	(Authentication, Authorization, Accounting server) – overenie, splnomocnenie na serveri.
ADC	(Administrative Centre) – administratívne centrum
AOA	(Angle of arrival) – prechodový uhol
AP	(Access Point) – prístupový bod
AuC	(Authentication Centre) – centrum autentičnosti
ATM	(Asynchronous Transfer Mode) – asynchrónny prenosový mód
BPSK	(Binary Phase Shift Keying) – jedna nosná vlna nesie jeden bit, ktorým je označená zmena fáze nosnej vlny o 180 stupňov
BS	(Base Station) – Základ stanice
BSC	(Base Station Controller) – základňovú riadiacu jednotku
BSS	(Basic Service Set) – základná sada služieb
BSS	(Base Station Sub-System) – Subsystém základňových staníc
BTS	(Base Transceiver Station) – základňová rádiová stanica
BWA	(Broadband Wireless Access) – organizácia zastrešujúca širokopásmové bezdrôtové siete
CALM	(Communication Access for Land Mobiles) – prístup pre pozemnú mobilnú komunikáciu
CB	(Citizen Banded) – občianske pásmo
CDMA	(Code division multiple access) – Kódový rozdelení viacnásobného prístupu
CEPT	(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) – Európska konferencia z korešpondenčných a administratívnych telekomunikácií
CSD	(Circuit Switched Data) – okruh spínania dát

CSMA/CA	(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) – viacnásobným prístupom a naslúchaním nosnej CSMA
DSRC	(Dedicated short-range communications) – vyhradenie komunikácie krátkeho dosahu
DSSS	(Direct Sequence Spread Spectrum) – technika priameho rozprestretia spektra pri bezdrôtovom prenose dát
EIR	(Equipment Identity Register) – register mobilných staníc
ETSI	(European Telecommunications Standards Institute) – Európsky telekomunikačný inštitút
FCC	(Federal Communications Commission) – Federálna komisia pre komunikáciu
FDMA	(Frequency division multiple access) – a kmitočtový duplex
FDD	(Frequency Division Duplexing) – Frekvenčne dělený duplex
FPLMTS	(Future Public Land Mobile Telecommunication System) – pozemný mobilný telekomunikačný systém
GPS	(Global Positioning System) – celosvetový pozičný systém na stanovenie polohy
GPRS	(General Packet Radio Services) – mobilná dátová služba paketového prenosu určená pre GSM
GSM	(Global System for Mobile Communications, pôvodne Groupe Special Mobile) – Globálny Systém Mobilnej komunikácie
GW	(Gate Way) – brána do okolnej siete
HA	(Home Agent) – sieťový manažér
HLR	(Home Location Register) – domovský lokálny register
HSCSD	(High Speed Circuit Switched Data) – Vysoko rýchlostný obvod komutované dáta
IBSS	Independent Basic Service Set – nezávislá základná sada služieb
IMEI	(International Mobile Equipment Identity) – MS má medzinárodné identifikačné (číslo)
IMT-2000/UMTS	(International Mobile Telecommunication in the year 2000) – Medzinárodná mobil telekomunikácia s roku 2000
IPv4	(Internet Protocol version 4) – internetový protokol verzie 4
IPv6	(Internet Protocol version 6) – internetový protokol verzie 6
ISDN	(Integrated Services Digital Network) – verejné dátové siete, digitálne siete
ITS	(Intelligent transportation system) – inteligentných dopravných systémoch
ITS-RS	(Intelligent Transportation Systems Radio Service) – inteligentný dopravný systém rádio služieb

ITU	(International Telecommunication Union) – Medzinárodná telekomunikačná únia
LOS	(Line Of Sight) – priama viditeľnosť
MAN	(Metropolitan Area Networks) – metropolitných sietí
MBS	(Mobile Broadband System) – mobilný širokopásmový systém
MS	(Mobile Station) – Mobilná Stanica
MSC	(Mobile Switching Centre) – mobilnú rádiotelefonnu ústredňu
MTE	(Mobile Telephone Exchange) – Mobil telefónni ústredňa
NCTU _{ns}	(NCTU network simulator) – NCTU sieťový simulačný nástroj
NMC	(Network Management Centre) – centrum manažmentu siete
NMT	(Nordic Mobile Telephone) je analógová technológia bezdrôtovej komunikácie
NSS	(Network and Switching Subsystem) – Sieťový a prepojovací subsystém
O-QPSK	(Offset quadrature phase-shift keying) – možnosť fázového posunu moduláciou používajúcou štyri rôzne hodnoty prenosu
OBU	(Onboard Unit) – Palubná jednotka
OFMD	(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – Ortogonálny multiplex s kmitočtovým delením
OMC	(Operational and Maintenance Centre) – prevádzkové a servisné centrum
OSS	(Operation Support Subsystem) – Operačný subsystém
PA	(Private Application) – Súkromná aplikácia
PAN	(Personal area network) – Personálna územná sieť
PGSM	(Primary GSM alebo GSM 900) – pracuje v kmitočtov pasme 890-960 MHz
PSA	(Public Safety Application) – Verejná Bezpečnostná Aplikácia
PST	(Provider Service Table) – Tabuľka Poskytovaných Služieb
PSTN	(PublicSwitching Telecommunication Network) – Verejný prepínač telekomunikačnej siete
RSU	(Roadside Unit) – Cestnou jednotkou
QoS	(Quality of Service) – kvalita služieb
QPSK	(Quadrature phase-shift keying) – Fázový rozdiel fáze kľúčovania posunu
SNR	(Signal to Noise Ratio) – odstup signálu od šumu
SS7	(Signaling System 7) – signalizačný systém
SA	(Service Area) – Oblasť pokrytí

TA	(Traffic Area) – Doprava oblasť
U-NII	(Unlicensed National Information Infrastructure) – Neoprávnená národná informácia infraštruktúry
UMTS	(Universal Mobile Telecommunication System) – je 3G systém štandardu mobilných
UST	(User Service Table) – Užívateľská tabuľka služba
V2V	(Vehicle To Vehicle označovany tiež C2C) – komunikácie vozidla s vozidlom na krátku vzdialenosť
V2X	(Vehicle To Infrastructure communication tiež označovany V2I) – komunikácia vozidla s infraštruktúrou - dopravnou centrálou
VLR	(Visitor Location Register) – návštevnícky lokálny register
VoIP	(Voice over IP) – Hlas cez IP
VSA	(Vehicle Safety Application) – Aplikácia pre vozidla bezpečnostných služieb
WAVE	(Wireless Access in Vehicular Environments, WAVE) – komunikačný štandard pre bezdrôtový prístup v automobilovom prostredí
WECA	(Wireless Ethernet Compatibility Alliance) – Bezdrôtový Ethernet kompatibilní spolok
Wifi	(Wireless Fidelity) – Bezdrôtová spoľahlivosť
WiMax	(Worldwide Interoperability for Microwave Access) – stále sa vyvíjajúci bezdrôtovou technológií, definovaný v rade noriem IEEE 802.16
WLAN	(Wireless LAN) – tiež (Wi-fi, WiFi, Wifi, wi-fi, wifi) lokálnu bezdrôtové siete
WME	(WAVE management entity) – WAVE riadiaci subjekt
WSIE	(WAVE Service Information Element) – WAVE služba informačných prvkov

Dodatok B

Štúdia spoločnosti BMW

Jej návrh ma názov „Auto navrhuje, šofér rozhoduje“. Týmto mottom sa riadi nová štúdia spoločnosti BMW zameraná na bezpečnosť v automobilovom priemysle vo výskumnom centre BMW neďaleko Mníchova. Všetko sa začalo pri testoch odolnosti vozidla voči nárazom (tzv. crash test), kde sa pri rýchlosti 50 km/h stretlo vozidlo so stenou. Potom sa už všetko deje v okamihu: tupý náraz 45 ms – nafúknu sa airbagy, 55 ms – na figurínu predstavujúcu cestujúceho pôsobí najväčšie preťaženie, 80 ms – airbagy sa vypúšťajú, 120 ms – koniec testu. Keby sa toto stalo v reálnej prevádzke, tak posádka, pokiaľ by sedela v moderných vozidlách, by vystúpila bez problémov.

Lenže i v dnešnej dobe sú stále súčasťou dopravy staré motorové vozidlá. V takýchto vozidlách by i tento nie príliš nebezpečne vyzerajúci náraz bol časom daných spomínaných 120 ms boj medzi životom a smrťou. V tomto zariadení sa ročne vykoná okolo 300 takýchto testov. Prestavenie tejto štúdie sa konalo v Aschheime. Vozidlo sa tu roztáčalo po pozdĺžnej ose s roztočenými kolesami po šikmej plošine. Tým sa simuluje prípad, kde automobil zide z vyvýšenej cesty a dochádza k jeho prevráteniu.

Testy tu absolvujú všetky autá automobilky BMW, teda i vozidlá MINI alebo Rolls-Royce. Najrôznejšie nárazové a iné testy overujúce bezpečnosť nie sú samoúčelom. Najrôznejšie testy, ktoré sa v BMW robia, vychádzajú z mnohoročných výskumov následkov dopravných nehôd. Tento program, ktorý robia niektoré ďalšie automobilky a BMW ho spustilo v roku 1976, sa snaží o analýzu nehody vozu danej značky. Skúma sa nie len samotný náraz a odolnosť karosérie, ale tiež zranenie posádky a jej kontakt s interiérom vozidla. Nezabúda sa ani na hodnotenie príčin nehody a na skutočnosť, či by sa jej dalo zabrániť aplikáciou niektorého z asistenčných systémov. Vyhodnocuje sa viac než 3500 ukazovateľov, vrátane napríklad okamihu, od ktorého už nie je možné zabrániť samotnej autonehode. Táto informácia slúži pre optimálne naladenie najrôznejších bezpečnostných systémov vozidla.

Správne rozhodnutie vyžaduje informácie. Takmer 99% dopravných nehôd osobných automobilov pripadá na zlyhanie ľudského faktora. Vodiči často reagujú na krízovú situáciu inštinktívne, avšak súčasne sa ukazuje, že tieto inštinkty sa dajú ovplyvňovať. Najúčinnnejší je spôsob naučenia šoféra zvládať krízové situácie pri ktorých sa naučí správne reakcie na neštandardných situáciách. K tomu slúži kurz bezpečnej jazdy, robený buď nezávislými organizáciami, alebo organizovaním priamo automobilkami. U BMW má tento program, ktorý v minulom roku oslávil tridsať rokov, názov Fahrer-Training.

Pre správnu reakciu šoféra v krízovej situácii je ale potrebné mať dostatok informácií. Ako sa ukazuje na testovacích automobiloch, človek nesmie byť informáciami zahlcovaný, lebo inak nieje schopný v zlomku sekundy učiniť správne rozhodnutie. Pri teste systému upozorňujúceho na príliš rýchle približujúci sa prekážku – to síce nie je žiadna prevratná novinka. A jedná sa o systém, ktorý používa i mnoho iných značiek, jedným zo zástupcov

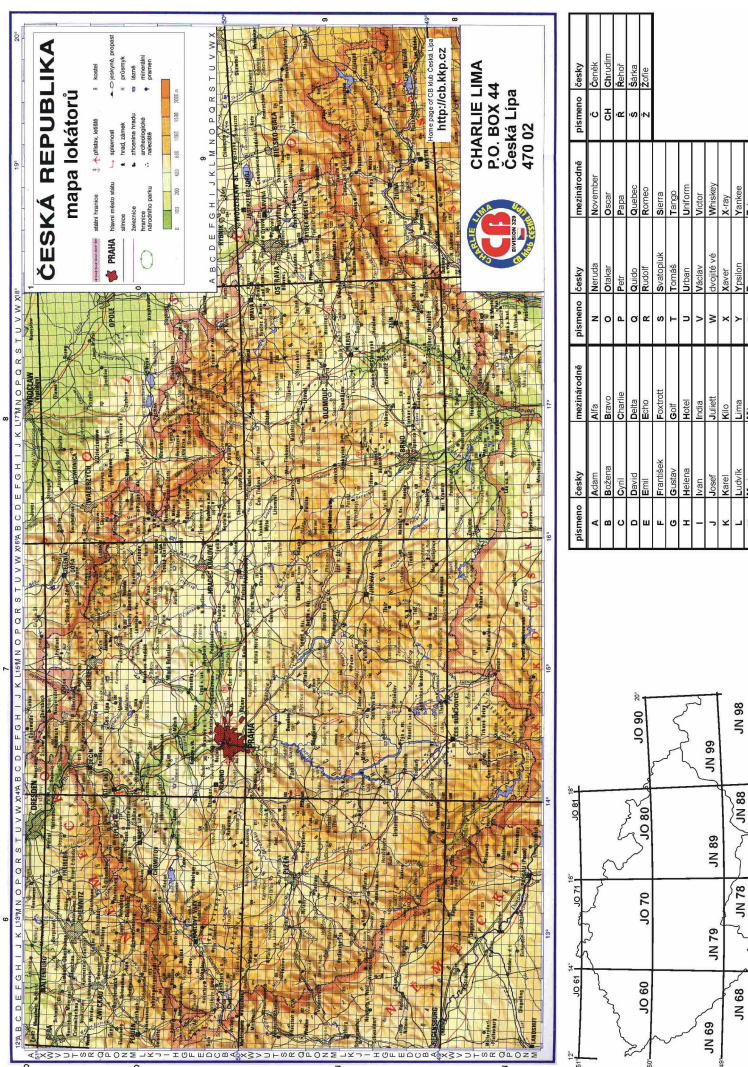
vývojového opelenia sa dostávame k zaujímavému detailu celého systému. Keď napríklad systém vyhodnotí nebezpečne rýchle priblíženie k automobilu vpredu a šofér pri tom dá dole nohu s plynového pedálu, systém posunie upozornenie na neskoršiu dobu. Automobil totiž počíta s tým že vodič o prekážke vie a reaguje na ňu. Keby ale systém pracoval s presne nadefinovanými okamžikom upozornenia, šofér by tím v situácii, kedy sa musí venovať riadeniu, mohol vyrušiť, čo bezpečnosti samozrejme nenapomáha.

Ak je vozidlo vybavené adaptívnym tempomatom, systémom udržovania v jazdnom pruhu a systémom rozpoznávania dopravných značiek rýchlostných obmedzení, napadá ma myšlienka, kedy môžeme očakávať automatické autá bez vodiča. Jednoznačne v dohľadnej dobe nie. V dnešnej dobe sú automobily schopné jazdy po vopred určenej trase, ale informácií z ciest je toľko, že zatiaľ žiadna elektronika v súčasnosti nie je schopná všetky informácie spracovať. Takže rola vodiča je zatiaľ nenahraditeľná.

Text je čerpaný zo zdroju [9].

Dodatok C

Mapa pre súradnicovú rádio lokalizáciu



Obrázok C.1: Mapa lokátorov [2]

Dodatok D

CD-DVD Obsah

[CD\Animacia]

- Auta2 fla 226 816 25.05.2009 17:32 -a-
- Auta2.swf 27 733 25.05.2009 17:32 -a-
 - 248 k v 2 souborech

[CD\Elektronicka Diplomová práca]

- xklamp00.pdf 13 707 904 17.05.2010 12:51 -a-
 - 13 707 904k v 1 souborech

[CD\Simulacia]

- Simulacie.zip 7 250 521 18.05.2010 12:06 -a-
 - 7 080 k v 1 souborech